

**ANALISIS SPASIAL DISTRIBUSI POTENSI KEBAKARAN HUTAN
MENGUNAKAN *MAXENT* DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR
UNTUK Mendukung PROGRAM *FOLU NET SINK* 2030**

(Skripsi)

Oleh

**Hestinia Nurmita
2015071040**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**ANALISIS SPASIAL DISTRIBUSI POTENSI KEBAKARAN HUTAN
MENGUNAKAN *MAXENT* DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR
UNTUK Mendukung PROGRAM *FOLU NET SINK* 2030**

Oleh

HESTINIA NURMITA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS SPASIAL DISTRIBUSI POTENSI KEBAKARAN HUTAN MENGUNAKAN *MAXENT* DI PROVINSI KALIMANTAN TIMUR UNTUK Mendukung PROGRAM *FOLU NET SINK 2030*

Oleh

HESTINIA NURMITA

Kebakaran hutan dapat terjadi karena alam maupun perbuatan manusia yang dapat merugikan berbagai bidang mulai dari ekologi, ekonomi, politik dan sosial budaya akibat dari kerusakan yang ditimbulkan. Menurut data dari Sistem Pemantauan Karhutla, (2024) dibawah naungan KLHK, area kebakaran hutan di Kalimantan Timur menjadi yang terluas di antara provinsi lainnya sampai dengan bulan Maret tahun 2024 sebesar 6.013,66 Ha. Tingginya ancaman kebakaran hutan harus menjadi salah satu pertimbangan dalam pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) yang sedang berlangsung sejalan dengan program pemerintah *FOLU Net Sink 2030* dengan tujuan mengurangi emisi karbon dari pemanasan global salah satunya akibat kebakaran hutan.

Metode penelitian yang digunakan adalah *Maximum Entropy (MaxEnt)* menggunakan data aktual (data kejadian kebakaran tahun 2017 dan *hotspot* tahun 2000 sampai tahun 2024) dan data variabel lingkungan (jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan, kelembaban, suhu, kecepatan angin, jarak dari jalan dan NDVI) yang terlebih dahulu dilakukan uji *Pearson Correlation* dan uji *Multikolinieritas*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kebakaran hutan terbagi menjadi 3 kelas yaitu kelas tidak berpotensi kebakaran hutan memiliki luas 86.639,71 km², wilayah dengan kelas berpotensi kebakaran hutan memiliki luas 33.164,98 km², dan luas wilayah yang sangat berpotensi kebakaran hutan hanya sebesar 7.542,23 km². variabel yang paling berpengaruh dalam potensi kebakaran hutan adalah Jenis Tanah dengan persentase kontribusinya mencapai 46%. Sedangkan variabel yang paling rendah pengaruhnya pada potensi kebakaran hutan adalah Tutupan Lahan dan Kecepatan Angin dengan persentase kontribusinya hanya 0,1%. Dari laporan 10 *replicates* model, pemodelan ini memiliki nilai *Area Under Curve* rata-rata sebesar 0,873 dengan standar deviasi sebesar 0,074 dan dikategorikan sebagai model dengan akurasi yang baik.

Kata Kunci: Pemodelan, Kebakaran Hutan, *MaxEnt*

ABSTRACT

SPATIAL ANALYSIS OF FOREST FIRE POTENTIAL DISTRIBUTION USING MAXENT IN EAST KALIMANTAN PROVINCE TO SUPPORT THE FOLU NET SINK 2030 PROGRAM

By

HESTINIA NURMITA

Forest fires can occur due to natural causes or human activities, resulting in damages across various fields including ecology, economy, politics, and socio-cultural aspects due to environmental destruction. According to data from the Forest and Land Fire Monitoring System (2024) under the Ministry of Environment and Forestry, the forest fire area in East Kalimantan has been the largest among provinces until March 2024, covering 6.013,66 hectares. The high threat of forest fires should be considered in the ongoing development of the National Capital City (IKN), which is also aligned with the government's FOLU Net Sink 2030 program aimed at reducing carbon emissions from global warming, including those caused by forest fires. The research method used in this study is Maximum Entropy (MaxEnt) using actual data (fire occurrence of 2017 and hotspot data from 2000 until 2024) and environmental variable data (soil type, rainfall, land cover, humidity, temperature, wind speed, distance from roads, and NDVI), which were first tested for Pearson correlation and multicollinearity. The results of this study show that forest fire potential is divided into 3 classes: areas with no forest fire potential cover an area of 86.639,71 km², areas with low forest fire potential cover 33.164,98 km², and areas with very high forest fire potential cover only 7.542,23 km². The most influential variable in forest fire potential is Soil Type, contributing 46%. Meanwhile, Land Cover and Wind Speed are the least influential variables, contributing only 0,1%. Based on the report of the 10 model replicates built, this modeling has an average Area Under Curve value of 0,873 with a standard deviation of 0,074, categorizing it as a model with good accuracy.

Keywords: Modeling, Forest Fire, MaxEnt

Judul Skripsi : ANALISIS SPASIAL DISTRIBUSI POTENSI
KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN
MAXENT DI PROVINSI KALIMANTAN
TIMUR UNTUK Mendukung PROGRAM
FOLU NET SINK 2030

Nama Mahasiswa : Hestinia Nurmita

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015071040

Program Studi : Teknik Geodesi

Fakultas : Teknik



I. Komisi Pembimbing

Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.
NIP 19720302 200604 1 002

Tika Christy Novianti, S.T., M. Eng.
NIP 19921104 202203 2 008

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika

Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP 19641012 199203 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.



Sekretaris : Tika Christy Novianti, S.T., M. Eng.



Anggota : Anggun Tridawati, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 04 Oktober 2024

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Hestinia Nurmita
NPM : 2015071040
Program Studi : Teknik Geodesi
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Analisis Spasial Distribusi Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur Untuk Mendukung Program *Folu Net Sink 2030*" ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak berisi tentang karya yang telah dipublikasikan atau ditulis, kecuali sebagai kutipan atau acuan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah pada umumnya.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan saya bersedia menanggung segala akibat yang ada, apabila pernyataan ini tidak benar.

Bandar Lampung, 04 Oktober 2024



Hestinia Nurmita

NPM. 2015071040

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir pada tanggal 22 September 2002 di Baturaja, Kabupaten Ogan Komering Ulu, Provinsi Sumatera Selatan. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Santoso dan Ibu Machmudah.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 3 OKU yang diselesaikan pada tahun 2014. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 2 OKU yang diselesaikan pada tahun 2017. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan menengah atas di SMAN 1 OKU dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi di Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama di Universitas Lampung, penulis aktif dalam berbagai Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) dan pelatihan. Penulis menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Forum Silaturahmi dan Studi Islam Fakultas Teknik (FOSSI-FT) pada tahun 2020. Penulis juga aktif dalam UKM *English Society* Universitas Lampung (ESo) pada tahun 2020. Selain itu, penulis juga aktif dalam UKM Bina Rohani Islam Mahasiswa (Birohma) pada tahun 2020. Pada tahun 2022, penulis menjadi *Campus Ambassador Intern for International Model United Nations (IMUN)* dan mendapatkan *Verbal Commendation in the IMUN Online Conference 126.0 Held Under the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*.

Pada tahun 2023, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Prana Kota Bandar Lampung dan ikut berkontribusi dalam pembuatan Peta Tingkat Bahaya Erosi dan Peta Tingkat Kekritisan Lahan Wilayah Sungai Seputih Sekampung. Selain itu, penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pasar Baru, Pesawaran dan berhasil mengadakan Sosialisasi Mitigasi Bencana yang langsung menghadirkan perwakilan dari BNPB setempat.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.), penulis menyusun skripsi yang berjudul "Analisis Spasial Distribusi Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur Untuk Mendukung Program *Folu Net Sink 2030*" dengan bimbingan Bapak Dr. Fajriyanto, S.T, M.T., dan Ibu Tika Christy Novianti, S.T, M. Eng. pada tahun 2024.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Karya sederhana ini penulis persembahkan untuk:

“Ibu tercinta, Machmudah, yang selalu menunjukkan ketahanan dan keberanian yang luar biasa bahkan ketika harus memerankan sosok ayah sekaligus. Wanita terhebat yang selalu memberikan dukungan lewat segala bahasa cintanya bahwa tidak ada mimpi yang terlalu besar untuk dicapai. Dengan tulus, diri ini menghargai setiap tenaga yang Ibu habiskan dan setiap doa yang Ibu langitkan. Terima kasih yang sebesar-besarnya karena memilih untuk terus bertahan dan merelakan banyak mimpi besarmu hanya untuk memenuhi mimpi kecil diri ini. Untuk adik kecil, Rizki, yang selalu menunjukkan keteguhan hati yang luar biasa meskipun hidupnya tidak sesempurna teman sebayanya. Darimu dan juga untukmu, diri ini belajar untuk terus menjadi kakak yang lebih baik, menjadikan senyum kecilmu sebagai kekuatan untuk terus berjuang. Terima kasih yang sebesar-besarnya karena telah memilih untuk melangkah bersama”

“Kepada diri sendiri yang berhasil menyelesaikan karya ini dengan sebaik-baiknya. Terima kasih yang sebesar-besarnya karena terus berani melangkah di antara banyaknya hal yang memaksa untuk berhenti. Jangan pernah berhenti untuk belajar menjadi manusia yang lebih baik.”

“Bapak Ibu Dosen Pembimbing, Penguji, Pengajar, dan Staff yang telah meluangkan waktunya, memberikan arahan, motivasi, serta dukungan kepada penulis dengan ikhlas.”

MOTTO

**“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”
(Q.S. Al-Baqarah Ayat 216)**

***“Your worst sin is that you have destroyed and betrayed yourself for nothing”
(Fyodor Dostoevsky)***

SANWACANA

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang memberikan nikmat, anugerah, dan bimbingan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “*Analisis Spasial Distribusi Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan MaxEnt di Provinsi Kalimantan Timur Untuk Mendukung Program Folu Net Sink 2030*”. Skripsi ini disusun guna melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Skripsi ini berhasil disusun dengan baik berkat peran serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang ditunjukkan kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Geomatika Universitas Lampung.
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku Koordinator Skripsi Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Armijon, S.T., M.T, IPU. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1.
6. Ibu Tika Christy Novianti, S.T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing 2.
7. Ibu Anggun Tridawati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji.
8. Ibu Machmudah selaku ibu penulis, yang selalu mendoakan dan memberikan segala kecukupan yang dibutuhkan serta Adik Rizki tersayang yang membawa keceriaan.

9. Alza Abyuliani sebagai manusia terbaik yang takdir pertemukan dalam dunia perkuliahan dan membuat perjalanan menimba ilmu menjadi lebih ringan. Sahabat yang menjadi rumah ternyaman di rantauan sehingga penulis dapat menjadi dirinya sendiri secara utuh. Sahabat yang memberi ruang dan kebebasan untuk berbagi cerita, dari kebahagiaan hingga kekhawatiran. Sahabat yang selalu dapat diandalkan, terutama ketika keadaan sekitar terasa tidak pasti.
10. M. Ilham Dwi Aji selaku teman seperjuangan skripsi yang dengan baik membagikan, menyediakan, dan membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.
11. Okta Mulya Sari yang selalu menemani penulis pada masa perkuliahan. Sahabat yang dengan sangat baik menerima kondisi penulis. Sahabat yang selalu berusaha siap membantu, menenangkan, mencoba mengerti dan menemani penulis terutama di setiap masa sulit yang penulis lalui.
12. Chindy Junita Sari selaku sahabat tersayang yang selalu mengirimkan semangat, mendengarkan keluh kesah, selalu ada sebagai tempat pulang penulis dan selalu menghibur penulis dengan lelucon yang masih sama sejak di bangku sekolah.
13. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung Angkatan 2020 yang telah memberikan dukungan dan semangat bagi penulis.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan atau kekurangan dalam Skripsi ini, karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan lebih lanjut. Demikian yang dapat penulis sampaikan, atas perhatian semua pihak dan kontribusinya penulis sampaikan terima kasih.

Bandar Lampung, 04 Oktober 2024

Hestinia Nurmita

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Hipotesis.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Informasi Geografis (SIG)	5
2.2. Potensi Kebakaran Hutan	6
2.2.1. Tutupan Lahan	6
2.2.2. Curah Hujan.....	8
2.2.3. Jenis Tanah	9
2.2.4. Suhu	10
2.2.5. Kelembaban	11
2.2.6. Kecepatan Angin	12
2.2.7. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI)	13
2.2.8. Jarak dari Jalan	14
2.3. <i>JASP</i>	15
2.4. <i>MaxEnt (Maximum Entropy)</i>	17
2.5. <i>Output MaxEnt</i>	19
2.5.1. <i>ROC-AUC Curve</i>	19
2.5.2. <i>Jackknife</i>	20
2.5.3. <i>Percent Contribution</i>	21
2.6. <i>FOLU Net Sink 2030</i>	21
2.7. Penelitian Terdahulu	22
III. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Lokasi Penelitian.....	25

3.2.	Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	27
3.2.1.	Perangkat Keras	27
3.2.2.	Perangkat Lunak	27
3.3.	Data yang Digunakan	27
3.4.	Diagram Alir Penelitian	28
3.5.	Tahap Persiapan	30
3.6.	Tahap Pengolahan Data.....	30
3.6.1.	Menyiapkan Data Titik Aktual	31
3.6.2.	Menyiapkan Data Variabel Lingkungan.....	32
3.6.3.	Uji <i>Pearson Correlation</i> dan Multikolinearitas.....	33
3.6.4.	Menentukan <i>Settings</i> Pemodelan.....	35
3.6.5.	Pemodelan Distribusi Potensi Kebakaran Hutan.....	36
3.6.5.1.	Visualisasi Potensi Kebakaran Hutan.....	40
3.6.5.2.	Data Statistik.....	42
3.6.6.	<i>Layout</i>	43
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1.	Hasil Uji Data.....	44
4.2.	Analisis <i>Response Curves</i>	50
4.2.1.	Curah Hujan.....	51
4.2.2.	Jarak dari Jalan	53
4.2.3.	Kecepatan Angin	54
4.2.4.	Kelembaban	56
4.2.5.	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI).....	57
4.2.6.	Suhu	58
4.2.7.	Tutupan Lahan	60
4.2.8.	Jenis Tanah	62
4.3.	Potensi Kebakaran Hutan.....	63
4.4.	Luas Potensi Kebakaran Hutan	66
4.5.	<i>Percent Contribution</i>	66
4.6.	Validasi Pemodelan Potensi Kebakaran Hutan.....	67
4.6.1	<i>ROC-AUC Curve</i>	68
4.6.2	<i>Jackknife</i>	70
4.7.	Kontribusi Penelitian Dalam Mendukung <i>FOLU Net Sink</i> 2030.....	72
V.	PENUTUP.....	74
5.1.	Kesimpulan	74
5.2.	Saran.....	75
	DAFTAR PUSTAKA	76
	LAMPIRAN.....	82
Lampiran 1.	Koordinat <i>Hotspot</i>	83
Lampiran 2.	<i>Script Enmevaluate</i> RStudio.....	84
Lampiran 3.	Hasil <i>Script Enmevaluate</i> RStudio	87
Lampiran 4.	Laporan Hasil Pemodelan Potensi Kebakaran Hutan.....	88
Lampiran 5.	Peta Potensi Kebakaran Hutan	132

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Cara Kerja <i>MaxEnt</i>	18
2. Tampilan <i>Jackknife</i>	20
3. Peta Lokasi Penelitian.....	26
4. Diagram Alir Penelitian	29
5. <i>Euclidean Distance</i>	33
6. Tampilan data di JASP.....	34
7. Uji <i>Pearson Correlation</i> di JASP	34
8. Uji Multikolinearitas di JASP.....	35
9. Menentukan <i>Settings</i> Untuk Pemodelan	36
10. Tampilan Antarmuka <i>Software MaxEnt</i>	37
11. Submenu <i>Basic Setting</i>	38
12. Submenu <i>Advanced Setting</i>	39
13. Submenu <i>Experimental</i>	39
14. Visualisasi Pemodelan Distribusi Potensi Kebakaran Hutan.....	40
15. <i>Reclassify</i> Potensi Kebakaran Hutan.....	41
16. Menghitung Luas Area (Km ²).....	42
17. <i>Layout</i> Peta.....	43
18. Curah Hujan di Kalimantan Timur	52
19. <i>Response Curve</i> Curah Hujan	52
20. Jarak dari Jalan di Kalimantan Timur	53
21. <i>Response Curve</i> Jarak dari Jalan.....	54
22. Kecepatan Angin di Kalimantan Timur	55
23. <i>Response Curve</i> Kecepatan Angin.....	55
24. Kelembaban di Kalimantan Timur.....	56
25. <i>Response Curve</i> Kelembaban	57

26. NDVI di Kalimantan Timur.....	58
27. <i>Response Curve</i> NDVI.....	58
28. Suhu di Kalimantan Timur.....	59
29. <i>Response Curve</i> Suhu	60
30. Tutupan Lahan di Kalimantan Timur	61
31. <i>Response Curve</i> Tutupan Lahan	61
32. Jenis Tanah di Kalimantan Timur.....	62
33. <i>Response Curve</i> Jenis Tanah.....	63
34. Peta Potensi Kebakaran Hutan di Kalimantan Timur	65
35. Nilai <i>AUC</i> Tes Data Potensi Kebakaran Hutan	69
36. Nilai <i>AUC</i> Rata-Rata Potensi Kebakaran Hutan.....	70
37. Hasil Uji <i>Jackknife Training Gain</i>	71
38. Hasil Uji <i>Jackknife Test Gain</i>	71
39. Hasil Uji <i>Jackknife AUC</i>	72

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Tutupan Lahan	7
Tabel 2. Klasifikasi Curah Hujan.....	8
Tabel 3. Jenis Tanah.....	9
Tabel 4. Klasifikasi Suhu	10
Tabel 5. Klasifikasi Kelembaban Relatif	11
Tabel 6. Klasifikasi Kecepatan Angin	12
Tabel 7. Klasifikasi Tingkat Kehijauan	13
Tabel 8. Kelas Jalan	14
Tabel 9. Nilai Korelasi <i>Pearson</i>	17
Tabel 10. Akurasi Berbagai Algoritma	18
Tabel 11. Nilai Akurasi Klasifikasi Berdasarkan <i>AUC</i>	19
Tabel 12. Penelitian Terdahulu	22
Lanjutan Tabel 12. Penelitian Terdahulu	23
Lanjutan Tabel 12. Penelitian Terdahulu	24
Tabel 13. Data yang Digunakan.....	27
Lanjutan Tabel 13. Data yang Digunakan.....	28
Tabel 14. Titik Koordinat Kebakaran Hutan.....	31
Tabel 15. Sampel Titik Koordinat <i>Hotspot</i>	32
Tabel 16. Hasil Uji <i>Pearson Correlations</i>	49
Tabel 17. Hasil Uji Multikolinearitas	50
Tabel 18. Luas Tingkat Potensi Kebakaran Hutan di Kalimantan Timur.....	66
Tabel 19. <i>Percent Contribution</i>	67
Tabel 20. Nilai Kurva <i>ROC-AUC</i> Pada 10 <i>Replicates</i> Pemodelan	68

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebakaran hutan dapat terjadi karena alam maupun perbuatan manusia yang dapat merugikan berbagai bidang mulai dari ekologi, ekonomi, politik dan sosial budaya akibat dari kerusakan lingkungan yang ditimbulkan. Menurut data dari Sistem Pemantauan Karhutla, (2024) yang berada dibawah naungan KLHK, area kebakaran hutan di Kalimantan Timur menjadi yang terluas di antara provinsi lainnya sampai dengan bulan Maret tahun 2024 sebesar 6.013,66 Ha. Tingginya ancaman kebakaran hutan harus menjadi salah satu pertimbangan dalam pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) yang sedang berlangsung.

Penelitian ini juga sejalan dengan program pemerintah yakni *FOLU Net Sink 2030* yang bertujuan untuk mengatasi pemanasan global (KLHK, 2022). Program ini dibuat untuk menciptakan Indonesia Hijau salah satunya dengan cara mencegah kebakaran hutan (Muharrami, 2022). Strategi pencegahan kebakaran hutan dan upaya meminimalisir dampak yang terjadi dapat dilakukan berdasarkan pemodelan spasial distribusi potensi kebakaran hutan.

Menurut Mishra dkk., (2023) pemodelan spasial distribusi potensi kebakaran hutan dapat dilakukan dengan menggunakan *MaxEnt* (*Maximum Entropy*). *MaxEnt* bekerja dengan cara menghubungkan fenomena yang telah diketahui sebelumnya dengan variabel pendukung yang kemudian dapat memperkirakan ada atau tidaknya kemungkinan fenomena yang sama terjadi di lokasi yang tidak diambil sampelnya (Jarnevich dan Young, 2015). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yudaputra dkk., (2019) *MaxEnt*

memiliki akurasi yang lebih tinggi untuk pemodelan distribusi potensi dibandingkan algoritma *BioClim*, *Domain*, *Random Forest (RF)*, *Generalized Linear Model (GLM)* dan *Support Vector Machine (SVM)*.

MaxEnt telah dimanfaatkan untuk mengetahui potensi kebakaran hutan seperti yang dilakukan oleh Kim dkk., (2019) menggunakan parameter elevasi, curah hujan, kelembaban, jarak dari area penduduk dan data lainnya. Ayuba dkk., (2021) juga melakukan penelitian yang sama menggunakan parameter kecepatan angin, radiasi, kedalaman gambut dan tutupan lahan. Mishra dkk., (2023) juga melakukan penelitian potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* menggunakan data bioklimatik, data topografi, NDVI dan data antropogenik.

Berdasarkan hal tersebut untuk menambah kajian yang diperlukan dalam mitigasi kebakaran hutan, akan dilakukan penelitian mengenai analisis spasial distribusi potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur dengan parameter yang berbeda dari penelitian sebelumnya yakni jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan, kelembaban, suhu, kecepatan angin, jarak dari jalan dan NDVI. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat menekan kejadian kebakaran yang dapat terjadi di Kalimantan Timur dan dapat digunakan sebagai kajian tambahan untuk mitigasi oleh pihak-pihak terkait.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur dengan menggunakan 8 variabel?
2. Berapa luas di tiap kelas potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur dengan menggunakan 8 variabel?

3. Bagaimana kontribusi tiap variabel pada distribusi potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur dengan menggunakan 8 variabel.
2. Untuk menganalisis luas di tiap kelas potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur dengan menggunakan 8 variabel.
3. Untuk menganalisis kontribusi tiap variabel pada spasial distribusi potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini dirincikan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati luas distribusi potensi kebakaran hutan pada kelas tidak berpotensi kebakaran, berpotensi kebakaran dan sangat berpotensi kebakaran menggunakan *MaxEnt*.
2. Penelitian ini dilakukan dengan pengamatan di Kalimantan Timur.
3. Penelitian ini menggunakan 8 parameter yakni jenis tanah, curah hujan, kecepatan angin, tutupan lahan, suhu, kelembaban, jarak dari jalan dan NDVI dengan keterbantuan data yang tersedia secara gratis pada sumber resmi.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menjadi studi pendahuluan yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut tentang potensi kebakaran hutan.
2. Penelitian ini dapat digunakan untuk membantu pihak terkait sebagai bahan pertimbangan dalam pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) yang sedang berlangsung.
3. Penelitian ini dapat digunakan untuk membantu pihak terkait sebagai bahan pertimbangan untuk mengatasi isu pemanasan global dalam program *FOLU Net Sink 2030*.
4. Penelitian ini dapat digunakan sebagai kajian tambahan untuk mitigasi bencana oleh pihak-pihak terkait.

1.6. Hipotesis

Pada analisis *pearson correlation* setidaknya ada 5 variabel dengan rentang nilai 0,11 - 0,69 (korelasi lemah hingga sedang) dan pada analisis *percent contribution* kemungkinan variabel yang paling berkontribusi pada kebakaran hutan adalah suhu, curah hujan dan kecepatan angin. Jika kedua kriteria ini dimiliki oleh suatu wilayah, maka wilayah tersebut dapat dipastikan tinggi potensi kebakaran hutannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis merupakan sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisa, mengolah dan menyajikan informasi bereferensi geografis di permukaan bumi (Radliya dkk., 2018). Sistem informasi geografis ini digunakan guna mendukung pengambilan keputusan dari peta yang dihasilkan baik berupa peta administrasi, peta kebencanaan, peta rancang pola, peta rencana sistem jaringan sarana dan prasarana.

Pada Sistem Informasi Geografis (SIG), data yang diproses terdiri dari data spasial dan data atribut dalam format digital. Data spasial adalah data yang memiliki referensi lokasi geografis dan berkaitan dengan posisi di permukaan bumi (Kurniawati dkk., 2020). Data spasial dapat ditampilkan dalam format vektor (seperti *polygon*, garis, dan titik) yang dalam penelitian ini adalah data Batas Administrasi, data Lokasi Kebakaran Hutan, data Jenis Tanah, data Titik Panas dan data jaringan jalan atau raster. Selain data *vektor*, data spasial juga ada yang berbentuk *raster* yang dalam penelitian ini adalah data Kecepatan Angin, data Tutupan Lahan, data NDVI, data Curah Hujan, data Suhu dan data Kelembaban. Di sisi lain, data atribut adalah data tabel yang menyimpan informasi tambahan yang menjelaskan karakteristik atau detail objek dalam data spasial.

2.2. Potensi Kebakaran Hutan

Hutan memiliki peran yang sangat penting dalam menyediakan oksigen yang mendukung kehidupan manusia. Hutan terdiri dari berbagai jenis pepohonan yang dapat tumbuh tinggi dengan ukuran yang bervariasi dan mampu bertahan hidup selama bertahun-tahun, hutan berperan penting dalam mempengaruhi kualitas udara di sekitarnya. Oleh karena itu, hutan sering kali disebut sebagai paru-paru dunia karena kemampuannya dalam menghasilkan oksigen dan menyaring polutan dari atmosfer (Pamungkas dkk., 2024). Namun, kebakaran hutan yang terjadi setiap tahun menyebabkan penyusutan signifikan pada luas hutan di Indonesia, menjadi perhatian serius bagi banyak pihak (Fitria dkk., 2021).

Kebakaran hutan dan lahan yang besar sering kali menyebabkan dampak asap yang merusak, tidak hanya di dalam wilayah yang terkena langsung, tetapi juga meluas hingga melampaui batas administrasi negara (Ramadhani dkk., 2023). Kebakaran hutan dan lahan mengubah struktur, komposisi, dan produktivitas hutan secara keseluruhan, menyebabkan berkurangnya luas hutan serta populasi flora dan fauna. Dampak materil dari kebakaran tersebut mencapai triliunan rupiah, jumlah yang sangat besar jika dibandingkan dengan kerugian dalam kasus lainnya (Fitria dkk., 2021).

Menurut Humam dkk., (2020) faktor-faktor yang diperhitungkan dalam menentukan potensi kebakaran hutan adalah suhu udara, akses jalan, akses sungai, peruntukan lahan, curah hujan, dan penggunaan lahan. Namun dalam penelitian kali ini potensi kebakaran hutan ditentukan dengan menggunakan 8 parameter yakni sebagai berikut:

2.2.1. Tutupan Lahan

Menurut Sampurno dan Thoriq, (2016) tutupan lahan adalah kenampakan material fisik permukaan bumi. Di wilayah dengan vegetasi hutan, penyebaran kebakaran cenderung melambat karena kandungan air dalam

bahan bakar hutan yang relatif tinggi. Hal ini berbeda dengan daerah seperti kebun dan sawah, di mana campur tangan manusia untuk membersihkan lahan dapat mengakibatkan pengeringan tanah, sehingga kebakaran dapat menyebar lebih cepat (Novita dan Vonnisa, 2021). Menurut *Impact Observatory*, (2022) data tutupan lahan yang dikeluarkan oleh *Esri Living Atlas* memiliki akurasi sebesar 91%, dengan klasifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Tutupan Lahan

No.	Tutupan Lahan	Keterangan
1.	<i>Water</i>	Area yang tergenang air
2.	<i>Trees</i>	Lahan yang ditutupi oleh pepohonan
3.	<i>Bare Ground</i>	Lahan yang tidak tertutupi oleh vegetasi atau bangunan
4.	<i>Range Land</i>	Lahan yang digunakan untuk merumput oleh hewan ternak
5.	<i>Built Area</i>	Wilayah yang sudah dibangun oleh manusia
6.	<i>Crops</i>	Lahan yang ditanami dengan tanaman
7.	<i>Flooded Vegetation</i>	Vegetasi yang terendam air dalam jangka waktu tertentu

(Sumber: *ArcGIS Living Atlas of the World*, 2023)

Kelas *Water* merupakan area di mana air dominan hadir sepanjang tahun yang mengandung sedikit atau bahkan tidak ada vegetasi seperti sungai, kolam, danau, dan laut. Kelas *Trees* adalah sekelompok vegetasi tinggi (15 kaki atau lebih tinggi) yang signifikan, biasanya dengan kanopi yang rapat atau padat, contohnya hutan (*ArcGIS Living Atlas of the World*, 2023). Kelas *Flooded Vegetation* merupakan area yang tergenang secara musiman yang merupakan campuran rumput atau semak atau pohon atau tanah terbuka, contohnya bakau tergenang, sawah dan pertanian yang sangat diairi dan terendam.

Kelas *Crops* adalah tanaman yang ditanam manusia yang tidak mencapai ketinggian pohon, contohnya jagung, gandum dan kedelai. Kelas *Built Area* merupakan struktur buatan manusia seperti jalur kereta api,

perumahan dan perkantoran. Kelas *Bare Ground* adalah area batuan atau tanah dengan vegetasi yang sangat jarang atau tidak ada sepanjang tahun, contohnya batuan terbuka atau tanah, gurun dan bukit pasir. Kelas *Range Land* merupakan area terbuka yang ditutupi oleh rumput homogen dengan sedikit atau tidak ada vegetasi yang lebih tinggi, contohnya padang rumput alami dan ladang dengan sedikit atau tidak ada pohon.

2.2.2. Curah Hujan

Curah hujan adalah salah satu elemen cuaca yang datanya diperoleh melalui pengukuran menggunakan alat yang disebut penakar hujan. Dengan alat ini, jumlah hujan yang turun dapat diukur dan dilaporkan dalam satuan millimeter (mm). Curah hujan diartikan sebagai kedalaman air hujan yang diterima di permukaan tanah sebelum mengalami proses aliran permukaan, evaporasi, atau peresapan ke dalam tanah. Di sisi lain, intensitas curah hujan mengukur jumlah hujan yang turun per satuan waktu selama hujan berlangsung (Chandra dan Suprpto, 2016).

Tabel 2. Klasifikasi Curah Hujan

No.	Kelas	Keterangan
1.	Rendah	0 – 100 mm/bulan
2.	Menengah	100 – 300 mm/bulan
3.	Tinggi	300 – 500 mm/bulan
4.	Sangat Tinggi	>500 mm/bulan

Sumber: (BMKG, 2017)

Menurut Novita dan Vonnisa, (2021) potensi kebakaran hutan juga memiliki kaitan dengan curah hujan yang rendah karena mengakibatkan kadar air yang rendah dan membuat kelembaban udara lingkungan menjadi kering. Wilayah yang paling sensitif terbakar merupakan wilayah yang paling rendah tingkat curah hujannya begitu juga sebaliknya (Putra dkk., 2018). Menurut Fick dan Hijmans, (2017) data curah hujan yang dikeluarkan oleh *WordClim* memiliki akurasi sebesar 0,86.

2.2.3. Jenis Tanah

Tanah memiliki sifat fisik diantaranya kerapatan lindak (*bulk density*), porositas, permeabilitas dan tekstur tanah (Murtinah dkk., 2017). Kerapatan lindak (*bulk density*) adalah bobot tanah, dengan mempertimbangkan jumlah ruang dalam tanah yang mencakup ruang yang diisi oleh padatan, air, dan gas. Semakin tinggi bobot isi tanah, maka tanah tersebut akan semakin padat dan cenderung sulit untuk menghantarkan air. Porositas adalah jumlah ruang pori dalam tanah. Permeabilitas tanah merupakan kecepatan aliran air melalui tanah dalam periode waktu tertentu, yang dinyatakan dalam satuan cm/jam. Tekstur tanah terdiri dari tanah yang bertekstur pasir (sulit menyerap atau menahan air) dan tanah bertekstur liat (yang memiliki kemampuan menyerap atau menahan air). Tanah yang memiliki kerapatan lindak yang tinggi, porositas yang rendah, permeabilitas yang rendah dan memiliki tekstur tanah yang berpasir dapat menghambat air hujan masuk ke dalam tanah, sehingga mengurangi kemampuan tanah untuk menahan kelembaban dan membuatnya lebih rentan terhadap kebakaran (Murtinah dkk., 2017).

Tabel 3. Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah
1.	<i>Cambic Arenosols</i>
2.	<i>Dystric Histosols</i>
3.	<i>Dystric Fluvisols</i>
4.	<i>Eutric Fluvisols</i>
5.	<i>Eutric Gleysols</i>
6.	<i>Eutric Planosols</i>
7.	<i>Ferralic Cambisols</i>
8.	<i>Ferric Acrisols</i>
9.	<i>Gleyic Podzols</i>
10.	<i>Humic Acrisols</i>
11.	<i>Humic Gleysols</i>
12.	<i>Humic Nitosols</i>
13.	<i>Orthic Acrisols</i>
14.	<i>Orthic Luvisols</i>

(Sumber : FAO, 1974)

Karakteristik jenis tanah dijelaskan secara singkat oleh FAO, (1974) seperti tanah *Arenosols* dan Tanah *Luvisols* adalah tanah dengan tekstur kasar yang terdiri dari bahan alvik yang terdapat pada kedalaman sekurang-kurangnya 50 cm dari permukaan. Tanah *Histosols* merupakan tanah yang memanjang ke bawah dari permukaan 80 cm. Tanah *Fluvisols* adalah tanah yang terbentuk dari endapan aluvial sedalam 50 cm atau lebih. Tanah *Gleysols* merupakan tanah yang menunjukkan sifat hidromorfik di dalam 50 cm dari permukaan. Tanah *Planosols* dan Tanah *Acrisols* adalah tanah yang berada dalam jarak 125 cm dari permukaan. Tanah *Cambisols* yang tebalnya lebih dari 25 cm. Tanah *Podzols* adalah tanah yang menunjukkan sifat hidromorfik pada kedalaman 50 cm dari permukaan. Tanah *Nitosols* yang mempunyai kedalaman hingga 150 cm.

2.2.4. Suhu

Suhu adalah faktor penting yang mempengaruhi kemudahan bahan untuk terbakar dan tingkat pembakarannya. Namun, suhu tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam periode tertentu jika kebakaran dilakukan secara sengaja atau untuk tujuan pembersihan lahan yang tidak terkontrol (Syaufina dan Puspitasari, 2015). Menurut Humam dkk., (2020) wilayah dengan suhu yang sangat tinggi ($>35^{\circ}\text{C}$) akan sangat rentan mengalami kebakaran hutan dibandingkan dengan wilayah yang memiliki suhu yang lebih rendah (18°C). Fick dan Hijmans, (2017) menyatakan bahwa data suhu yang dikeluarkan oleh *WorldClim* memiliki akurasi sebesar 0,99.

Tabel 4. Klasifikasi Suhu

No.	Kelas	Nilai Suhu
1	Sangat Rendah	$<20^{\circ}\text{C}$
2	Rendah	$20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$
3	Sedang	$25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$
4	Tinggi	$30^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
5	Sangat Tinggi	$>35^{\circ}\text{C}$

(Sumber : Latue dan Rakuasa, 2023)

Perubahan penggunaan lahan di suatu wilayah dapat secara signifikan mempengaruhi peningkatan suhu permukaan tanah. Contohnya saat lahan yang sebelumnya merupakan area pertanian atau lahan hijau terbuka diubah menjadi area perkotaan, aktivitas manusia meningkat, termasuk pembangunan gedung, jalan, dan infrastruktur lainnya. Struktur bangunan ini cenderung menyerap dan menyimpan panas lebih banyak dibandingkan dengan lahan terbuka (Latue dan Rakuasa, 2023). Sebagai hasilnya, suhu udara di area perkotaan biasanya lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang masih dihuni oleh hutan.

2.2.5. Kelembaban

Menurut Vembrianto dkk., (2015) kelembaban udara berasal dari proses evaporasi dari tanah, badan air, dan transpirasi tumbuhan. Ketika jumlah uap air di udara sama dengan jumlah air yang menguap, udara mencapai kondisi jenuh. Biasanya, kandungan uap air di udara lebih rendah daripada jumlah penguapan yang terjadi, yang disebut sebagai udara tak jenuh. Para ahli meteorologi mengukur kelembaban udara dalam bentuk kelembaban relatif. Menurut Usman dkk., (2019) kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah uap air yang ada di udara (kelembaban mutlak) dan jumlah uap air maksimum yang dapat ditahan udara pada suhu dan tekanan yang sama.

Tabel 5. Klasifikasi Kelembaban Relatif

No.	Kelas	Nilai Kelembaban Relatif
1	Sangat Rendah	<20%
2	Rendah	20%– 40%
3	Sedang	40%– 60%
4	Tinggi	60%- 80%
5	Sangat Tinggi	>80%

(Sumber: Muhammad dan Nurtyawan, 2023)

Di hutan, kelembaban udara berperan penting dalam menentukan seberapa mudah bahan bakar akan mengering, yang pada gilirannya mempengaruhi kemungkinan terjadinya kebakaran. Hal ini sejalan dengan pernyataan dari

Pandapotan dkk., (2022) bahwa semakin rendah kelembaban maka kadar air di wilayah tersebut juga semakin rendah sehingga membuat proses pembakaran cenderung lebih cepat. Kalimantan Timur memiliki kelembaban relatif yang sangat tinggi sekitar 90%, dan kelembaban relatif yang paling rendah berkisar 63%.

2.2.6. Kecepatan Angin

Menurut Suwarti dkk., (2017) kecepatan angin mengacu pada kecepatan gerakan udara secara horizontal, yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan atmosfer, lokasi geografis, ketinggian, dan kondisi topografi suatu daerah. Angin terbentuk ketika udara bergerak dari area dengan tekanan tinggi menuju area dengan tekanan rendah. Kecepatan angin adalah faktor penting dalam prakiraan cuaca dan berdampak pada berbagai fungsi, seperti penyerbukan tanaman, laju metabolisme tanaman, serta faktor manusia lainnya, termasuk risiko kebakaran hutan. Selain itu, kecepatan angin juga dapat membantu dalam menentukan awal musim baru atau perubahan besar dalam cuaca. Biasanya, kecepatan angin diukur menggunakan anemometer, yaitu alat yang sering digunakan dalam stasiun cuaca.

Tabel 6. Klasifikasi Kecepatan Angin

No.	Kelas	Kecepatan Angin
1	Tenang	0,51 m/s – 2,06 m/s
2	Sedikit Hembusan	2,06 m/s – 3,60 m/s
3	Angin Hembusan	3,60 m/s – 5,65 m/s
4	Angin Pelan	5,65 m/s – 8,74 m/s
5	Angin Sedang	8,74 m/s – 10,79 m/s
6	Angin Kuat	$\geq 11,308$ m/s

(Sumber: Lusiani dan Wardoyo, 2017)

Kecepatan angin pada kalimantan timur tergolong tenang yakni berkisar 0,6 m/s hingga angin dengan sedikit hembusan berkisar 2,2 m/s. Ketika kebakaran terjadi, kecepatan pembakaran, laju penyebaran, dan perkembangan api akan semakin meningkat seiring dengan kekuatan angin

yang semakin besar (Pandapotan dkk., 2022). Menurut Fick dan Hijmans, (2017) data kecepatan angin yang dikeluarkan oleh *WordClim* memiliki akurasi sebesar 0,76.

2.2.7. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan ukuran keberadaan vegetasi. NDVI adalah nilai yang dihasilkan dari kombinasi beberapa pita spektral spesifik dalam citra penginderaan jauh. Berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia, (2012) indeks vegetasi ini diperoleh dari energi yang dipantulkan oleh vegetasi dalam citra penginderaan jauh, dan digunakan untuk mengukur kesehatan dan kepadatan tanaman.

Tabel 7. Klasifikasi Tingkat Kehijauan

Kelas	Keterangan	Nilai NDVI
1	Tanpa Vegetasi	(-1) – (-0,03)
2	Tingkat Kehijauan Sangat Rendah	(-0,03) – 0,15
3	Tingkat Kehijauan Rendah	0,15 – 0,25
4	Tingkat Kehijauan Sedang	0,25 – 0,35
5	Tingkat Kehijauan Tinggi	0,36 – 1,00

(Sumber : Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2012)

Menurut Fitria dkk., (2021) nilai NDVI bervariasi dari -1 (non-vegetasi) hingga 1 (vegetasi) dimana Kalimantan Timur memiliki NDVI dengan tingkat kehijauan tinggi. Menurut informasi yang penulis dapatkan melalui email, data *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* yang dikeluarkan oleh USGS telah diulas oleh peneliti-peneliti terkait dari USGS sehingga datanya dipastikan memiliki akurasi dan kualitas untuk mendukung penelitian akademik.

2.2.8. Jarak dari Jalan

Secara umum, semakin jauh jarak lokasi yang rentan kebakaran ke jalan yang aksesibel dimana ada jasa pemadam kebakaran atau lebih dari radius 100 m dari jalan kolektor dan arteri (Vieri dkk., 2023) maka semakin tinggi tingkat penyebaran kebakaran, sementara semakin dekat jarak lokasi yang rentan kebakaran ke jalan yang dalam radius 100 m dari jalan kolektor dan arteri membuat pemadaman menjadi lebih mudah sehingga penyebaran kebakaran cenderung rendah (Humam dkk., 2020). Pengolahan jarak dari jaringan jalan dilakukan dengan analisis *euclidean distance*. *Euclidean Distance* digunakan untuk mengukur jarak lurus antara titik lokasi kebakaran dengan aksesibilitas serta lokasi aktivitas atau kegiatan manusia (Susilawati dan Syam'ani, 2021).

Tabel 8. Kelas Jalan

No.	Value	Kelas Jalan
1.	<i>Motorway</i>	Jalan Tol
2.	<i>Trunk</i>	Jalan Arteri Primer
3.	<i>Primary</i>	Jalan Arteri Sekunder
4.	<i>Secondary</i>	Jalan Kolektor Primer
5.	<i>Secondary Link</i>	Jalan Kolektor Sekunder
6.	<i>Tertiary</i>	Jalan Lokal Primer
7.	<i>Tertiary Link</i>	Jalan Lokal Sekunder
8.	<i>Residential</i>	Jalan Permukiman
9.	<i>Pedestrian</i>	Jalan Khusus Pejalan Kaki
10.	<i>Path</i>	Jalan Setapak
11.	<i>Track</i>	Jalan Pematang
12.	<i>Services</i>	Jalan Layanan
13.	<i>Living Street</i>	Gang

(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023)

Jalan Arteri adalah jenis jalan umum yang dirancang untuk melayani angkutan utama, dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah akses yang terbatas secara fungsional (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023). Berdasarkan SNI 03 – 6967 – 2003 Persyaratan Umum Sistem Jaringan dan Geometrik Jalan Perumahan, (2001) Jalan arteri primer disiapkan untuk kecepatan rencana

minimum 60 km/jam dan harus memiliki lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter. Sementara itu, jalan arteri sekunder dirancang untuk kecepatan rencana minimum 30 km/jam dengan lebar badan jalan setidaknya 8 meter.

Jalan Kolektor adalah jalan umum yang berfungsi untuk mengumpulkan atau membagi arus lalu lintas, dengan perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan akses yang juga dibatasi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023). Berdasarkan SNI 03 – 6967 – 2003 Persyaratan Umum Sistem Jaringan dan Geometrik Jalan Perumahan, (2001) Jalan kolektor primer, desainnya mendukung kecepatan rencana minimum 40 km/jam dan lebar badan jalan tidak kurang dari 7 meter. Jalan kolektor sekunder, pada gilirannya, dirancang untuk kecepatan rencana paling rendah 20 km/jam dengan lebar badan jalan minimal 7 meter.

Jalan Lokal melayani angkutan di area setempat, dengan perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan tidak ada batasan pada jumlah jalan masuk (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023). Berdasarkan SNI 03 – 6967 – 2003 Persyaratan Umum Sistem Jaringan dan Geometrik Jalan Perumahan, (2001) Jalan lokal primer dirancang dengan kecepatan rencana minimum 20 km/jam dan memiliki lebar badan jalan minimal 6 meter. Jalan lokal sekunder, di sisi lain, dirancang untuk kecepatan rencana paling rendah 10 km/jam dengan lebar badan jalan sekurang-kurangnya 5 meter.

2.3. *JASP*

JASP atau singkatan dari *Jeffrey's Amazing Statistics Program* merupakan sebuah perangkat lunak grafis gratis yang dinamai untuk menghormati pelopor inferensi Bayesian, Sir Harold Jeffreys (Goss-Sampson, 2020). Ini adalah perangkat statistik yang dikembangkan dan terus diperbarui oleh tim peneliti di Universitas Amsterdam. Program ini dirancang untuk menyediakan teknik statistik baik yang standar maupun yang lebih

kompleks, dengan fokus utama pada antarmuka pengguna yang sederhana dan mudah dipahami.

Berbeda dari banyak perangkat statistik lainnya, *JASP* menawarkan antarmuka yang memungkinkan pengguna untuk melakukan *drag and drop*, menu akses yang mudah, serta analisis intuitif dengan perhitungan dan tampilan hasil secara *real-time* (Goss-Sampson, 2020). Semua tabel dan grafik dihasilkan dalam format APA, sehingga dapat langsung disalin atau disimpan secara terpisah. Selain itu, tabel juga dapat diekspor dari *JASP* dalam format LaTeX.

Dalam penelitian ini *JASP* digunakan untuk melakukan korelasi *Pearson* yang bertujuan untuk menemukan arah dan seberapa kuat hubungan antar variabel sama seperti uji multikolinieritas (Schober dkk., 2018). Menurut Aryanti dkk., (2021) pada uji multikolinieritas, jika nilai *Variance Inflating Factor* (VIF) < 10 dan nilai *tolerance* > 0,10, maka tidak terdapat multikolinieritas pada variabel tersebut. Menurut Ali dkk., (2023) variabel yang telah dilakukan uji korelasi *Pearson* dengan koefisien < 0,8 dapat digunakan untuk membangun model melalui persamaan sebagai berikut.

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

x = variabel pertama

y = variabel kedua

n = banyaknya jumlah pengamatan

(Sumber: Fitriani dkk., 2023)

Tabel 9. Nilai Korelasi *Pearson*

Nilai Korelasi <i>Pearson</i>	Keterangan
0,00 - 0,10	Tidak Ada Korelasi
0,11 - 0,39	Korelasi Lemah
0,40 - 0,69	Korelasi Sedang
0,70 - 0,89	Korelasi Kuat
0,90 – 1,00	Korelasi Sangat Kuat

(Sumber: Schober dkk., 2018)

2.4. *MaxEnt (Maximum Entropy)*

Ide untuk *MaxEnt* pertama kali dikembangkan *Center for Biodiversity and Conservation* di *American Museum of Natural History* (AMNH) melalui kemitraan publik-swasta antara AMNH dan AT&T-Research. Algoritma *MaxEnt* dapat diartikan sebagai salah satu teknik dalam *machine learning* yang dikembangkan untuk memilih model data dengan memperhitungkan semua fakta yang tersedia dalam data sampel, namun dengan tetap mempertahankan sebanyak mungkin ketidakpastian yang ada (Phillips dan Dudik, 2008). Data yang tidak beraturan ini dijadikan sebagai basis masukan dalam algoritma ini untuk menghasilkan sebuah informasi yang baru. Untuk menentukan nilai probabilitas sehingga dapat menghasilkan sebuah informasi yang baru, *MaxEnt* bekerja berdasarkan persamaan dasar sebagai berikut:

$$q(x) = \frac{\exp(\sum_j^n \lambda_j f_j(x))}{Z} \dots\dots\dots (2)$$

$$Z = \sum \exp(\sum_j^n \lambda_j f_j(x)) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

$q(x)$ = Nilai probabilitas kehadiran suatu objek

λ_j = Nilai koefisien variabel

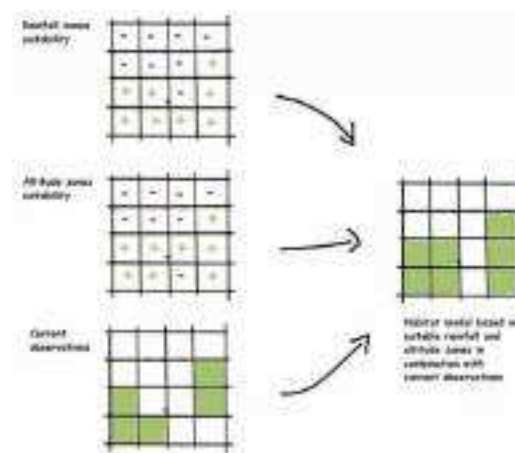
$f_j(x)$ = Nilai variabel pendukung

Z = Faktor normalisasi

n = Jumlah titik yang digunakan

(Sumber: Dudik dkk., 2004 dan Merow dkk., 2013)

MaxEnt mampu memodelkan probabilitas distribusi secara spesifik sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada menggunakan data lingkungan dan data aktual, (Saputra, 2017). Data aktual merupakan data kehadiran fenomena yang berisi data koordinat (x,y) dan nama suatu objek dalam format .csv, sedangkan variabel fisik adalah variabel lingkungan yang memperbesar kemungkinan terjadinya suatu fenomena pada suatu wilayah yang sama dalam format ascii (*American Standard Code for Information Interchange*).



Gambar 1. Cara Kerja *MaxEnt*
(Sumber: R. Saputra, 2017)

MaxEnt menghasilkan model dengan tingkat akurasi yang tinggi hanya berdasarkan data kehadiran fenomena yang ada (Nugroho dkk., 2022). Bahkan pada penelitian yang dilakukan oleh Yudaputra dkk., (2019) menunjukkan bahwa *MaxEnt* memiliki akurasi yang lebih tinggi untuk pemodelan distribusi potensi dibandingkan 5 algoritma lainnya.

Tabel 10. Akurasi Berbagai Algoritma

No.	Algoritma	Akurasi
1.	<i>Maximum Entropy (MaxEnt)</i>	89%
2.	<i>Support Vector Machine (SVM)</i>	87%
3.	<i>Random Forest (RF)</i>	86%
4.	<i>Generalized Linear Model (GLM)</i>	82%
5.	<i>Domain</i>	73%
6.	<i>BioClim</i>	62%

(Sumber: Yudaputra dkk., 2019)

2.5. Output MaxEnt

Perangkat lunak *MaxEnt* memiliki *output* berupa file HTML yang didalamnya terdapat berbagai informasi yakni gambar pemodelan, *AUC* (*Area Under Curve*), *response curve* yang menggambarkan hubungan antara perubahan nilai variabel lingkungan terhadap potensi kehadiran suatu fenomena, *percentage contribution* untuk setiap variabel, dan hasil tes *Jackknife*.

2.5.1. ROC-AUC Curve

Model yang dihasilkan akan dievaluasi kinerjanya menggunakan kurva *Receiver Operating Characteristic (ROC)*. *ROC-AUC Curve* merupakan kurva yang digunakan untuk memvalidasi hasil pemodelan *MaxEnt* dengan menggambarkan *sensitivity* dibandingkan dengan *specificity* (Zainal dkk., 2022). *Sensitivity* mengukur seberapa baik data dalam memprediksi kehadiran suatu kondisi, sedangkan *specificity* mengukur seberapa baik data dalam memprediksi ketidakhadiran kondisi tersebut (Baldwin, 2009). Kurva ROC akan menghasilkan area yang dikenal sebagai *Area Under Curve (AUC)*, yang memiliki rentang nilai antara 0 hingga 1 dengan nilai spesifiknya sebagai berikut:

Tabel 11. Nilai Akurasi Klasifikasi Berdasarkan *AUC*

Nilai <i>Area Under Curve</i>	Keterangan
0,91 – 1,00	Sangat Baik
0,81 – 0,90	Baik
0,71 – 0,80	Cukup
0,61 – 0,70	Buruk

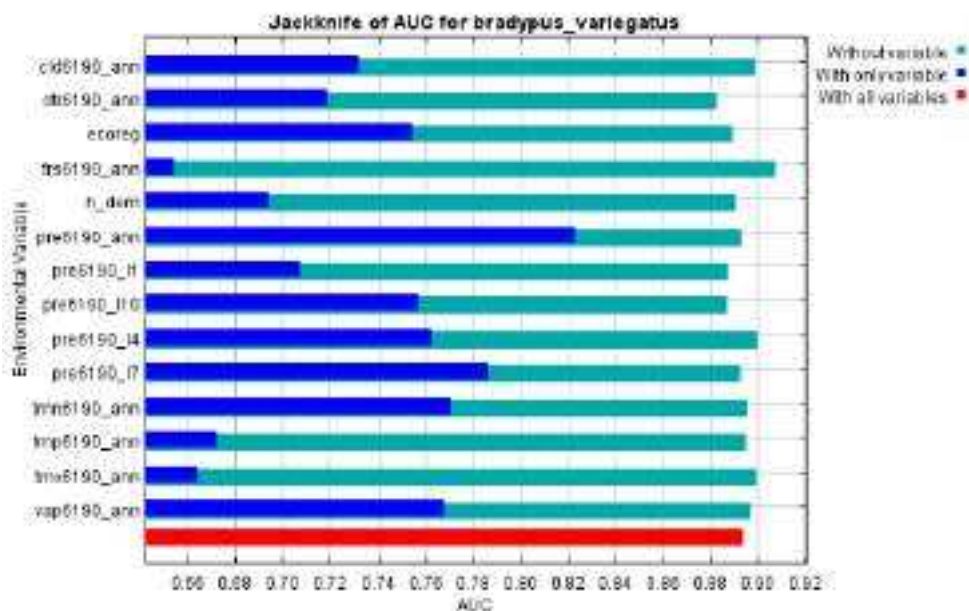
(Sumber : Zhu dkk., 2010)

Nilai *AUC* pada kurva *ROC* memiliki rentang 0 sampai 1, dengan nilai mendekati 1 berarti memiliki kinerja model yang optimal (Nugroho dkk., 2022). Rentang nilai *AUC* dari 0,91 hingga 1,00 menunjukkan kinerja

yang sangat baik. Nilai *AUC* antara 0,81 dan 0,90 menunjukkan kinerja yang bagus, berarti model memiliki kinerja yang cukup bagus. Nilai *AUC* dalam rentang 0,71 hingga 0,80 dianggap cukup akurat, tetapi masih dapat ditingkatkan. Sementara itu, nilai *AUC* antara 0,61 dan 0,70 dianggap pemodelan memiliki akurasi yang buruk.

2.5.2. *Jackknife*

Jackknife menyajikan seberapa penting variabel lingkungan berpengaruh terhadap proses membangun model. Grafik *Jackknife* menunjukkan bahwa menghapus variabel yang memberikan kontribusi besar terhadap pemodelan dapat menyebabkan penurunan nilai *AUC* (Pratama dkk., 2023). Dengan kata lain, jika variabel-variabel yang penting untuk model dihilangkan satu per satu, nilai *AUC*, yang mengukur kinerja model akan menurun dan mencerminkan bahwa kehilangan variabel-variabel kunci akan mengurangi efektivitas model dalam memberikan prediksi yang akurat dan andal.



Gambar 2. Tampilan *Jackknife*

(Sumber: Phillips, 2017)

Jackknife memiliki tiga hasil yakni *jackknife training gain* yang menunjukkan pengaruh *training data* dalam membangun model prediksi, *jackknife test gain* yang menunjukkan pengaruh data dalam membangun model dan *jackknife AUC* yang menunjukkan pengaruh variabel lingkungan pada pemodelan (Nugroho dkk., 2022). Dalam tampilannya, grafik *Jackknife* terdiri dari 3 warna yang dimana warna biru tua menunjukkan dampak dari setiap variabel terhadap pemodelan, sementara warna biru muda menggambarkan nilai yang diperoleh tanpa mempertimbangkan variabel tersebut. Di sisi lain, warna merah mewakili nilai total dari variabel lingkungan yang sedang dianalisis (Pratama dkk., 2023).

2.5.3. Percent Contribution

Percent Contribution digunakan untuk melihat variabel yang memiliki pengaruh terbesar pada penelitian potensi kebakaran hutan (Muttaqin dkk., 2019). Program *MaxEnt* juga menghasilkan tabel analisis yang menunjukkan kontribusi variabel lingkungan berdasarkan persentase dan peringkat kontribusi terhadap potensi lokasi kebakaran hutan. Hasil dari analisis ini dapat digunakan untuk merancang strategi pencegahan dan penanggulangan kebakaran yang lebih efektif berdasarkan variabel-variabel yang terbukti paling berpengaruh.

2.6. FOLU Net Sink 2030

FOLU Net Sink 2030 adalah target untuk mencapai kondisi di mana mitigasi emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan dan lahan akan menghasilkan penyerapan karbon yang lebih besar daripada emisi pada tahun 2030 (KLHK, 2022). Kebijakan ini merupakan komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi GRK dan mengatasi dampak perubahan iklim. Program ini dibuat untuk menciptakan Indonesia Hijau salah satunya dengan cara mencegah kebakaran hutan (Muharrami, 2022)

Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 mengatur implementasi *FOLU Net Sink* 2030 untuk mencapai target kontribusi nasional dalam pengendalian emisi GRK. Pasal 3 Ayat (4) menekankan bahwa sektor kehutanan akan menjadi penyimpan karbon utama dengan pendekatan *carbon net sink*, di mana jumlah karbon yang diserap lebih besar daripada yang dilepaskan. Program ini terfokus pada empat strategi utama: menghindari deforestasi, menjaga dan mengelola hutan secara lestari, melindungi serta mengembalikan lahan gambut, serta meningkatkan penyerapan karbon.

2.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan menggunakan pustaka yang diperoleh dari jurnal-jurnal penelitian sebelumnya yang berkaitan. Berikut ini adalah beberapa referensi yang digunakan:

Tabel 12. Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Metode	Hasil
1.	Mishra dkk., (2023)	<i>Forest Fire Maximum Pattern and Entropy Vulnerability Mapping Using Deep Learning in Nepal</i>		Risiko kerentanan terhadap kebakaran hutan yang diperoleh dari kedua pendekatan tersebut dikategorikan ke dalam empat kelas yaitu sangat tinggi, tinggi, rendah, dan sangat rendah
2.	Sivrikaya, Günlü, Küçük, dan Ürker, (2024)	<i>Forest Fire Risk Mapping With Landsat 8 OLI Images: Evaluation of The Potential Use of Vegetation Indices</i>	<i>Jenks' natural break</i>	Sekitar 1.067.306,8 ha berada di daerah risiko tinggi dan sangat tinggi. Sebanyak 335.997,5 ha tidak berisiko terhadap kebakaran hutan, dan hanya empat kejadian terjadi di area ini.

Lanjutan Tabel 12. Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Metode	Hasil
3.	Pandapotan dkk., (2022)	Analisis Pola Sebaran Asap Terhadap Kondisi Meteorologi di Pulau Kalimantan Terkait Kebakaran Hutan dan Lahan: Studi Kasus Kebakaran Hutan pada Bulan September 2019	Data satelit Himawari dan data satelit Terra dan aqua dengan <i>software</i> SATAID dan HYDRA.	Faktor meteorologi yang menyebabkan kebakaran hutan adalah curah hujan yang cukup rendah, suhu udara dengan rata-rata >30°C, kelembaban udara 70%-80% dan pola penyebaran asap disebabkan oleh angin yang bergerak dari arah timur ke arah barat dengan kecepatan 10 km/jam sampai 37,04 km/jam.
4.	Novita dan Vonnisa, (2021)	Pemodelan Spasial Kerentanan Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Timur	Metode <i>Composite Mapping Analysis</i> (CMA)	Sekitar 54,5% risiko kebakaran hutan dan lahan disebabkan oleh faktor manusia diantaranya jarak terhadap desa, jarak terhadap jalan dan tutupan lahan, sedangkan sisanya sebesar 45,5% disumbang oleh faktor biofisik diantaranya keberadaan gambut dan curah hujan.
5.	Arizky dkk., (2022)	Identifikasi Kebakaran Hutan dengan menggunakan Citra Sentinel-2 pada Kawasan Hutan Seulawah Agam, Aceh Besar	Metode <i>Normalized Burn Ratio</i> dari Citra Sentinel-2.	Metode NBR memiliki 4 kelas yaitu Tidak Terbakar, Tingkat Keparahan Rendah, Tingkat Keparahan Sedang, Tingkat Keparahan Tinggi.

Lanjutan Tabel 12. Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Metode	Hasil
6.	Ayuba dkk., (2021)	Pemodelan Distribusi Wilayah Rawan Kebakaran Menggunakan Model <i>Maximum Entropy</i> (Studi Kasus PT Jambi Batanghari Plantation)	<i>Maximum Entropy</i>	Tanah yang terletak di daerah yang memiliki risiko kebakaran tinggi mencakup semak belukar, area terbangun, lahan untuk menanam kelapa sawit, dan perkebunan kelapa sawit.
7.	Nurmita, (2024)	Pemodelan Spasial Distribusi Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan <i>MaxEnt</i> di Provinsi Kalimantan Timur Untuk Mendukung Program Folu Net Sink 2030	<i>Maximum Entropy</i>	Ada 4 variabel dengan rentang nilai 0,20-1,00 (hubungan linier positif dan pada analisis <i>percent contribution</i> kemungkinan variabel yang paling berkontribusi pada kebakaran hutan adalah suhu, curah hujan dan kecepatan angin.

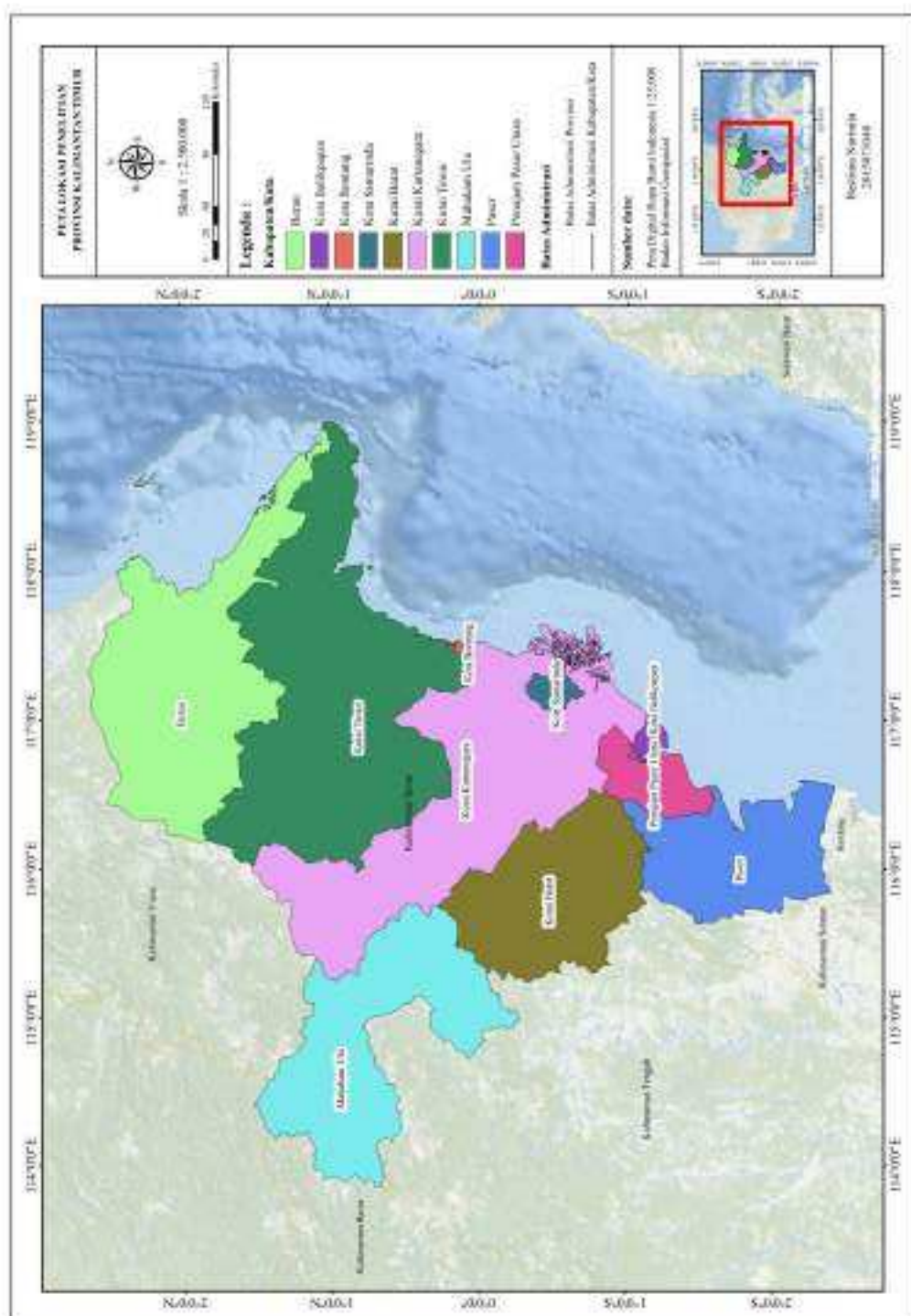
Berdasarkan penelitian terdahulu, maka *gap* dari penelitian ini adalah analisis spasial distribusi potensi kebakaran hutan dengan menggunakan metode yang belum pernah dilakukan sebelumnya yakni *MaxEnt* (*Maximum Entropy*) di Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian ini juga menggunakan gabungan parameter dari penelitian sebelumnya yakni data aktual berupa titik hotspot dan titik kebakaran pada kejadian sebelumnya serta variabel pendukung berupa jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan, kelembaban, suhu, kecepatan angin, jarak dari jalan dan NDVI. Dengan menggunakan *MaxEnt* (*Maximum Entropy*) penelitian ini juga akan dilengkapi dengan informasi kontribusi dari tiap variabel pada potensi kebakaran hutan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Provinsi Kalimantan Timur yang terletak antara 113°44' Bujur Timur dan 119°00' Bujur Timur serta diantara 2°33' Lintang Utara dan 2°25' Lintang Selatan. Kalimantan Timur terbagi menjadi 10 Kabupaten/Kota yakni Kabupaten Mahakam Ulu, Kabupaten Paser, Kabupaten Kutai Timur, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kabupaten Berau, Kabupaten Penajam Paser, Kabupaten Kutai Barat, Kota Bontang, Kota Samarinda dan Kota Balikpapan.

Kalimantan Timur dipilih sebagai lokasi penelitian karena data dari Sistem Pemantauan Karhutla, (2024), yang dikelola oleh KLHK, menunjukkan bahwa provinsi ini memiliki area kebakaran hutan terluas di antara provinsi-provinsi lain, dengan luas mencapai 6.013,66 hektar hingga bulan Maret 2024. Tingginya risiko kebakaran hutan di daerah ini menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) yang sedang berlangsung.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak dalam setiap tahapan penelitian, baik dalam tahap persiapan, pengolahan data, dan analisis hingga kepenulisan laporan hasil penelitian. Berikut merupakan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini.

3.2.1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Mouse*
2. Laptop Acer Aspire 3 Windows 11 64-bit

3.2.2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Microsoft Office*
2. *Software* Pengolah Data Spasial atau *GIS*
3. *JASP*
4. *MaxEnt*

3.3. Data yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data administrasi, data aktual titik kebakaran, dan data variabel lingkungan. Berikut merupakan data, format dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 13. Data yang Digunakan

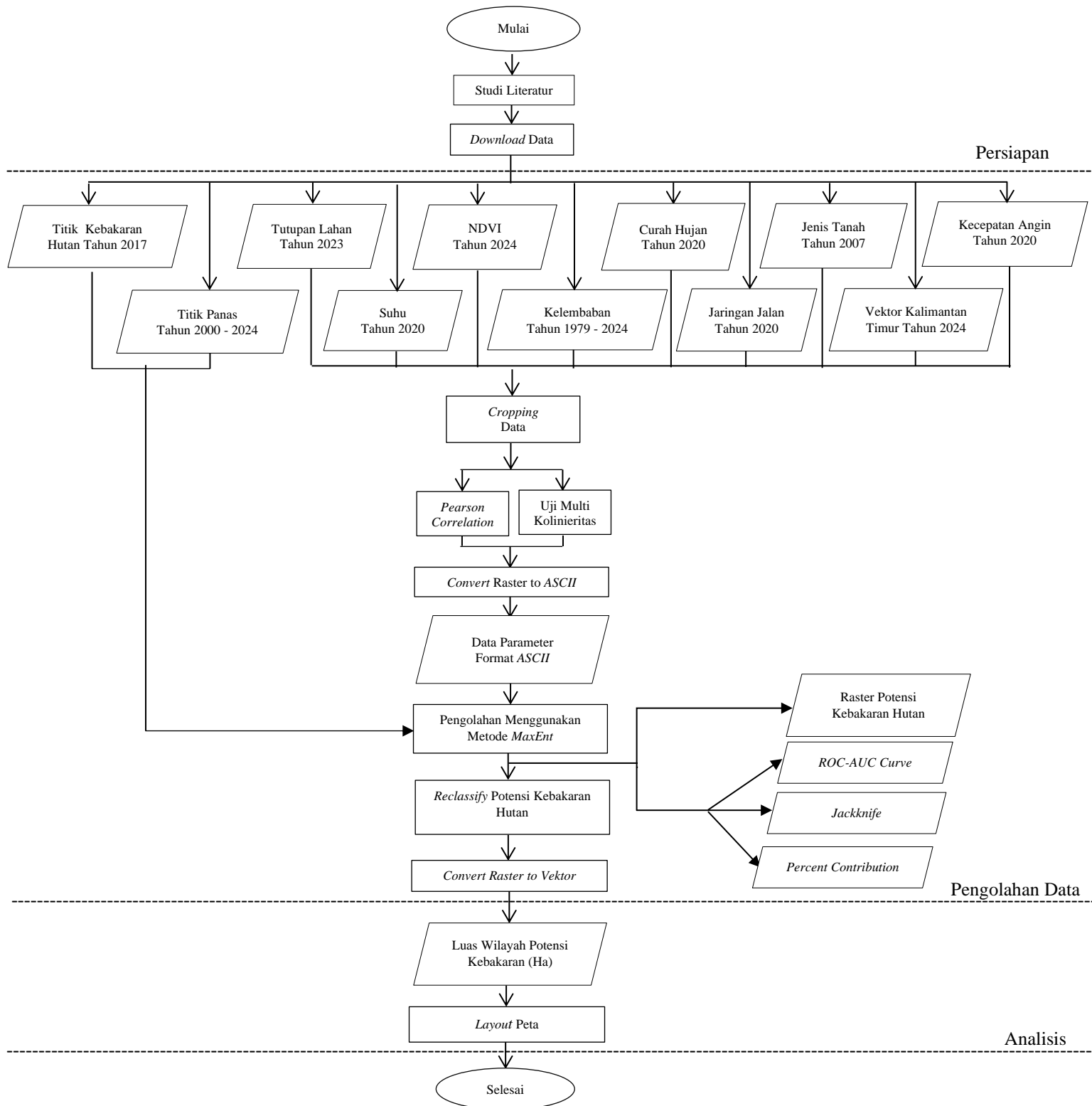
No.	Data	Format	Sumber
1.	Batas Administrasi Provinsi dan Kabupaten/Kota Se-Indonesia Tahun 2024	<i>Vektor</i>	BIG
2.	Koordinat Titik Kebakaran Tahun 2017	<i>CSV</i>	KLHK – Siaran Pers
3.	Kecepatan Angin Tahun 2020	<i>Raster</i>	<i>WorldClim</i>

Lanjutan Tabel 13. Data yang Digunakan

No.	Data	Format	Sumber
4.	Tutupan Lahan Tahun 2023	<i>Raster</i>	ArcGIS - <i>Livingatlas</i>
5.	NDVI Tahun 2024	<i>Raster</i>	<i>U.S. Geological Survey</i>
6.	Curah Hujan Tahun Tahun 2020	<i>Raster</i>	<i>WorldClim</i>
7.	Jenis Tanah Tahun 2007	<i>Vektor</i>	<i>FAO Map Catalog</i>
8.	Suhu Tahun 2020	<i>Raster</i>	<i>WorldClim</i>
9.	Titik Panas Tahun 2000 – 2024	<i>CSV</i>	NASA - <i>FIRMS</i>
10.	Kelembaban Tahun 1979 - 2024	<i>Raster</i>	<i>Copernicus - ECMWF</i>
11.	Jaringan Jalan Tahun 2020	<i>Vektor</i>	<i>OSM</i>

3.4. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahapan, tahap pertama adalah tahap persiapan yang terdiri dari studi literatur dan *download* data, tahap kedua adalah tahap pengolahan data yang terdiri dari *cropping* data, uji data, *convert* data, memasukkan data pada *software MaxEnt* hingga *reclassify* hasil pemodelan dan tahap terakhir adalah tahap analisis terhadap luas tiap kelas potensi kebakaran hutan hingga *layout* peta. Tahap-tahap tersebut digambarkan dalam diagram penelitian sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3.5. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, peneliti melakukan studi literatur pada penelitian-penelitian terdahulu untuk mendapatkan *gap* penelitian. *Gap* tersebut terdiri dari metode yang digunakan, data yang digunakan dan *software* yang digunakan. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Maximum Entropy* dengan *software MaxEnt*.

Pada penelitian ini data yang dikumpulkan terdiri dari Batas Administrasi Provinsi Kalimantan Timur dan Batas Administrasi Kabupaten/Kota di Kalimantan Timur yang didapatkan dari Badan Geospasial Indonesia (BIG) berupa format *vektor* yang digunakan untuk *clip* data sesuai lokasi penelitian. Peneliti juga mencatat secara manual 3 Titik Koordinat Kebakaran Tahun 2017 yang didapatkan dari Siaran Pers KLHK ke *Microsoft Excel* dan data *vektor* Titik Panas (*Hotspot*) yang didapatkan dari NASA.

Data variabel lingkungan yang dibutuhkan terdiri dari data *raster* Kecepatan Angin yang didapatkan dari *WorldClim*, data *raster* Tutupan Lahan yang didapatkan dari ArcGIS – *Livingatlas*, data *raster* NDVI yang didapatkan dari *U.S. Geological Survey (USGS)*, data *raster* Curah Hujan yang didapatkan dari *WorldClim*, data *vektor* Jenis Tanah yang didapatkan dari *FAO Map Catalog*, data *raster* Suhu dari yang didapatkan *WorldClim*, data *raster* Kelembaban yang didapatkan dari *Copernicus* dan data *vektor* Jaringan Jalan yang didapatkan dari *Open Street Map (OSM)*.

3.6. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data merupakan tahap dimana semua data yang telah dikumpulkan kemudian diolah, mulai dari *convert* format data ke format *CSV* untuk data aktual dan format *ASCII* untuk data variabel lingkungan agar data tersebut dapat dimasukkan ke *software MaxEnt* hingga nantinya

mendapatkan klasifikasi potensi kebakaran hutan beserta luas tiap kelasnya. Tahap pengolahan data pada penelitian kali ini dijelaskan sebagai berikut:

3.6.1. Menyiapkan Data Titik Aktual

Data aktual berupa 3 Titik Koordinat Kebakaran Tahun 2017 dari siaran pers Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia yang telah dicatat di *Microsoft Excel* kemudian disimpan dalam format *comma delimited* (csv). Namun untuk memastikan tidak ada kesalahan pencatatan titik koordinat kebakaran dan titik koordinat tersebut memang berada di wilayah penelitian yakni Provinsi Kalimantan Timur, maka perlu dilakukan pengecekan dengan melakukan *plotting* titik koordinat di *software* pengolah data spasial bersama dengan Batas Administrasi Kabupaten/Kota di Kalimantan Timur.

Tabel 14. Titik Koordinat Kebakaran Hutan

No.	Nama	UTM Zone 50S	
		X (meter)	Y (meter)
1.	Titik Kebakaran Hutan	553.539,00	10.048.909,08
2.	Titik Kebakaran Hutan	553.621,13	10.052.063,73
3.	Titik Kebakaran Hutan	548.882,88	10.051.173,40

Data vektor Titik Panas (*Hotspot*) yang didapatkan dari NASA berupa data titik panas se-Asia Tenggara. Oleh karena itu perlu dilakukan *clip* data Titik Panas (*Hotspot*) dengan Batas Administrasi Provinsi Kalimantan Timur menggunakan *software* pengolah data spasial, sehingga didapatkan bahwa di Provinsi Kalimantan Timur terdapat 30 Titik Panas (*Hotspot*) yang koordinat lengkapnya terdapat pada lampiran.

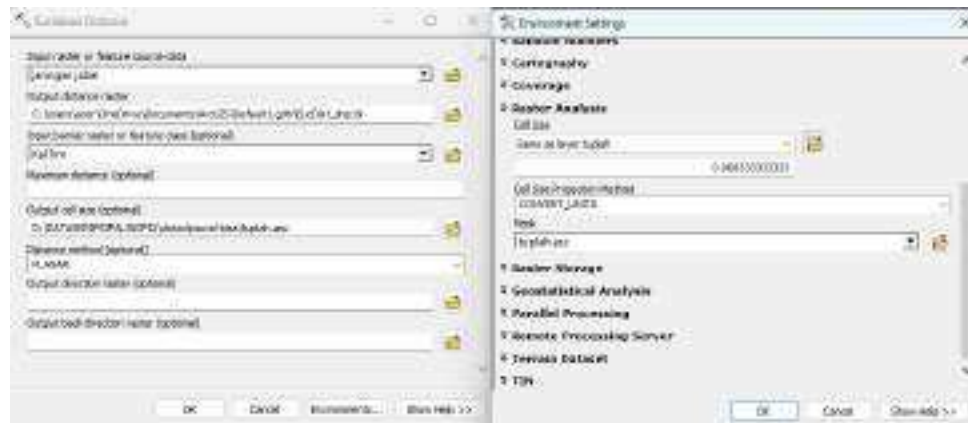
Tabel 15. Sampel Titik Koordinat *Hotspot*

No.	Nama	UTM Zone 50S	
		X (meter)	Y (meter)
1.	Titik <i>Hotspot</i>	561.774,15	10.076.371,07
2.	Titik <i>Hotspot</i>	561.496,06	10.075.539,81
3.	Titik <i>Hotspot</i>	561.356,86	10.076.520,24
...
30.	Titik <i>Hotspot</i>	561.599,54	10.075.558,61

3.6.2. Menyiapkan Data Variabel Lingkungan

Data variabel lingkungan yang telah dikumpulkan yakni terdiri dari data *raster* Kecepatan Angin, data *raster* Tutupan Lahan, data *raster* NDVI, data *raster* Curah Hujan, data *vektor* Jenis Tanah, data *raster* Suhu dari yang didapatkan *WorldClim* dan data *raster* Kelembaban yang didapatkan dari *Copernicus* kemudian dilakukan *cropping* dengan Batas Administrasi Provinsi Kalimantan Timur menggunakan *software* pengolah data spasial.

Data *vektor* Jaringan Jalan yang juga telah dilakukan *cropping* dengan Batas Administrasi Provinsi Kalimantan Timur kemudian dilakukan pengolahan *Euclidean Distance* digunakan untuk mengukur jarak lurus antara titik lokasi kebakaran dengan aksesibilitas serta lokasi aktivitas atau kegiatan manusia (Susilawati dan Syam'ani, 2021), sehingga didapatkan jarak terjauh dari jaringan jalan mencapai 73.624 m.



Gambar 5. *Euclidean Distance*

Data variabel lingkungan yang telah dilakukan *cropping* dengan Batas Administrasi Provinsi Kalimantan Timur diantaranya data Jenis Tanah dan data Jarak dari Jalan yang awalnya berformat *vektor* kemudian dilakukan *convert* ke format *raster* dengan bantuan *tools polygon to raster* menggunakan *software* pengolah data spasial. Semua data variabel lingkungan yang telah berformat *raster* kemudian di *convert* menjadi format *ASCII* dengan bantuan *tools Raster to ASCII* menggunakan *software* pengolah data spasial agar memenuhi syarat sebelum dimasukkan ke *software MaxEnt*.

Uji *Pearson Correlation* dan Multikolinearitas

Data variabel lingkungan Provinsi Kalimantan Timur yang berformat *raster* kemudian di-ekstrak nilai *cell*-nya menggunakan *software* pengolah data spasial dengan bantuan *tools Extract Multi Values to Points*. Nilai tiap *cell* yang sudah ada di *attribute table* kemudian di *convert* menjadi *file CSV* agar dapat dimasukkan ke *software JASP* sehingga dapat dilakukan uji *Pearson Correlation* dan Multikolinearitas.

corah_jajan	keredaban	tgl	jark_cor_jalan	lokasi_jalan	jark_tengah	tglu	asupan_bahan
150	70.25749960	191307	D	1.29000048	4563	27.5	1
150	70.25749960	191307	D	1.29000048	4563	27.5	1
121	70.25749960	191307	797.100946	1.29000048	4563	27.70000018	1
158	80.89790384	191307	D	1.60000024	4518	27.39999982	1
301	80.1388978	192908	590	1.29000048	4563	27.69999982	8
386	89.03030121	192918	590	0.68999968	4563	27.5	1
270	80.03030121	192908	590	0.68999968	4563	27.39999982	1
391	70.25749960	191307	797.100946	1.29000048	4563	27.70000018	1
122	70.57130347	191307	590	1.29000048	4563	27.80000036	1
780	70.25749960	190011	D	1.29000048	4563	27.80000036	1
159	70.25749960	191307	797.100946	1.29000048	4563	27.80000036	8
190	70.57130347	191307	590	1.29000048	4563	27.80000036	1
190	70.25749960	191307	D	1.29000048	4563	27.5	1
107	77.09000238	191307	1906	1.60000024	3748	27.59999982	1
150	70.49180394	191307	D	1.5	4563	27.70000018	1

Gambar 6. Tampilan data di JASP

Uji *Pearson Correlation* dilakukan menggunakan *software* JASP untuk mengetahui ada tidaknya hubungan yang terlalu kuat antara dua variabel (nilai korelasi $> 0,8$) yang nantinya memengaruhi akurat atau tidak pemodelan yang dilakukan. Uji *Pearson Correlation* juga dilakukan untuk melihat apakah dua variabel tersebut meningkat atau menurun bersama-sama.

Variable	Variable	corr	sig	corr	sig	corr	sig
1 keredaban	Pearson's r	—	—	—	—	—	—
2 corah_jajan	Pearson's r	-0.855	—	—	—	—	—
	p-value	< .001	—	—	—	—	—
3 jark_cor_jalan	Pearson's r	-0.595	0.039	—	—	—	—
	p-value	0.039	< .001	—	—	—	—
4 tglu	Pearson's r	-0.102	0.107	0.112	—	—	—
	p-value	0.056	0.056	0.056	0.104	—	—
5 lokasi_jalan	Pearson's r	0.189	-0.178	-0.491	-0.001	—	—
	p-value	< .001	< .001	0.004	0.004	0.142	—
6 jark_tengah	Pearson's r	0.158	-0.168	-0.420	-0.128	—	—
	p-value	< .001	0.003	0.019	0.042	0.042	—
7 asupan_bahan	Pearson's r	0.642	-0.004	-0.427	-0.036	—	—
	p-value	< .001	< .001	0.006	0.007	0.007	—
8 asupan_bahan	Pearson's r	0.155	-0.146	-0.086	-0.111	—	—
	p-value	0.112	0.111	0.111	0.090	0.090	—

Gambar 7. Uji *Pearson Correlation* di JASP

Uji multikolinearitas juga dilakukan untuk mengukur hubungan antara beberapa variabel secara bersamaan, jika terdapat multikolinearitas maka dapat mempengaruhi hasil prediksi. Jika nilai nilai *VIF* variabel < 10 , dan nilai *tolerance* variabel $> 0,10$ maka variabel tersebut telah teruji baik untuk dilakukan pemodelan.

The screenshot shows the JASP Linear Regression interface. The 'Predictors' list includes 'interaksi', 'Membaca Buku', 'Berkebun', 'P', and 'A'. The 'Coefficients, Statistics' table provides the following data:

	Interaksi	Membaca Buku	Berkebun	P	A	Tolerance	VIF
Interaksi	19,000	1,900	9,000	-0,001	-0,001	0,933	1,071
Membaca Buku	166,500	166,500	0,000	0,000	0,000	0,719	1,391
Berkebun	-0,127	1,270	0,112	-0,000	0,000	0,871	1,148
P	1,000	0,000	-0,000	0,000	0,000	0,900	1,111
A	1,000 + 10 ⁻⁴	0,000	0,000	0,000	0,000	0,900	1,111

The 'Diagnostics' table shows the following values:

Dimensi	Eigen Value	Collinearity Index	Interaksi	Membaca Buku	Berkebun	P	A	Model R ²
1	1,547	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,18
2	0,443	2,279	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,18
3	0,122	8,207	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,18
4	0,043	23,707	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,18
5	0,012	83,707	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,18
6	0,002	75,507	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,18
7	0,000 + 10 ⁻⁷	97,254	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,18
8	1,000 + 10 ⁻¹⁴	263,886	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,18

Gambar 8. Uji Multikolinearitas di JASP

3.6.3. Menentukan *Settings* Pemodelan

Untuk mendapatkan pemodelan yang optimal, data yang sudah teruji dan data koordinat objek aktual dimasukkan ke dalam *software* Rstudio dengan *script* yang dapat dilihat pada lampiran. *Script enmevaluate* yang digunakan ditulis oleh Banta, (2021) dengan memanfaatkan *package* "*raster*" yang dikembangkan oleh Hijmans, Etten, dkk., (2023) dan *package* "*dismo*" yang dibuat oleh Hijmans dkk., (2023). Hasil pemrosesan di perangkat lunak Rstudio dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan pengaturan pemodelan di *MaxEnt*, sehingga dapat menghemat waktu saat membuat model.



```

6. This won't need doing for this version of the script, but you must install all of the packages and run all of th
7
8 #install.packages(c("rasterlite", "rasterlite2", "rasterlite3"))
9 #library(rasterlite)
10 #library(rasterlite2)
11 #install.packages("rasterlite3")
12 #install.packages("rasterlite3", dependencies = TRUE)
13
14 library(raster)
15 library(raster)
16 library(raster)
17
18
19 This won't need to do all that stuff about getting data in the right directory any more.
20
21
22
23
24
25 #put here the names of your environmental layers, following the pattern below:
26 bakau <- raster("bakau.asc")
27 cb <- raster("cb.asc")
28 sungai <- raster("sungai.asc")
29 kelembaban <- raster("kelembaban.asc")
30 suhu <- raster("suhu.asc")
31 kecepatan <- raster("kecepatan.asc")
32 jalan <- raster("jalan.asc")
33 ASPT <- raster("ASPT.asc")

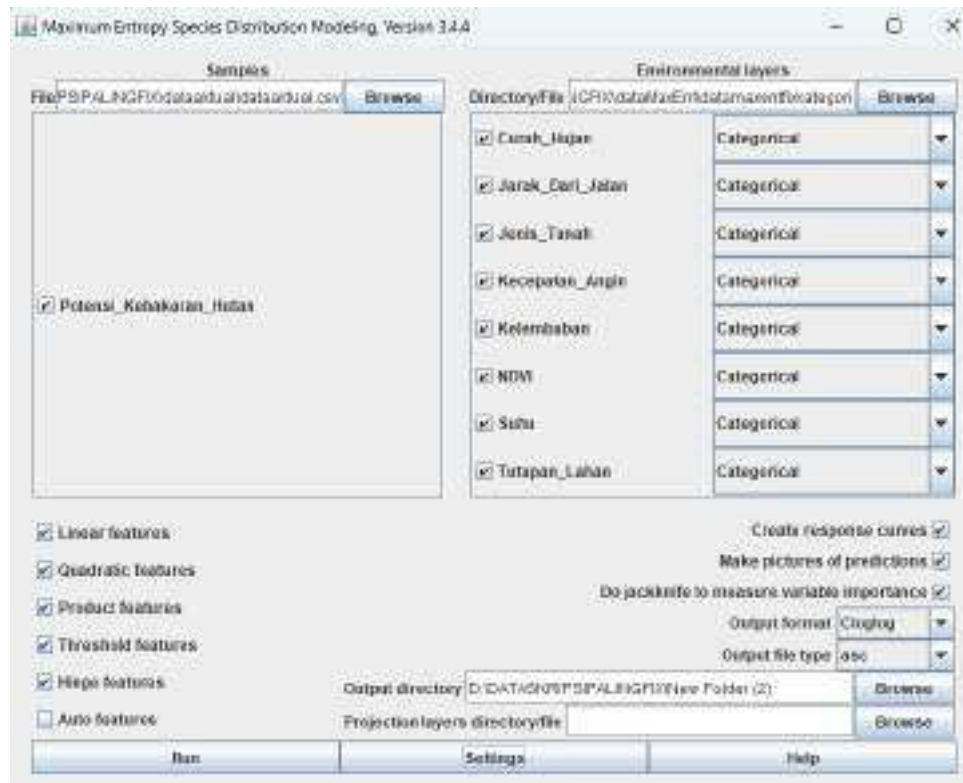
```

Gambar 9. Menentukan *Settings* Untuk Pemodelan

Berdasarkan hasil *script senmevaluate* RStudio yang berformat .csv yang dapat dilihat pada lampiran, maka pengaturan yang digunakan dalam pemodelan distribusi pemodelan kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* adalah *regularization multipliernya* sebesar 3 dan *featuresnya* menggunakan *Linear, Quadratic, Hinge, Product* dan *Threshold (LQHPT)*. Perlu dilakukan pengujian data dengan berbagai pengaturan lainnya yang berbeda untuk menemukan pemodelan terbaik, karena hasilnya sangat bergantung pada data dan pengaturan yang digunakan selama pemrosesan.

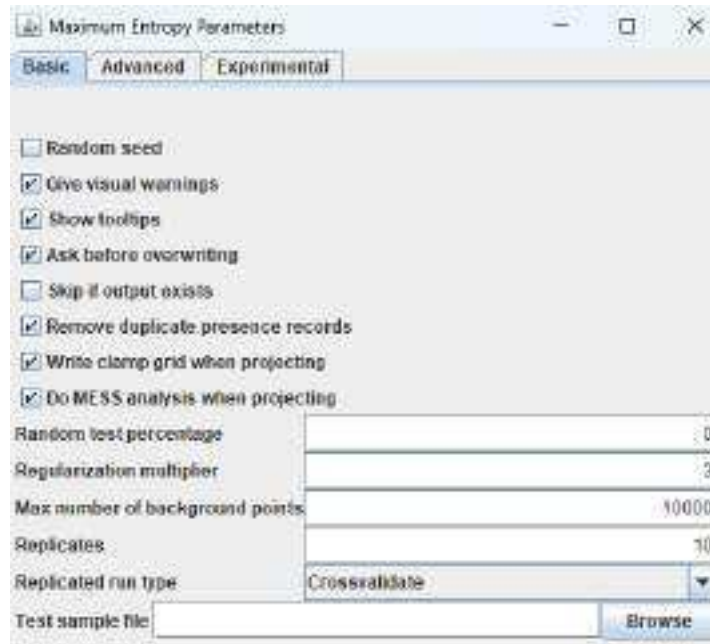
3.6.4. Pemodelan Distribusi Potensi Kebakaran Hutan

Data titik aktual yang berformat .csv berupa data 3 Titik Koordinat Kebakaran dan 30 Titik Panas (*Hotspot*) yang berisi data koordinat (x,y) dan nama suatu objek dimasukkan pada bagian "*samples*". Data variabel pendukung yang berformat .asc dimasukkan pada bagian "*Enviromental layers*" dengan tipe data *categorical* di *software MaxEnt*, pemilihan tipe data *categorical* ini nantinya akan berkaitan dengan tampilan *response curve* tiap variabel di laporan hasil. Berdasarkan hasil *script senmevaluate* RStudio, semua *features* yang berada di pojok kiri bawah dicentang.



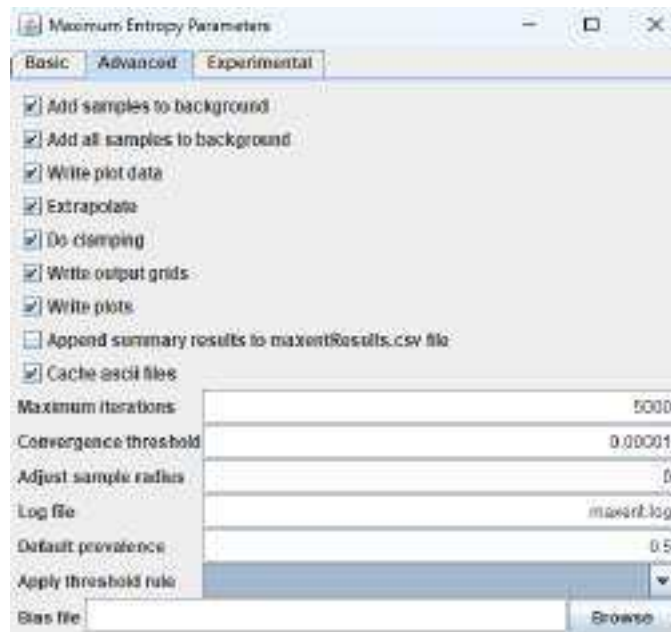
Gambar 10. Tampilan Antarmuka *Software MaxEnt*

Pada bagian *settings* terdapat 3 submenu pilihan yaitu *Basic*, *Advanced* dan *Experimental*. Pada submenu *basic*, berdasarkan uji coba yang dilakukan, penulis menemukan bahwa pengaturan submenu *basic* menghasilkan pemodelan terbaik dengan menggunakan persentase titik sampel yang otomatis ditentukan oleh tipe *Crossvalidate*, titik *background points* maksimal sebanyak 10.000, *multiplier* sebesar 3, dan pemodelan dilakukan secara berulang sebanyak 10 kali. Menurut Phillips dkk., (2006) *Background points* adalah data sampel yang diambil secara acak dari piksel-piksel di area studi untuk menggambarkan ketersediaan atau kondisi lingkungan di seluruh wilayah, bukan hanya di lokasi objek penelitian ditemukan.



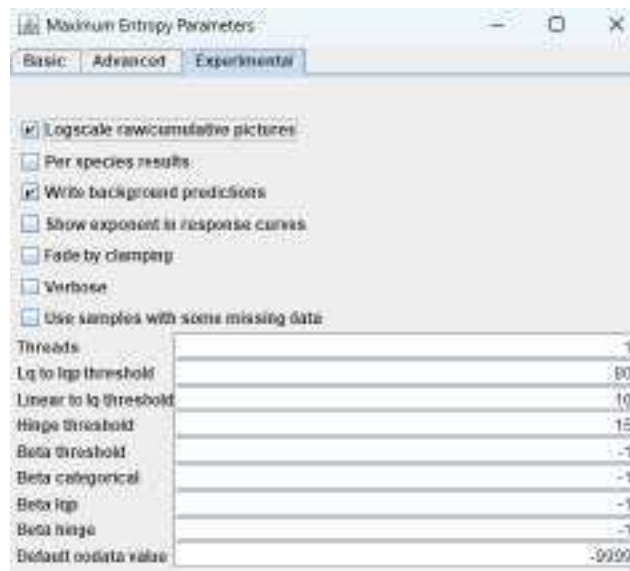
Gambar 11. Submenu *Basic Setting*

Menurut Dudik dkk., (2004) Iterasi atau *Iterations* merupakan jumlah perhitungan yang dilakukan untuk menghitung nilai koefisien (λ) hingga terjadi konvergen atau perubahan nilai koefisien menjadi sangat kecil atau tidak berubah secara signifikan, dan algoritma akan terus diperbarui setiap perhitungan iterasi. Berdasarkan literatur dan uji coba yang telah dilakukan, penulis menemukan bahwa pengaturan submenu *advanced* menghasilkan pemodelan terbaik dengan jumlah iterasi maksimal 5000 dan batas konvergen 0,00001. Selain itu, perlu menambahkan titik sampel tambahan secara acak ke *background points* agar setiap pengulangan model menghasilkan nilai pemodelan yang berbeda.



Gambar 12. Submenu *Advanced Setting*

Submenu *experimental* dirancang untuk menguji berbagai nilai ambang batas pemodelan dan nilai koefisien variabel pemodelan. Pada submenu *experimental*, penulis hanya memberikan centang pada fitur “*Write background predictions*” untuk menampilkan nilai prediksi *background points* yang digunakan.

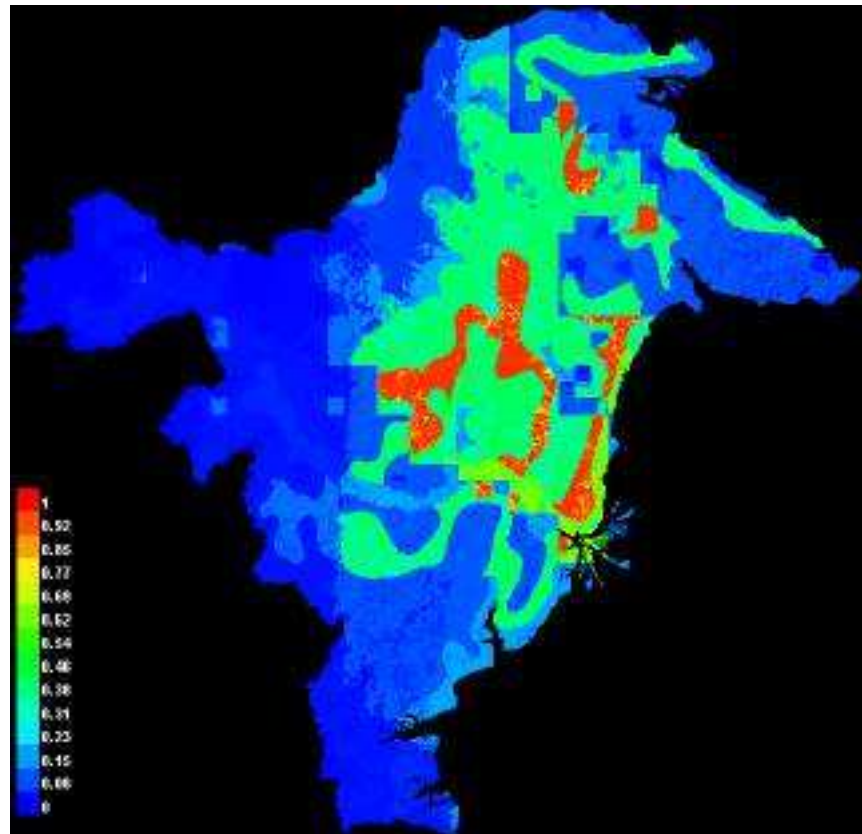


Gambar 13. Submenu *Experimental*

Ketika semua data telah dimasukkan dan *settings* telah diatur maka klik “*run*” untuk menjalankan program. Hasil dari pengolahan *MaxEnt* yang berupa file HTML terdiri dari dua *output* yakni visualisasi pemodelan dan data statistik sebagai berikut:

3.6.5.1. Visualisasi Potensi Kebakaran Hutan

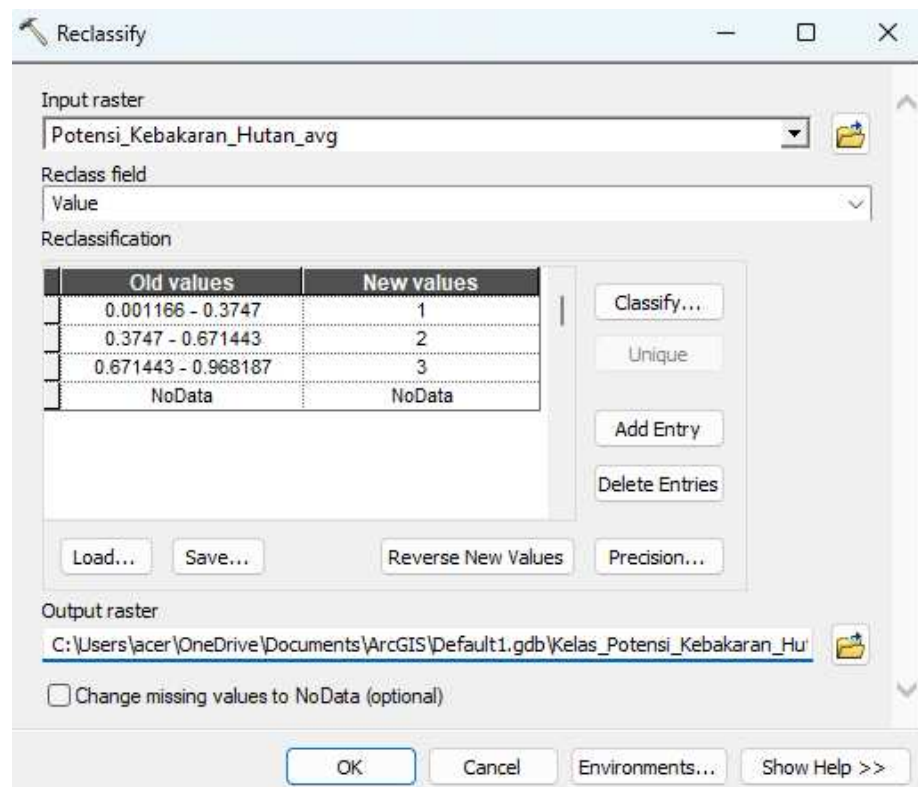
Output pertama dari pengolahan data menggunakan *MaxEnt* adalah visualisasi pemodelan distribusi potensi kebakaran hutan berbentuk data raster. Visualisasi pemodelan berbentuk raster kemudian dilakukan *reclassify* dengan bantuan *tools* pada *software* pengolah data spasial.



Gambar 14. Visualisasi Pemodelan Distribusi Potensi Kebakaran Hutan

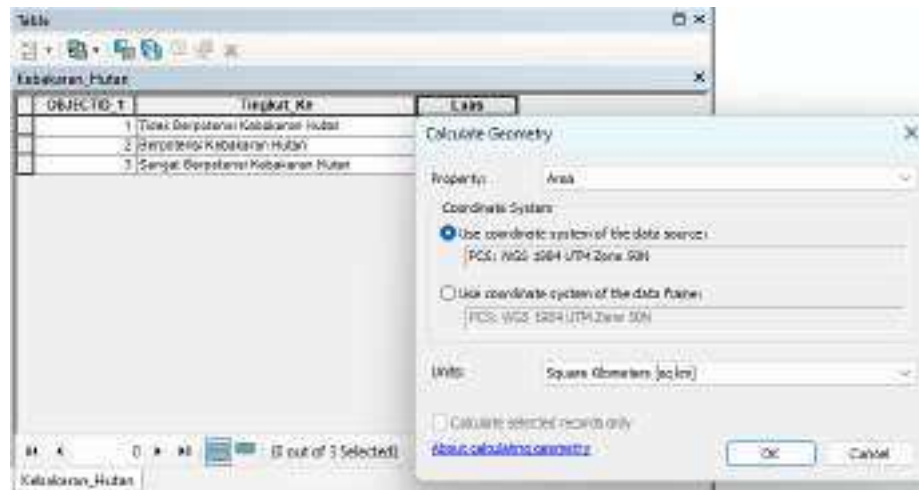
Pada tahapan ini hasil pemodelan distribusi potensi dibagi menjadi 3 kelas yakni wilayah tidak berpotensi kebakaran, berpotensi kebakaran dan sangat berpotensi kebakaran. Pembagian kelas distribusi potensi

kebakaran hutan ditentukan berdasarkan nilai ambang batas bawah yaitu *10 percentile training presence Cloglog threshold* yakni 0,3747 yang wilayah tersebut dianggap merupakan wilayah tidak berpotensi kebakaran, sedangkan kelas berpotensi kebakaran dan sangat berpotensi kebakaran dibagi dengan *equal interval*. Klasifikasi kelas distribusi potensi kebakaran hutan dilakukan dengan bantuan *tools reclassify* di *software* pengolah data spasial.



Gambar 15. *Reclassify* Potensi Kebakaran Hutan

Konversi data *raster* ke *vektor* perlu dilakukan agar peneliti mendapatkan informasi tambahan berupa luas wilayah tiap kelas potensi kebakaran hutan. Tahapan ini dapat dilakukan di *software* pengolah data spasial dengan *tool Raster to Vector* pada menu *toolboxes*. Untuk mengetahui luas wilayah pada tiap kelas potensi kebakaran hutan (Km²) dapat menggunakan bantuan *Calculate Geometry* pada atribut tabel data *vektor*.



Gambar 16. Menghitung Luas Area (Km²)

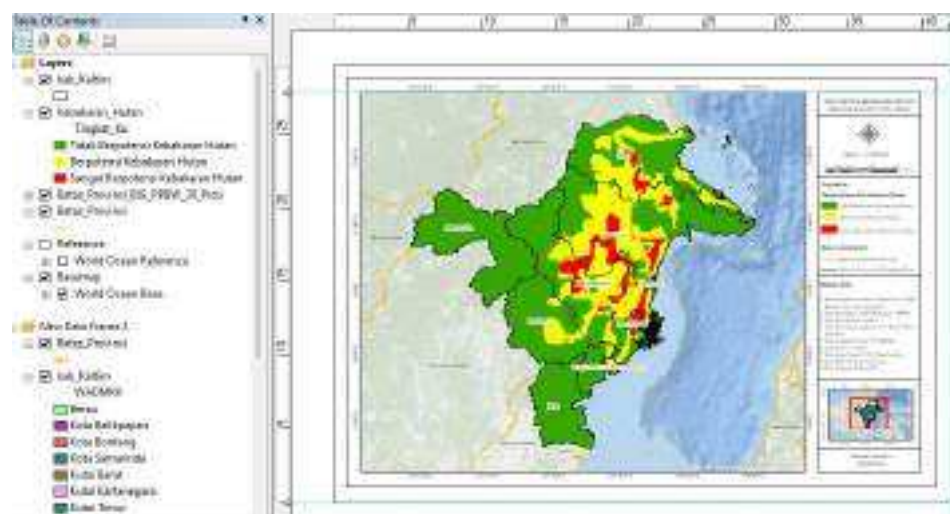
3.6.5.2. Data Statistik

Output kedua dari pemodelan potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* adalah *ROC-AUC Curve* yang jika nilainya berada di atas 0,75, maka pemodelan dapat dianggap cukup akurat, dengan nilai mendekati 1 berarti menunjukkan kinerja pemodelan yang sangat baik (Nugroho dkk., 2022). *MaxEnt* juga menampilkan *Jackknife* guna melihat seberapa penting variabel lingkungan berpengaruh terhadap proses membangun model. *Jackknife* terdiri dari 3 warna yang dimana warna biru tua menunjukkan dampak dari setiap variabel terhadap pemodelan, sementara warna biru muda menggambarkan nilai yang diperoleh tanpa mempertimbangkan variabel tersebut dan merah mewakili nilai total dari variabel lingkungan yang sedang dianalisis (Pratama dkk., 2023). *Percent Contribution* untuk mengetahui variabel yang memiliki pengaruh terbesar pada penelitian potensi kebakaran hutan dalam bentuk persentase. Program *MaxEnt* juga menghasilkan tabel analisis yang menunjukkan kontribusi variabel lingkungan berdasarkan persentase dan peringkat kontribusi terhadap potensi lokasi kebakaran.

3.6.5. *Layout*

Layout harus dibuat berdasarkan kaidah kartografi guna memudahkan pembaca untuk melihat informasi dalam suatu peta menggunakan *software* pengolah data spasial. Umumnya *layout* terdiri dari gambar peta dengan berbagai warna yang mewakili informasi yang ingin disampaikan, nama wilayah, judul peta, petunjuk arah mata angin, skala, legenda yang berisi informasi yang ingin disampaikan, sumber data, inset peta, dan nama pembuat peta atau instansi.

Pada penelitian ini informasi yang ingin disampaikan pada peta hasil penelitian berupa visualisasi pemodelan distribusi potensi kebakaran hutan dengan warna hijau untuk kelas tidak berpotensi kebakaran hutan, warna kuning untuk kelas berpotensi kebakaran hutan dan warna merah untuk kelas sangat berpotensi kebakaran hutan yang di-*overlay* dengan Batas Administrasi Kabupaten/Kota Kalimantan Timur untuk mengetahui juga menampilkan nama Kabupaten/Kota. Pada legenda peta, informasi berupa klasifikasi kelas potensi kebakaran hutan beserta warna yang mewakilinya yang terdiri dari kelas tidak berpotensi kebakaran hutan, berpotensi kebakaran hutan dan sangat berpotensi kebakaran hutan.



Gambar 17. *Layout* Peta

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Analisis potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* di Provinsi Kalimantan Timur terbagi menjadi 3 kelas yaitu kelas tidak berpotensi kebakaran hutan, berpotensi kebakaran hutan dan sangat berpotensi kebakaran hutan. Penelitian ini dilakukan dengan 10 *replicates* potensi kebakaran hutan yang dibangun dengan nilai AUC tertinggi mencapai 0,972 dengan standar deviasi sebesar 0,001, dimana potensi kebakaran hutan menggunakan *MaxEnt* dikategorikan sebagai akurasi yang sangat baik. Dari 10 *replicates* potensi kebakaran hutan yang dibangun, hasilnya memiliki nilai AUC rata-rata sebesar 0,873 dengan standar deviasi sebesar 0,074 dan dikategorikan sebagai akurasi yang baik.
2. Wilayah di Kalimantan Timur dengan kelas tidak berpotensi kebakaran hutan memiliki luas 86.639,71 km², wilayah dengan kelas berpotensi kebakaran hutan memiliki luas 33.164,98 km², dan luas wilayah yang sangat berpotensi kebakaran hutan hanya sebesar 7.542,23 km².
3. Variabel yang paling berpengaruh terhadap potensi kebakaran hutan menurut *percent contribution MaxEnt* adalah jenis tanah sebesar 46%, kelembaban sebesar 34,5%, curah hujan 9,4%, suhu sebesar 5%, jarak dari jalan sebesar 3,3%, NDVI sebesar 1,6%, tutupan lahan dan kecepatan angin sebesar 0,1%.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini masih memiliki kekurangan karena adanya keterbatasan data variabel pendukung lainnya seperti data kekeringan dan data lahan gambut. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya maka dapat ditambahkan data variabel pendukung tersebut agar dapat menghasilkan distribusi potensi kebakaran hutan yang lebih baik lagi.
2. Kalimantan Timur memiliki beberapa wilayah yang sangat mengkhawatirkan karena hampir seluruhnya berpotensi kebakaran hutan yakni Kota Bontang, Kota Samarinda dan Kota Balikpapan. Oleh karena itu, Pemerintah sebaiknya segera melakukan tindakan mitigasi yang dapat meminimalisir dampak dari adanya kebakaran hutan bahkan mencegah kebakaran hutan salah satunya dengan seperti pengadaan sensor peringatan dini potensi kebakaran hutan, informasi mengenai potensi kebakaran hutan yang dapat disebarluaskan secara berkala, bersamaan dengan pemasangan papan penunjuk di wilayah-wilayah rawan kebakaran, meminimalisir faktor-faktor yang dapat meningkatkan pemanasan global atau membuat serta mempertegas aturan pembebasan lahan melalui kegiatan pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S., Makanda, T. A., Umair, M., and Ni, J. 2023. Maxent Model Strategies To Studying Current And Future Potential Land Suitability Dynamics Of Wheat, Soybean And Rice Cultivation Under Climatic Change Scenarios In East Asia. *PLOS ONE*, 18(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296182>
- ArcGIS Living Atlas of the World. 2023. *Sentinel-2 Land Cover Explorer*. Esri and Impact Observatory.
- Arizky, I., Rusdi, M., dan Sugianto, S. 2022. Identifikasi Kebakaran Hutan dengan menggunakan Citra Sentinel-2 pada Kawasan Hutan Seulawah Agam, Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(3), 525–530. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i3.20977>
- Aryanti, N. A., Susilo, T. S. S. D., Ningtyas, A. N., dan Rahmadana, M. 2021. Pemodelan Spasial Kesesuaian Habitat Elang Jawa (*Nisaetus bartelsi*) di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (Spatial Modeling of Javan Hawk-Eagle (*Nisaetus bartelsi*) Habitat Suitability in Bromo Tengger Semeru National Park). *Jurnal Sylva Lestari*, 9(1), 179.
- Ayuba, R., Risdiyanto, I., dan Hidayat, R. 2021. *Pemodelan Distribusi Wilayah Rawan Kebakaran Menggunakan Model Maximum Entropy (Studi Kasus PT Jambi Batanghari Plantation)* [Institut Pertanian Bogor].
- Baldwin, R. A. 2009. Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research. *Entropy*, 11(4), 854–866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Banta, J. 2021. *How To Decide Which Settings To Use When Running Maxent, As Well As How To Make A Bias File*. <https://www.patreon.com/posts/how-decide-which-107291656>
- BMKG. 2017. *Normal Hujan Bulanan*. Stasiun Klimatologi Deli Serdang. <https://bmksampali.net/normal-hujan-bulanan/>
- Chandra, H., dan Suprpto, H. 2016. Sistem Informasi Intensitas Curah Hujan di Daerah Ciliwung Hulu. *Jurnal Informatika dan Komputer*, 21(3). <https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/infokom/article/view/1526/1285>
- Dudik, M., Phillips, S. J., and Schapire, R. E. 2004. Performance Guarantees for Regularized Maximum Entropy Density Estimation. *Annual Conference on Computational Learning Theory*.
- Ellen, A., Nasihin, I., dan Supartono, T. 2020. Pemetaan Kesesuaian Habitat *Rafflesia* (*Rafflesia Arnoldii* R. Br) di Taman Nasional Bukit Barisan

Selatan. *Prosiding Fahutan*, 1(1).

FAO. 1974. *Key to the FAO Soil Units*. FAO Soils Portal.

Fick, S. E., and Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Fitria, P., Jauhari, A., dan Rianawati, F. 2021. Analisis Tingkat Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan Berbasis Penginderaan Jauh di Kecamatan Karang Intan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(6), 1120.

Fitriani, R. N., Priatmadi, B. J., Saigy, A. R., dan Syahdan, M. 2023. Penentuan Tingkat Resiko Kebakaran Hutan Dan Lahan Menggunakan Metode Indeks Cuaca Kebakaran. *EnviroScientiae*, 19(2).

Goma, E. I., Lampang, D., Purwadi, F., Inayah, Sagala, L., Devian, dan Riska. 2021. Analisis Kebakaran Hutan Dan Lahan di Samari. *Jurnal Sains Informasi Geografi*, 4(2), 99–104.

Goss-Sampson, M. A. 2020. *Statistical Analysis in JASP* (2).

Hijmans, R. J., Etten, J. van, Sumner, M., Cheng, J., Baston, D., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Fasoli, B., Forrest, D., Ghosh, A., Golicher, D., Gray, J., Greenberg, J. A., Hiemstra, P., Hingee, K., Ilich, A., Geosciences, I. for M. A., and Wueest, R. 2023. *Package "Raster."* <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/raster.pdf>

Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., and Elith, J. 2023. *Package 'Dismo.'* <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>

Humam, A., Hidayat, M., Nurrochman, A., Anestatia, A. I., Yuliantina, A., dan Aji, S. P. 2020. Identifikasi Daerah Kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh di Kawasan Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 1(1), 32–42. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i1.14>

Impact Observatory. 2022. *Methodology and Accuracy Summary: 10m Global Land Use Land Cover Maps*. <https://www.impactobservatory.com/legal/lulc-methodology-accuracy.pdf>

Jarnevich, C. S., and Young, N. 2015. Using the MAXENT program for species distribution modelling to assess invasion risk. In *Pest risk modelling and mapping for invasive alien species* (hal. 65–81). CABI.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2023. *Buku Kondisi Jalan Nasional 2023 Semester II* (2 ed.). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. https://data.pu.go.id/sites/default/files/BUKU_KONDISI_JALAN_NASIONAL_2023_S_II_Update.pdf

Kim, S. J., Lim, C.-H., Kim, G. S., Lee, J., Geiger, T., Rahmati, O., Son, Y., and Lee, W.-K. 2019. Multi-Temporal Analysis of Forest Fire Probability Using Socio-Economic and Environmental Variables. *Remote Sensing*, 11(1), 86. <https://doi.org/10.3390/rs11010086>

- KLHK. 2022. *Rencana Operasional Indonesia FOLU Net Sink 2023*. http://pustandpi.or.id/wp-content/uploads/2022/09/PAPARAN-4N_4.-Sesdit-PKTL.pdf
- Kurniawati, U. F., Handayani, K. D. M. E., Nurlaela, S., Idajati, H., dan Fendy. 2020. Pengolahan Data Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Untuk Kebutuhan Penyusunan Profil di Kecamatan Sukolilo. *SEWAGATI, Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat – DRPM ITS*, 4(3).
- Latue, P. C., dan Rakuasa, H. 2023. Analisis Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah Menggunakan Google Earth Engine Berbasis Cloud Computing. *E- JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)*, 04(1).
- Lusiani, dan Wardoyo, T. 2017. Klasifikasi Angin Berdasarkan Kecepatan Angin Dengan Skala Beafort Pada Perairan Cilacap. *Saintara: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Maritim*, 2(1).
- Merow, C., Smith, M. J., and 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.
- Mishra, B., Panthi, S., Poudel, S., and Ghimire, B. R. 2023. Forest Fire Pattern and Vulnerability Mapping Using Deep Learning in Nepal. *Fire Ecology*, 19(3). <https://fireecology.springeropen.com/articles/10.1186/s42408-022-00162-3>
- Muhammad, D. A., dan Nurtyawan, R. 2023. Peta Analisis Kelembaban Tanah Menggunakan Metode Soil Moisture Index (SMI) Berdasarkan Citra Landsat 9 (Studi Kasus: Kota Bandung, Jawa Barat). *Seminar Nasional dan Desiminasi Tugas Akhir*.
- Muharrami, N. 2022. Folu Net Sink 2030: Langkah Strategis Menekan Emisi. *Diskominfo Prov Kalbar*. <https://kalbarprov.go.id/berita/folu-net-sink-2030-langkah-strategis-menekan-emisi.html>
- Murtinah, V., Edwin, M., dan Bane, O. 2017. Dampak Kebakaran Hutan Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Tanah di Taman Nasional Kutai, Kalimantan Timur. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 5(2).
- Muttaqin, L. A., Murti, S. H., and Susilo, B. 2019. Maxent (Maximum Entropy) Model For Predicting Prehistoric Cave Sites In Karst Area Of Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta. *Sixth Geoinformation Science Symposium*. https://www.researchgate.net/publication/337432938_MaxEnt_Maximum_Entropy_model_for_predicting_prehistoric_cave_sites_in_Karst_area_of_Gunung_Sewu_Gunung_Kidul_Yogyakarta/link/5def184392851c8364706477/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY
- Novita, S. E., dan Vonnisa, M. 2021. Pemodelan Spasial Kerentanan Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Timur. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 232–238. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.232-238.2021>

- Nugroho, A., Danoedoro, P., dan Susilo, B. 2022. Pemodelan Spasial Untuk Tingkat Kesesuaian Habitat Surili Jawa (*Presbytis Comate Fredericae* Sody, 1930) di Taman Nasional Gunung Merbabu (TNGMb). *Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 20(2).
- Nurmita, H. 2024. *Pemodelan Spasial Distribusi Potensi Kebakaran Hutan Menggunakan MaxEnt di Provinsi Kalimantan Timur Untuk Mendukung Program Folu Net Sink 2030*.
- Pamungkas, A. I. P., Santoso, F. A., Pratama, D. A., Dharmaputra, M. A., Kusrin, J. P. S., dan Surbakti, R. P. 2024. Efek Kebakaran Hutan Kalimantan Pada Hukum Internasional. *Jurnal Hukum, Politik dan Ilmu Sosial (Jhpis)*, 3(2). <https://ejurnal.politeknikpratama.ac.id/index.php/jhpis/article/download/3741/3482/11467>
- Pandapotan, I. B., Suarbawa, K. N., dan Widagda, I. G. A. 2022. Analisis Pola Sebaran Asap Terhadap Kondisi Meteorologi di Pulau Kalimantan Terkait Kebakaran Hutan dan Lahan: Studi Kasus Kebakaran Hutan pada Bulan September 2019. *Buletin Fisika*, 23(1), 19–25.
- Peraturan Menteri Kehutanan tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.12/Menhut-II/2012 Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTk RHL-DAS). Nomor: P12 Tahun 2010. (2012).
- Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, Pub. L. No. 98 (2021).
- Phillips, S. J. 2017. *A Brief Tutorial on Maxent*.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. 2006. Maximum Entropy Modeling Of Species Geographic Distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., and Dudik, M. 2008. Modeling of Species Distributions With Maxent: New Extensions and A Comprehensive Evaluation. *Ecography*, 1(1). <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Pratama, G. B., Nurani, T. W., Mustaruddin, M., dan Herdiyeni, Y. 2023. Pemodelan Kesesuaian Habitat Ikan Pelagis Berbasis Kondisi Oseanografi di Perairan Palabuhanratu. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 14(3), 161. <https://doi.org/10.15578/bawal.14.3.2022.161-171>
- Putra, A., Ningsih, A. T. R., dan Ikhwan, M. 2018. Pemetaan Daerah Rawan Kebakaran Hutan dan Lahan Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis). *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, 9(2). <https://ijae.ejournal.unri.ac.id/index.php/IJAE/article/viewFile/7732/6721>

- Radliya, N. R., Fauzan, R., dan Irmayanti, H. 2018. *Pengembangan Sistem Informasi Geografis Menggunakan Konsep Participatory GIS Dalam Manajemen Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bandung*.
- Ramadhani, D., Simatupang, N. B., Rahmah, S., dan Natawijaya, A. 2023. Identifikasi Kerawanan Kebakaran Hutan di Provinsi Riau. *Jurnal Sains Geografi*, 1(1).
- Sampurno, R. M., dan Thoriq, A. 2016. Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, 10(2).
- Saputra, R. 2017. *Pengenalan Aplikasi Maximum Entropy (MaxEnt) untuk Pemodelan Distribusi Spesies*. Balai Besar KSDA Papua Barat. <https://bbksda-papuarat.com/pengenalan-aplikasi-maximum-entropy-maxent-untuk-pemodelan-distribusi-spesies/>
- Schober, P., Boer, C., and Schwarte, L. A. 2018. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Sistem Pemantauan Karhutla. 2024. *Indikasi Luas Kebakaran*. Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. <https://sipongi.menlhk.go.id/indikasi-luas-kebakaran>
- Sivrikaya, F., Günlü, A., Küçük, Ö., and Ürker, O. 2024. Forest Fire Risk Mapping With Landsat 8 OLI Images: Evaluation of The Potential Use of Vegetation Indices. *Ecological Informatics*, 79, 102461.
- SNI 03 – 6967 – 2003 Persyaratan Umum Sistem Jaringan dan Geometrik Jalan Perumahan (2001).
- Solihin, M., Putri, A. N., Setiawan, A., Siliwangi, D., dan Arifin, M. 2020. Karakteristik Indeks Vegetasi pada Berbagai Penggunaan Lahan di Hulu Sub DAS Cikapundung Melalui Interpretasi Citra Satelit Landsat 8. *Jurnal Kultivasi*, 19(3).
- Susilawati, dan Syam'ani. 2021. Korelasi Spasial Frekuensi Kebakaran Hutan Dan Lahan Dengan Aktivitas Manusia: Studi Kasus Di Sub Sub Das Riam Kanan Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis Volume*, 9(1). <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/jht/article/download/10487/6980>
- Suwarti, Mulyono, Prasetyo, B., Rifa'i, A., Diastiara, I. R., Indriyani, L., dan Putro, W. P. 2017. Pembuatan Monitoring Kecepatan Angin Dan Arah Angin Menggunakan Mikrokontroler Arduino. *Seminar Nasional Pendidikan, Sains dan Teknologi*.
- Syaufina, L., dan Puspitasari, N. 2015. Hubungan Faktor Iklim Dengan Kejadian Kebakaran Hutan Di Kph Bogor Perum Perhutani Unit III Jawa Barat Dan Banten. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 6(1).
- Usman, Harlina, S., dan Rizaldy, A. 2019. Rancangan Bangunan Sistem Pengendali Suhu Kelembaban Dan Cahaya Pada Rumah Walet Berbasis

- Microkontroler. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, 8(2).
<https://ejurnal.diponegara.ac.id/index.php/jusiti/article/view/614/541>
- Vembrianto, N., Yoza, D., dan Sribudiani, E. 2015. Karakteristik Ekologi Lokasi Kebakaran Hutan Dan Lahan di Desa Rantau Bais Kecamatan Tanah Putih Kabupaten Rokan Hili. *Jom Faperta*, 2(1).
- Vieri, C., Adamiri, S. A., dan Hirzi, T. Z. 2023. Analisis Peta Sebaran Spasial Pemasaran Kebakaran (DAMKAR) Kota Jakarta Pusat. *Jurnal Sains Geografi*, 1(1).
<https://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jsg/article/download/38146/15577/>
- Yudaputra, A., Astuti, I. P., and Cropper, W. P. 2019. Comparing six different species distribution models with several subsets of environmental variables: Predicting the potential current distribution of *Guettarda speciosa* in Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(8).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d200830>
- Zainal, I., Lestari, F., Gunawan, S., Adiwibowo, A., Kadir, A., and Ramadhan, N. A. 2022. Maximum Entropy Based Urban Fire Risk Distribution Modeling Under Climate Influences In North, West, And South Of Jakarta City. *PREPOTIF Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(2).
- Zhu, W., Zeng, N., and Wang, N. 2010. Sensitivity, Specificity, Accuracy, Associated Confidence Interval and ROC Analysis with Practical SAS Implementations. *Health Care and Life Sciences*. Sensitivity, Specificity, Accuracy, Associated Confidence Interval and ROC%0AAnalysis with Practical SAS® Implementations