

IDENTIFIKASI TUTUPAN LAHAN TERBUKA HIJAU DI KOTA MADYA BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN ALGORITMA MACHINE LEARNING MODEL GAUSSIAN MIXTURE MODEL (GMM)

*Identification of Green Open Land Cover in Bandar Lampung City Using
Gaussian Mixture Model (GMM) Machine Learning Algorithm*

Muhammad Rofi^{1*}, Trio Santoso², Rudi Hilamanto³, Gunardi Djoko Wanarno⁴

1) Mahasiswa Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian

2), 3), 4) Dosen Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian

*Alamat Korespondensi: Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Unila
Jl Sumantri Brojonegoro, Gedung Meneng, Bandar Lampung, 35145

ABSTRACT. *The rapid urban growth in Bandar Lampung City has driven the need for effective monitoring and management of green open space (GOS). GOS plays a vital role in maintaining ecosystem balance and urban environmental quality. This study aims to identify green open space cover using a machine learning approach with the Gaussian Mixture Model (GMM) algorithm. Medium-resolution satellite imagery data is used as the basis for spatial processing, which is then processed through pre-processing stages such as geometric correction and image enhancement. GMM is applied to perform unsupervised classification of land cover types based on the spectrum of pixel values. The analysis results show that the GMM algorithm is able to map GOS areas with fairly high accuracy and provides spatial information that supports sustainable urban planning. This study confirms the potential of using machine learning methods in efficient and adaptive land cover mapping in urban areas.*

Keywords: Land Cover; Green Open Land; Machine Learning; Gaussian Mixture Model

ABSTRAK. Pertumbuhan kota yang pesat di Kota Madya Bandar Lampung mendorong kebutuhan akan pemantauan dan pengelolaan lahan terbuka hijau (RTH) secara efektif. RTH memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan kualitas lingkungan perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tutupan lahan terbuka hijau menggunakan pendekatan machine learning dengan algoritma *Gaussian Mixture Model* (GMM). Data citra satelit resolusi menengah digunakan sebagai basis pengolahan spasial, yang kemudian diproses melalui tahapan pra-pemrosesan seperti koreksi geometrik dan peningkatan citra. GMM diterapkan untuk melakukan klasifikasi tak terawasi terhadap jenis tutupan lahan berdasarkan spektrum nilai piksel. Hasil analisis menunjukkan bahwa algoritma GMM mampu memetakan area RTH dengan akurasi yang cukup tinggi, dan memberikan informasi spasial yang mendukung perencanaan kota berkelanjutan. Studi ini menegaskan potensi penggunaan metode machine learning dalam pemetaan tutupan lahan secara efisien dan adaptif di wilayah urban.

Kata kunci: Tutupan Lahan; Lahan Terbuka Hijau; Machine Learning; Gaussian Mixture Model

Penulis untuk korespondensi: Email: muhammadrofi0103@gmail.com

PENDAHULUAN

Kota Madya Bandar Lampung merupakan pusat pemerintahan, sosial, politik, pendidikan, kebudayaan, serta perekonomian di Provinsi Lampung. Posisi strategis tersebut menjadikan kota ini sebagai magnet pertumbuhan penduduk yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2024), jumlah penduduk Bandar Lampung pada tahun 2021 tercatat sebanyak 1.176.000 jiwa dan mengalami penambahan sebesar 26.000 jiwa hingga tahun 2023. Pertumbuhan yang relatif pesat ini membawa konsekuensi pada dinamika pemanfaatan lahan, terutama semakin maraknya alih fungsi lahan di kawasan perkotaan. Salah satu dampak nyata yang muncul adalah berkurangnya Ruang Terbuka Hijau (RTH) secara signifikan, yang berimplikasi pada menurunnya daya dukung lingkungan serta meningkatnya potensi permasalahan ekologis seperti banjir, suhu perkotaan yang lebih tinggi, hingga berkurangnya kualitas udara (Sinatra *et al.*, 2022).

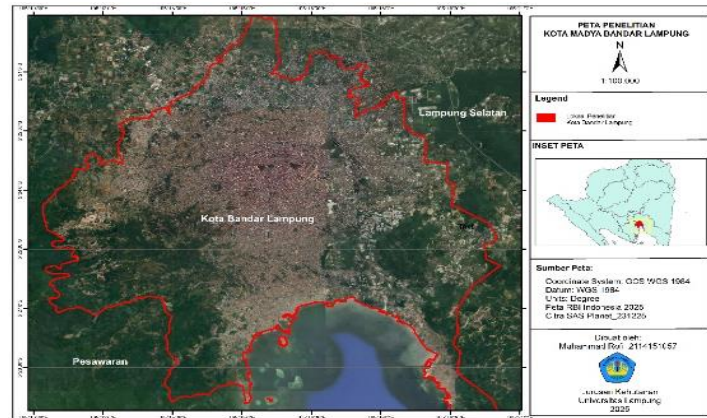
Dalam konteks perencanaan dan pengelolaan tata ruang, ketersediaan informasi terkini mengenai tutupan lahan, khususnya RTH, sangatlah penting. Teknologi penginderaan jauh (remote sensing) menawarkan solusi efisien untuk memantau perubahan penggunaan lahan di kawasan perkotaan secara periodik dan sistematis. Namun, interpretasi citra satelit secara manual masih rentan terhadap subjektivitas dan kesalahan manusia. Untuk mengurangi hal tersebut, pendekatan analisis digital dengan algoritma machine learning digunakan agar proses identifikasi menjadi lebih akurat dan objektif (Arif dan Wahyuni, 2016).

Salah satu metode klasifikasi non-parametrik yang potensial dalam mengidentifikasi tutupan lahan adalah *Gaussian Mixture Model* (GMM). Metode ini bekerja dengan memodelkan data sebagai campuran dari beberapa distribusi Gaussian, sehingga setiap piksel citra tidak hanya diklasifikasikan ke dalam satu kelas secara kaku, melainkan diberikan probabilitas keanggotaan pada beberapa kelas sekaligus. Karakteristik ini sangat relevan untuk kawasan perkotaan yang kompleks, di mana sering terjadi fenomena *mixed pixels* atau piksel campuran antara vegetasi, permukiman, dan infrastruktur. Kelebihan GMM antara lain fleksibilitas dalam memodelkan distribusi data yang multimodal dan kemampuannya menangani data multiband dari citra satelit. Namun demikian, GMM juga memiliki keterbatasan seperti kecenderungan overfitting jika jumlah komponen Gaussian terlalu banyak, serta sensitif terhadap inisialisasi parameter (Putra *et al.*, 2024).

Gaussian Mixture Model (GMM) digunakan untuk melakukan klasifikasi tak terawasi terhadap jenis tutupan lahan berdasarkan spektrum nilai piksel. Identifikasi tutupan lahan sangat penting karena dapat memberikan informasi yang akurat terkait kondisi ruang terbuka hijau yang berperan dalam menjaga keseimbangan lingkungan perkotaan (Pantoja *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengukur performa dari algoritma *Gaussian Mixture Model* (GMM) dalam identifikasi tutupan lahan terbuka hijau di Kota Madya Bandar Lampung.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan pada Bulan Mei - Juli 2025, di Laboratorium Fasilitas Tematik, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung dan Kota Madya Bandar Lampung.



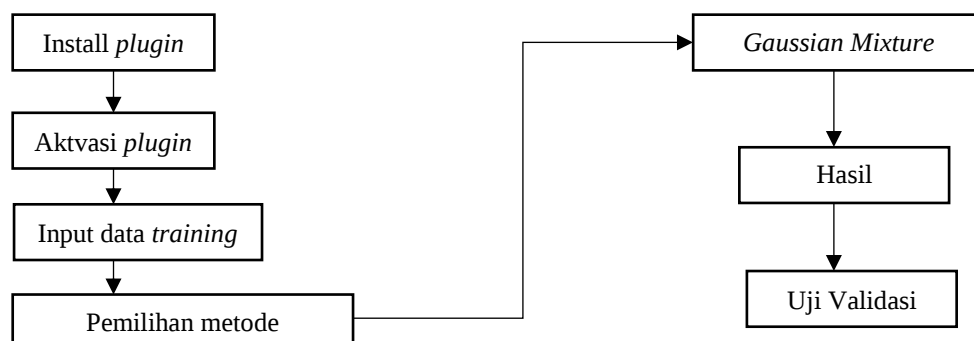
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Laptop* dengan spesifikasi *Intel® Core i5-10300H*; *RAM 16 gb*; *SSD 512*; *GPU Intel UHD Graphic & NVIDIA GeForce GTX 1650 TI*, *Smartphone*, *Global Positioning System (GPS)*, *tallysheet*, aplikasi *SNAP*, aplikasi *QGIS* dengan *plugin dzetsaka and Semi-Automatic Plugin (SCP)*, Aplikasi *Microsoft word 2010*, dan *Microsoft Excel 2010*. Obyek pada penelitian kali ini adalah *Citra Sentinel-2A* dan *SHP Peta Kota Bandar Lampung*.

Penelitian ini menggunakan teknik pengambilan sampel acak berstrata dengan metode jaring ikan. Ukuran sampel ditentukan berdasarkan prinsip penginderaan jauh, menggunakan titik-titik yang mewakili setiap piksel kelas tutupan lahan, berkisar antara 10N hingga 100N, dengan N menunjukkan jumlah kategori penggunaan lahan. (Dogru *et al.*, 2020 dalam Santoso *et al.*, 2024). Sehingga data latih yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 588 *Region of Interest (RoI)*, dimana masing-masing kelas mendapat 84 RoI. Sebelum menentukan sampel, dilakukan terlebih dahulu studi literatur terhadap penentuan kelas tutupan lahan pada penelitian ini.

Verifikasi lapangan sampel data pelatihan dilakukan untuk memastikan kesesuaiannya dengan kelas tutupan lahan aktual. Uji coba lapangan ini bertujuan untuk menilai akurasi hasil interpretasi dengan memvalidasi sampel terpilih dari setiap kategori tutupan lahan yang diinterpretasikan (Maulana dan Darmawan, 2014).

Data dianalisis dengan melakukan proses pra-pengolahan terlebih dahulu yaitu, Proses koreksi radiometrik dilakukan hingga level Puncak Atmosfer (TOA). Koreksi ini terdiri dari dua langkah utama: pertama, mengubah nilai DN (bilangan digital) menjadi radiansi spektral, dan kedua, mengubah radiansi spektral menjadi reflektansi spektral (Kalianda *et al.*, 2018). Selanjutnya dilakukan proses pemotongan citra dengan batas administrasi guna untuk memfokuskan data citra pada lokasi penelitian.



Gambar 2. Flowchart klasifikasi *supervised machine learning* menggunakan *plugin Dzetsaka*

Perhitungan akurasi dilakukan dengan membandingkan titik sampel hasil klasifikasi citra dengan kondisi nyata di lapangan menggunakan confusion matrix yang mencakup akurasi

pengguna (*User's Accuracy*), akurasi pembuat (*Producer's Accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*Overall Accuracy*). Akurasi pengguna menunjukkan ketepatan hasil klasifikasi untuk tiap kategori bagi pengguna, akurasi pembuat menggambarkan ketepatan representasi kelas penggunaan lahan, sedangkan akurasi keseluruhan menunjukkan proporsi klasifikasi yang benar terhadap total pengamatan dengan menghitung jumlah nilai diagonal pada confusion matrix dibagi jumlah keseluruhan sampel (Santoso *et al.*, 2024).

$$\begin{aligned} \text{User's Accuracy} &= \frac{x_{ii}}{x_{+i}} \times 100\% && \text{Berhane et al. (2018)} \\ \text{Producer's Accuracy} &= \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100\% && \text{Maxwell et al. (2021)} \\ \text{Overall Accuracy} &= \frac{\sum_i^r x_{ii}}{N} \times 100\% && \text{Mishra et al. (2021)} \end{aligned}$$

Keterangan :

- x_{ii} = Jumlah piksel yang diklasifikasikan dengan benar ke dalam kategori i (diagonal)
- x_{+i} = Jumlah piksel referensi dalam kategori i (total kolom).
- x_{i+} = Jumlah piksel diklasifikasikan ke dalam kategori i (total baris).
- $\sum_i^r x_{ii}$ = Total jumlah piksel yang diklasifikasikan benar (total diagonal).
- N = Total Jumlah piksel referensi.

Pengujian validasi untuk klasifikasi tutupan lahan terbuka hijau merupakan langkah penting untuk memastikan akurasi algoritma yang digunakan dalam identifikasi penggunaan lahan. Proses evaluasi dilakukan dengan menggunakan *error matrix* yang akan menghasilkan nilai akurasi keseluruhan serta *Kappa Coeficient* untuk setiap jenis penggunaan lahan yang tervalidasi. *Confusion matrix* memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat akurasi dari masing-masing klasifikasi objek serta interpretasi secara keseluruhan (Yuliana dan Rizqiana, 2024).

$$K = \frac{\sum_{i=1}^1 \pi_{ii} - \sum_{i=1}^1 \pi_i + \pi + i}{1 - \sum_{i=1}^1 \pi_i + \pi + i}$$

Keterangan :

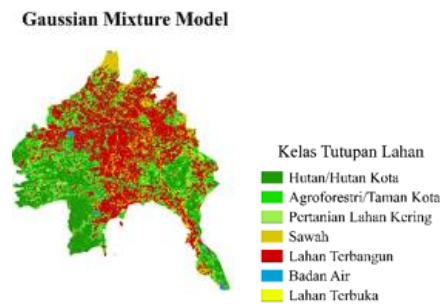
- K = Nilai *Kappa*
- $\sum_{i=1}^1 \pi_{ii}$ = Jumlah proporsi diagonal dari frekuensi observasi
- $\sum_{i=1}^1 \pi_i + \pi_i$ = Jumlah proporsi dari observasi frekuensi marjinal

Tabel 1. Kategori akurasi nilai kappa (Vierra dan Garret, 2005; dalam Santoso *et al.*, 2024)

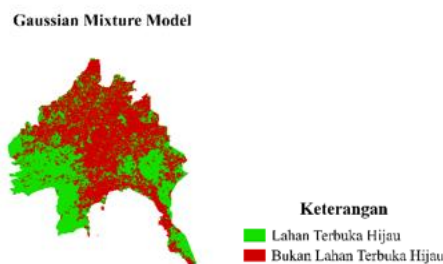
Nilai <i>Kappa</i>	Kategori
$K < 0$	Tidak ada kesepakatan
0.01 – 0.20	Kesepakatan sangat kecil
0.21 – 0.40	Kesepakatan cukup
0.41 – 0.60	Kesepakatan sedang
0.61 – 0.80	Kesepakatan substansial
0.81 – 0.99	Kesepakatan hampir sempurna

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Metode *Gaussian Mixture Model* (GMM) menghasilkan klasifikasi tutupan lahan dengan tingkat akurasi yang tinggi di Kota Madya Bandar Lampung. Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa Overall Accuracy (OA) mencapai 93,19% dengan Kappa Coefficient sebesar 92,06%, yang termasuk ke dalam kategori hampir sempurna (Vierra dan Garret, 2005; dalam Santoso *et al.*, 2024). Nilai ini menunjukkan bahwa GMM mampu merepresentasikan distribusi tutupan lahan dengan tingkat kesesuaian yang baik terhadap data referensi.



Gambar 2. Visualisasi Kelas Tutupan Lahan Model GMM



Gambar 3. Visualisasi jenis tutupan lahan model GMM

Pada parameter Producer's Accuracy (PA), metode ini memberikan nilai yang konsisten tinggi pada berbagai kelas. Untuk kelas Ruang Terbuka Hijau (RTH), nilai rata-rata PA tercatat sebesar 94,53%, dengan akurasi penuh pada kelas Hutan/Hutan Kota (100%), serta nilai tinggi pada kelas Agroforestri/Taman Kota (94,18%) dan Pertanian Lahan Kering (89,41%). Pada kategori non-RTH, nilai PA juga menunjukkan hasil yang baik, seperti pada kelas Badan Air (100%), Sawah (92,59%), dan Lahan Terbuka (89,88%). Nilai ini mengindikasikan bahwa GMM mampu mengenali variasi spektral pada berbagai kelas lahan dengan tingkat ketelitian yang memadai.

Tabel 2. Perbandingan luas tutupan lahan kota Madya Bandar Lampung

No	Kelas Tutupan Lahan	Luasan (Ha)
1	Hutan/Hutan Kota	3.410,90
2	Agroforestri/Taman Kota	3.243,64
3	Pertanian Lahan Kering	1.432,26
4	Sawah	772,82
5	Lahan Terbangun	7.053,58
6	Badan Air	272,98
7	Lahan Terbuka	2.216,94

Tabel 3. Perbandingan Jenis Tutupan Lahan Kota Madya Bandar Lampung

No	Jenis Tutupan Lahan	Luasan (Ha)
1	Lahan Terbuka Hijau	8.086,80
2	Bukan Lahan Terbuka Hijau	10.316,32

Kelas Tutupan Lahan	H/HK	Ag/TK	PLK	Sw	LTb	BA	LTk
H/HK	84	-	-	-	-	-	-
Ag/TK	-	81	-	2	1	-	-
PLK	-	2	76	2	2	-	2
Sw	-	2	3	75	2	-	2
LTb	-	-	1	1	79	-	3
BA	-	1	4	-	4	73	2
LTk	-	-	1	1	2	-	80
UA (%)	100	96,42	90,47	89,28	94,04	86,90	95,23
PA (%)	100	94,18	89,41	92,59	87,77	100	89,88
OA (%)	93,19						
KC (%)	92,06						

Gambar 4. *Matrix Confusion Model GMM*

Dari sisi efisiensi, proses klasifikasi menggunakan GMM memerlukan waktu 6,28 detik. Proses ini berjalan cepat karena mekanisme GMM memodelkan data citra sebagai campuran distribusi Gaussian dengan estimasi parameter yang dilakukan melalui algoritma *Expectation–Maximization* (EM). Mekanisme ini memungkinkan GMM bekerja secara efektif dalam mengidentifikasi pola spektral pada citra tanpa memerlukan perhitungan yang berulang dan kompleks.

Tabel 4. Perbandingan PA, OA, KC, dan waktu pemrosesan GMM

Model	<i>Producer's Accuracy</i> RTH (%)	<i>Overall Accuracy</i> (%)	<i>Kappa Coefficient</i> (%)	Waktu Pemrosesan
<i>Gaussian Mixture Model</i>	94,53	93,19	92,06	6.28

Secara keseluruhan, penerapan Gaussian Mixture Model menghasilkan klasifikasi tutupan lahan dengan akurasi tinggi, distribusi kelas yang sesuai dengan kondisi lapangan, serta efisiensi waktu pemrosesan. Model ini dapat digunakan sebagai dasar yang kuat dalam mendukung kebutuhan pemetaan spasial, penataan ruang, serta pengelolaan sumber daya lahan di wilayah perkotaan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan menggunakan *Gaussian Mixture Model* (GMM) di Kota Madya Bandar Lampung, diperoleh Overall Accuracy sebesar 93,19% dan Kappa Coefficient sebesar 92,06%, yang menunjukkan tingkat kesesuaian interpretasi citra dengan data lapangan berada pada kategori hampir sempurna. Nilai Producer's Accuracy (PA) pada kelas Ruang Terbuka Hijau (RTH) mencapai rata-rata 94,53%, dengan akurasi penuh pada kelas Hutan/Hutan Kota, serta nilai tinggi pada kelas Agroforestri/Taman Kota dan Pertanian Lahan Kering. Pada kelas non-RTH, GMM juga mampu memberikan nilai PA tinggi, seperti pada kelas Badan Air yang mencapai 100%. Selain menghasilkan akurasi tinggi, metode ini memiliki keunggulan dalam hal efisiensi waktu pemrosesan, yaitu hanya membutuhkan 6,28 detik. Secara keseluruhan, GMM mampu menghasilkan distribusi spasial tutupan lahan yang akurat, efisien, dan dapat dijadikan dasar dalam mendukung kebijakan penataan ruang, perencanaan kota, serta pengelolaan ruang terbuka hijau di wilayah perkotaan.

Saran

Disarankan agar hasil klasifikasi yang diperoleh melalui algoritma *Gaussian Mixture Model* (GMM) tidak hanya dimanfaatkan sebagai informasi spasial semata, tetapi juga dijadikan acuan strategis dalam perencanaan tata ruang kota. Hasil pemetaan tersebut dapat membantu pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam mengidentifikasi distribusi serta luasan ruang terbuka hijau secara lebih akurat, sehingga kebijakan pengelolaan lingkungan perkotaan dapat disusun secara tepat sasaran. Pemanfaatan data ini juga berpotensi mendukung

pengambilan keputusan dalam menjaga keseimbangan ekosistem, meningkatkan kualitas lingkungan hidup, serta memastikan ketersediaan ruang hijau yang memadai untuk memenuhi kebutuhan masyarakat perkotaan baik dari aspek ekologis, sosial, maupun estetika.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak penyedia data sekunder yang telah menjadi sumber utama dalam penelitian ini, baik berupa citra satelit, peta tematik, maupun data atribut terkait tutupan lahan dan penggunaan ruang. Ketersediaan data tersebut memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis secara menyeluruh dan sistematis, khususnya dalam penerapan algoritma *Gaussian Mixture Model* (GMM) untuk identifikasi tutupan lahan terbuka hijau di Kota Madya Bandar Lampung. Dukungan data yang lengkap dan terpercaya ini sangat berperan penting dalam memastikan keakuratan hasil klasifikasi, validitas analisis, serta kelancaran proses penelitian secara keseluruhan. Dengan adanya kontribusi data sekunder yang memadai, penelitian ini dapat memberikan informasi yang berguna untuk perencanaan tata ruang, pengelolaan ruang terbuka hijau, dan pengambilan keputusan terkait keberlanjutan lingkungan perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, N., Wahyuni, F.S. 2016. Prnggunaan Metode Machine Learning Untuk Pengenalan Pola Tutupan Lahan Pada Citra Satelit. *Semnasteknomedia Online*. 4(1):1-2.
- Berhane, T. M., Amiri, B. J., Gholizadeh, M. 2018. Decision-Tree, Rule-Based, and Random Forest Classifiers for Land Cover Classification Using Landsat 8 OLI and Sentinel-2A Imagery. *Remote Sensing*. 10(11): 1809.
- Darmawan, A., Santoso, T. 2024. Mapping Urban Transformation: The Random Forest Algorithm to Monitor Land Use and Land Cover Change in Bandar Lampung City. *Jurnal Sylva Lestari*. 12(3): 980–997.
- Kalinda, I. O. P., Sasmito, B., Sukmono, A. 2018. Analisis pengaruh koreksi atmosfer terhadap deteksi land surface temperature menggunakan citra landsat 8 di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*. 7(3): 66-76.
- Maullana, D. A., Darmawan, A. 2014. Perubahan penutupan lahan di taman nasional way kambas. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(1): 87-94.
- Maxwell, A. E., Zhuang, Y. 2021. Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies—Part 1: Literature Review. *Remote Sensing*. 13(13): 2450.
- Mishra, V. N., Sharma, S. 2021. Geographically Weighted Method Integrated with Logistic Regression for Spatially Distributed Accuracy Assessment of Remote Sensing Classification. *Geocarto International*. 36(5): 532–550.
- Pantoja, D. A., Spenassato, D., Emmendorfer, L. R. 2023. Comparison Between Classification Algorithms: Gaussian Mixture Model-GMM and Random Forest-RF, for Landsat 8 Images. *Revista de Gestão Social e Ambiental*. 16(3): 03234.
- Putra, R.F., Mukhlis, I.R., Datya, A.I., 2024. ALGORITMA PEMBELAJARAN MESIN (online)
- Santoso, T., Darmawan, A., Hilmanto, R. 2024. Agroforestry land use land cover area classification using decision tree algorithm. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 30(3): 399-399.
- Sinatra, F., Azhari, D., Asbi, A. M., Affandi, M. I. 2022. Prinsip pengembangan ruang terbuka hijau kota sebagai infrastruktur hijau di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Planologi*. 19(1): 19-36.
- Yuliana, H., Rizqiana, Z.C.H., 2024. Analisis Metode Klasifikasi Pemetaan Tutupan Lahan (Land Cover) di Area Kota Bandung Menggunakan Algoritma Random Forest Pada Google Earth

Engine. *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology*. 22(2): 97-106.