



Prediksi Perubahan Area Pertambangan Batubara Di Kabupaten Muara Enim dan Sekitarnya Menggunakan Cellular Automata

(Prediction of Changes in Coal Mining Areas in Muara Enim Regency and Surrounding Areas Using Cellular Automata)

Putra¹

¹ Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Indonesia

¹putra@akipba.ac.id

Penulis Korespondensi: Putra | **Email:** putra@akipba.ac.id

Diterima (*Received*): 09/12/2024 Direvisi (*Revised*): 11/12/2024 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 12/12/2024

ABSTRAK

Kabupaten Muara Enim merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi besar dalam sektor pertambangan batubara. Aktivitas pertambangan yang intensif dapat menyebabkan perubahan luas area tambang dari waktu ke waktu, yang berpotensi memengaruhi kondisi lingkungan dan tata ruang wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan area pertambangan batubara di Kabupaten Muara Enim dan sekitarnya dengan menggunakan metode Cellular Automata (CA). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam memodelkan pola spasial dan dinamika perubahan lahan secara efektif. Data spasial dan peta penggunaan lahan historis digunakan sebagai input utama untuk memprediksi ekspansi area tambang di masa mendatang. Hasil prediksi menunjukkan bahwa metode Cellular Automata mampu menggambarkan pola perubahan lahan pertambangan dengan tingkat akurasi yang baik. Hasil prediksi dari pemodelan menggunakan Cellular Automata ini adalah area pertambangan di Kabupaten Muara Enim mengalami perubahan luasan, tetapi prediksi perubahan luasan tersebut tidak mungkin tepat 100%, karena masih perlu dilakukan kajian secara ilmiah yang didasarkan pada data lapangan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengelolaan tata ruang wilayah serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan dan kebijakan pertambangan yang berkelanjutan di Kabupaten Muara Enim.

Kata Kunci: area pertambangan batubara, pemodelan, cellular automata

ABSTRACT

Muara Enim Regency is one of the regions in Indonesia with significant potential in the coal mining sector. Intensive mining activities can cause changes in the size of mining areas over time, potentially impacting environmental conditions and regional spatial planning. This study aims to predict changes in coal mining areas in Muara Enim Regency and its surroundings using the Cellular Automata (CA) method. This method was chosen due to its ability to effectively model spatial patterns and land-use change dynamics. Spatial data and historical land-use maps were used as primary inputs to predict the future expansion of mining areas. The prediction results indicate that the Cellular Automata method can accurately depict the pattern of changes in mining land. The prediction from the Cellular Automata modeling shows that mining areas in Muara Enim Regency are experiencing changes in size. However, it is important to note that the predicted changes may not be 100% accurate, as further scientific studies based on field data are required. These findings are expected to serve as a reference for spatial planning management and support decision-making in sustainable environmental management and mining policy in Muara Enim Regency.

Keywords: coal mining area, medeling, cellular automata

© Author(s) 2024. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Penggunaan lahan merujuk pada segala bentuk intervensi manusia, baik yang bersifat tetap maupun berpindah-pindah, terhadap kumpulan sumber daya alam

dan buatan yang disebut lahan. Tujuan dari intervensi ini adalah untuk memenuhi kebutuhan manusia, baik yang bersifat material, spiritual, maupun keduanya sekaligus (Silahooy et al., 2024). Penggunaan lahan memiliki

keterkaitan erat dengan aktivitas manusia yang berlangsung di atasnya. Meskipun lahan bersifat permanen, aktivitas manusia bersifat dinamis dan terus berubah seiring perkembangan kebutuhan dan kegiatan manusia (Rahmatiyah et al., 2024).

Penggunaan lahan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu lahan pertanian dan lahan non-pertanian. Penggunaan lahan non-pertanian dapat berupa permukiman, industri, rekreasi, pertambangan dan lain-lain (Firdaus & Bashit, 2023). Pesatnya perkembangan ekonomi dapat mendorong pertumbuhan wilayah secara signifikan, namun juga berpotensi menimbulkan dampak negatif, salah satunya adalah meningkatnya permintaan lahan untuk mendukung aktivitas ekonomi. Mengingat lahan merupakan sumber daya yang terbatas, tingginya permintaan tersebut dapat memicu terjadinya perubahan fungsi lahan, terutama dari lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian. Selain faktor perkembangan ekonomi dan pertumbuhan penduduk, nilai lahan yang terus meningkat juga turut mendorong terjadinya alih fungsi lahan pertanian.

Kabupaten Muara Enim adalah salah satu kabupaten di Provinsi Sumatera Selatan, Indonesia, dengan ibu kota yang terletak di Kecamatan Muara Enim. Kabupaten ini memiliki luas wilayah sekitar 7.300,50 km² dan dihuni oleh lebih dari 550.000 jiwa. Secara geografis, Kabupaten Muara Enim berada di antara 4° hingga 6° Lintang Selatan dan 104° hingga 106° Bujur Timur. Sebagai daerah agraris, wilayah ini memiliki potensi besar dalam sektor pertanian dan pemanfaatan lahan lainnya.

Secara umum, potensi unggulan Kabupaten Muara Enim didominasi oleh sektor primer, yang meliputi pertanian (perkebunan, tanaman pangan, hortikultura, peternakan, dan perikanan), kehutanan, serta sektor pertambangan dan energi (Putra & Fadhilah, 2023). Potensi ini memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian daerah dan mendukung pengembangan wilayah secara berkelanjutan. Kabupaten Muara Enim memiliki beragam potensi endapan bahan galian, meliputi bahan galian energi seperti batubara dan minyak bumi, serta bahan galian industri seperti bentonit, sirtu, andesit, dan lempung. Potensi di sektor pertambangan, terutama bahan galian energi, memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi riil serta meningkatkan pendapatan per kapita daerah.

Dinamika perubahan lahan dapat dianalisis secara kuantitatif dan spasial dengan memanfaatkan data penginderaan jauh. Metode ini memungkinkan pemantauan perubahan penggunaan lahan secara akurat dan efisien dalam skala luas (Aos & Putri, 2023). Perubahan lahan pertambangan yang dianalisis berdasarkan penggunaan lahannya melalui data penginderaan jauh merupakan bentuk analisis kuantitatif spasial. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan dan pengukuran perubahan lahan secara akurat dalam ruang dan waktu (Wijaya et al.,

2023). Analisis kuantitatif spasial menggunakan data penginderaan jauh perlu dilakukan karena hasilnya dapat menjadi dasar untuk analisis lanjutan, seperti prediksi perubahan lahan secara spasial. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola dan tren perubahan lahan secara akurat, yang dapat mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan dan perencanaan wilayah (Meilya et al., 2024).

Perubahan area pertambangan di Kabupaten Muara Enim dan sekitarnya dapat dimodelkan menggunakan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG). Salah satu model yang efektif untuk memprediksi perubahan dan perkembangan lahan adalah model *Cellular Automata* (CA). Model ini mampu memetakan pola spasial dan dinamika perubahan lahan secara akurat, sehingga dapat mendukung pengelolaan tata ruang wilayah secara berkelanjutan (Darmawan et al., 2022). Perubahan penggunaan lahan dalam jangka waktu tertentu tidak dapat sepenuhnya dijadikan acuan untuk memprediksi perubahan di masa mendatang. Hal ini disebabkan oleh adanya berbagai faktor yang memengaruhi dinamika perubahan lahan di suatu wilayah. Faktor-faktor tersebut dapat digunakan sebagai aturan (*rule*) dalam analisis prediksi perubahan lahan, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan realistis (Saputra et al., 2022). Faktor-faktor tersebut dapat berupa data hasil analisis spasial.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pemetaan dan menganalisis perubahan area pertambangan batubara Kabupaten Muara Enim dan sekitarnya tahun 2018 – 2024 berdasarkan interpretasi citra Landsat. Serta menganalisis pengaruh penggunaan data spasial lain (aksesibilitas, pusat kegiatan, dan lahan terbangun) terhadap akurasi model *Cellular Automata* area pertambangan batubara Kabupaten Muara Enim dan sekitarnya tahun 2025.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Peralatan

Data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

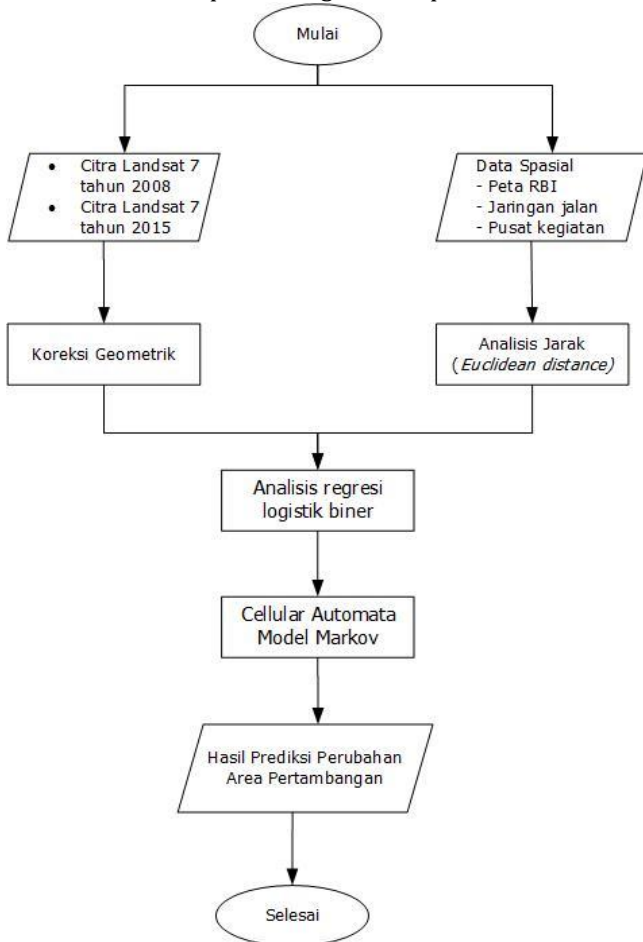
- Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2018
- Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2024
- Citra Google Earth tahun 2024
- Peta Rupa Bumi (RBI) Kabupaten Muara Enim dan sekitarnya skala 1:25.000

Adapun peralatan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian ini, adalah:

- Komputer / Laptop
- Global Position System* (GPS)
- Perangkat Lunak Envi 5.1
- Perangkat Lunak ArcGIS 10.4.1
- Perangkat Lunak Idrisi Selva
- Microsoft Office
- Kamera Digital

2.2. Metodologi

Berikut ini merupakan diagram alir penelitian ini.

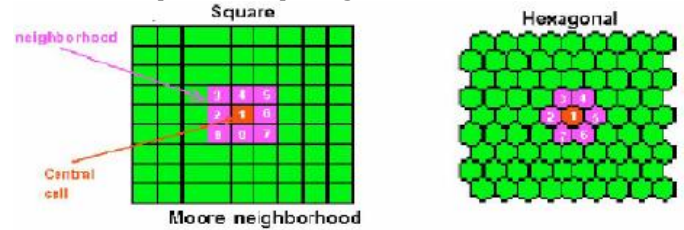


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Cellular Automata (CA) pertama kali diperkenalkan oleh von Neumann dan Ulam pada tahun 1948 sebagai model sederhana untuk mengeksplorasi perilaku sistem kompleks dan mempelajari proses biologis, seperti replikasi diri (Sulfiani, 2023). Model CA adalah sebuah metode komputasi yang digunakan untuk memprediksi perubahan dalam sistem dinamis, yang bergantung pada aturan sederhana dan berkembang hanya berdasarkan aturan tersebut seiring waktu. CA telah banyak diterapkan di berbagai bidang ilmu, baik dalam ilmu sosial maupun ilmu eksakta. Model CA juga berfungsi sebagai representasi sederhana dari proses terdistribusi spasial (*spatial distributed process*) dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Data dalam model CA terdiri dari susunan sel-sel (*grid*), yang masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya dapat berada dalam salah satu dari beberapa keadaan yang telah ditentukan.

Sistem seluler (*Cellular system*) dapat didefinisikan sebagai kumpulan elemen-elemen serupa yang disebut sel (*cell*). Struktur ini dibentuk berdasarkan pilihan bentuk piksel yang biasa disebut *lattice*. *Lattice* ini dapat berupa 1

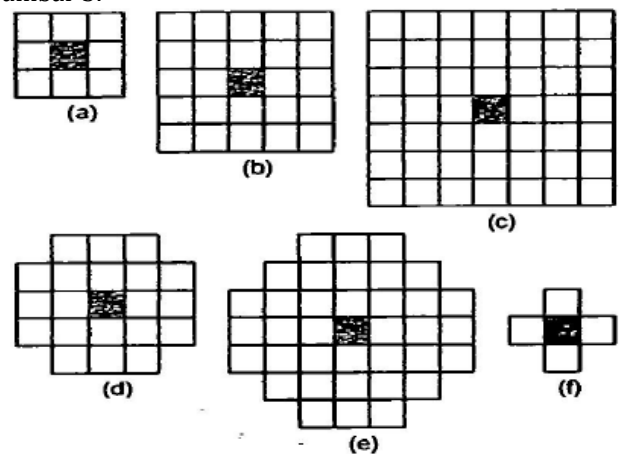
dimensi, 2 dimensi, atau 3 dimensi. Sel-sel tetangga (*neighborhoods*) merupakan bagian penting yang menggambarkan interaksi antara sel pusat dengan sel di sekitarnya. Jumlah sel tetangga ini sangat dipengaruhi oleh jenis *lattice* yang digunakan. Bentuk piksel dalam *cellular automata* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2 Cellular Automata

Pada Gambar 2, pusat sel ditandai dengan warna merah, sementara sel-sel tetangga (*neighborhoods*) ditandai dengan warna magenta. *Lattice* yang digunakan dalam sistem ini berbentuk persegi (*Square*), dengan sel pusat berbentuk segiempat, sehingga jumlah sel tetangga akan lebih banyak. Hal ini membuatnya sangat cocok untuk digunakan dalam sistem yang dinamis.

Ketetanggaan (*neighborhood*) mengacu pada fakta bahwa perubahan penggunaan lahan pada satu piksel akan dipengaruhi oleh penggunaan lahan pada piksel tetangganya. Dalam konteks ini, yang perlu didefinisikan adalah jumlah piksel yang dianggap sebagai tetangga. Konsep ketetanggaan ini secara teknis diterjemahkan melalui filter atau jendela, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Ilustrasi dari ukuran filter, (a) Filter 3x3, (b) Filter 5x5, (c) Filter 7x7, (d) Filter Oktogonal 5x5, (e) Filter Oktogonal 7x7, (f) Filter Cros 4 tetangga terdekat. (Sumber: (Arai, 2024))

Keadaan suatu *cellular automata* sepenuhnya dipengaruhi oleh variabel yang dimiliki oleh setiap sel. *Cellular automata* bekerja dengan tahapan waktu yang diskrit, di mana nilai variabel sel dipengaruhi oleh nilai

variabel sel tetangganya pada tahapan waktu sebelumnya. Tetangga dari suatu sel adalah sel-sel yang berdekatan dengan sel tersebut. Variabel sel diperbarui secara simultan, berdasarkan nilai variabel yang dimiliki oleh sel itu sendiri dan tetangganya pada tahapan waktu sebelumnya, sesuai dengan aturan lokal tertentu (Koomen et al., 2007)

3. Hasil dan Pembahasan

Citra Landsat tahun 2018 dan 2024 yang telah mengalami koreksi geometrik digunakan untuk mengambil informasi yang diperlukan dalam pemodelan prediksi area tambang. Informasi yang diambil dari citra Landsat meliputi peta bentuk lahan dan peta tutupan lahan untuk tahun 2018 dan 2024. Peta bentuk lahan diperoleh melalui interpretasi visual, sementara peta tutupan lahan didapatkan melalui interpretasi digital atau dengan melakukan klasifikasi multispektral terawasi menggunakan *metode maximum likelihood classification*.

Klasifikasi *supervised maximum likelihood* adalah metode klasifikasi yang didasarkan pada nilai piksel yang telah dikelompokkan ke dalam kategori objek tertentu, atau yang telah disiapkan dalam sampel pelatihan (*training sample*) untuk setiap jenis tutupan lahan.

Penentuan penggunaan lahan dilakukan dengan menggunakan matriks dua dimensi, yang merupakan matriks yang menggambarkan hubungan antara tutupan lahan dan bentuk lahan.

Tabel 1 Matriks hubungan tutupan dengan bentuk lahan

LF \ LC	LC1	LC 2	LC 3	LC 4	Dst ...
LF 1					
LF 2					
LF 3					
LF 4					
Dst ...					

Keterangan:

- LC : Penutup Lahan
- LF : Bentuk Lahan
- : Penggunaan Lahan

Penggunaan matriks ini dianggap sebagai metode yang logis untuk menentukan kemungkinan penggunaan lahan. Pendekatan ini serupa dengan yang digunakan oleh (Danoedoro, 2009) dan (Dewi et al., 2023) dalam mengidentifikasi penggunaan lahan di wilayah penelitian mereka. Setelah dilakukan penyederhanaan, klasifikasi akhir menghasilkan dua kategori penggunaan lahan, yaitu area tambang dan area non-tambang. Peta tentatif penggunaan lahan ini kemudian diverifikasi lapangan untuk menilai tingkat akurasi hasil interpretasi dengan kondisi yang sebenarnya.

Simulasi perubahan lahan dari non-tambang menjadi tambang dapat ditentukan oleh beberapa parameter tertentu. Dalam penelitian ini, identifikasi variabel

perubahan penggunaan lahan dilakukan melalui analisis eksplorasi berdasarkan dugaan awal (a priori). Kombinasi literatur, pengetahuan lokal tentang daerah, dan logika yang didasarkan pada pengalaman empiris digunakan sebagai dasar untuk memilih variabel yang mungkin digunakan (Susilo, 2013). Variabel yang digunakan dalam simulasi perubahan lahan tambang di Muara Enim dan sekitarnya meliputi jaringan jalan (jalan utama, jalan lokal, dan lainnya), lahan terbangun yang ada, dan pusat kegiatan. Semua parameter perubahan tersebut dianalisis menggunakan jarak *Euclidean*. Jarak *Euclidean* merujuk pada jarak horizontal yang diukur berdasarkan raster dari pusat satu piksel ke piksel lainnya. Penggunaan jarak *Euclidean* ini diasumsikan dengan kondisi topografi di wilayah penelitian yang relatif datar, sehingga jarak diukur secara linier.

Besarnya pengaruh masing-masing parameter perubahan dapat diketahui melalui analisis regresi logistik biner terhadap peristiwa perubahan area non-tambang menjadi area tambang. Model yang dihasilkan dari regresi logistik biner ini kemudian digunakan sebagai input dalam model Cellular Automata untuk memprediksi area tambang pada tahun 2025. Proses prediksi perubahan area tambang menggunakan Cellular Automata dilakukan pada perangkat lunak Idrisi Selva, yang memerlukan 4 jenis input, di antaranya:

- 1) *Basis Land Cover Image*: Data yang digunakan adalah peta penggunaan lahan tahun 2018, yang terdiri dari dua kelas, yaitu area tambang dan area non-tambang.
- 2) Matriks Area Transisi: Matriks area transisi dibuat dengan menggunakan model Markov.
- 3) *Land Suitability Image Collection*: Probabilitas lokasi perubahan diperoleh dari hasil regresi logistik biner antara peta perubahan area tambang dan parameter-parameter simulasi perubahan. Sebagai pembanding, digunakan juga probabilitas lokasi perubahan berdasarkan model Markov.
- 4) *Neighborhood*: Dalam penelitian ini, digunakan ketetanggaan *Moore* dan *von Neumann* dengan variasi ukuran kernel 3x3, 5x5, dan 7x7.

Survei lapangan dilakukan untuk membandingkan hasil interpretasi dan pemodelan dengan kondisi nyata di lapangan. Kegiatan lapangan mencakup wawancara dan pengamatan langsung terhadap kondisi eksisting berdasarkan sampel yang telah ditentukan dengan menggunakan metode *stratified random sampling*. Wawancara dilakukan karena data yang digunakan untuk pemodelan berasal dari tahun 2018 dan 2024, sementara pengamatan langsung bertujuan untuk memvalidasi hasil pemodelan tahun 2025.

Metode uji akurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Confusion Matrix*, yang membandingkan data hasil pemodelan dengan data yang diperoleh melalui

survei lapangan. Akurasi dinyatakan dalam bentuk persentase, di mana semakin tinggi persentasenya (mendekati 100%), maka semakin baik akurasi yang diperoleh.

4. Kesimpulan

Hasil prediksi dari pemodelan menggunakan Cellular Automata ini adalah aera pertambangan di Kabupaten Muara Enim mengalami perubahan luasan, tetapi prediksi perubahan luasan tersebut tidak mungkin tepat 100%, karena masih perlu dilakukan kajian secara ilmiah yang didasarkan pada data lapangan.

5. Referensi

- Aos, A. N. A., & Putri, N. (2023). Dinamika Vegetasi dan Suhu Permukaan Lahan Berbasis Remote Sensing di Waduk Jatigede Provinsi Jawa Barat: Studi Pendahuluan. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 4(2), 67–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.uni.la.112>
- Arai, K. (2024). Cellular Automata on GIS Method for Forest Fire Spreading Simulation. *Media Konservasi*, 29, 161. <https://doi.org/10.29244/medkon.29.2.161>
- Danoedoro, P. (2009). *Land-Use Information From the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning*.
- Darmawan, S., Claudia, A., & Tridawati, A. (2022). Prediksi Perubahan Kawasan Hutan Mangrove Menggunakan Model Cellular Automata Markov pada Citra Penginderaan Jauh Landsat (Studi Kasus: Kawasan Resort Bama, Taman Nasional Baluran, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur). *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 6(1), 57–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.26760/jrh.V6i1.57-72>
- Dewi, A. R., Taryana, D., & Astuti, I. S. (2023). Pengaruh perubahan kerapatan bangunan dan vegetasi terhadap Urban Heat Island di Kota Bekasi menggunakan citra penginderaan jauh multitemporal. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 3(6), 604–625. <https://doi.org/https://doi.org/10.17977/um063v3i6p604-625>
- Firdaus, H. S., & Bashit, N. (2023). Analisis Penguasaan, Pemilikan, Penggunaan dan Pemanfaatan Tanah (P4T) Pada Tanah Garapan dan Tanah Timbul di Kabupaten Bekasi Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Desa Hurip Jaya, Kecamatan Bebelan). *Jurnal Geodesi Undip*, 12(2), 131–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2023.38078>
- Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, & Scholten, H. (2007). *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications* (Vol. 90). <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5648-2>
- Meilya, A. I., Lahming, L., Kaseng, E. S., & Khalik, A. (2024). Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Untuk Perubahan Luas Hutan Mangrove dan Keanekaragaman Mangrove Di Desa Nisombalia, Kabupaten Maros. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)*, 7(4), 13076–13086. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i4.34367>
- Putra, P., & Fadhilah, A. (2023). Tanjung enim tourism map website based on geographic information system using leaflet javascript. *Jurnal Mantik*, 7(3), 2665–2676.
- Rahmatiyah, R., Nuryanneti, I., Nur, M. D. M., Setyaningrum, S., Mirnawati, M., Arda, A., Masruhim, M. A., La Abute, E., & Suprayitno, D. (2024). *Buku Ajar Ilmu Alamiah Dasar*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Saputra, M., Nugraha, I., Agus, F., & Hidayah, A. (2022). Prediksi Perubahan Penutup Lahan menggunakan Integrasi Celullar Automata dan Analytical Hierarchy Process (AHP)(Studi Kasus: Kota Pekanbaru). *Journal of Urban Regional Planning and Sustainable Environment*, 1(1).
- Silahooy, V. B., Kaihena, M., Killay, A., Nindatu, M., Watuguly, T. W., Moniharapon, M., Unitly, A. J. A., Moniharapon, D. D., Huwae, L. M. C., & Mantaiborbir, R. S. (2024). *Alam dan Perkembangannya*. TOHAR MEDIA.
- Sulfiani, E. (2023). *Analisis Perubahan Laju Erosi DAS Jeneberang Menggunakan Metode Cellular Automata*. Universitas Hasanuddin.
- Susilo, B. (2013). Simulasi spasial berbasis sistem informasi geografi dan cellular automata untuk pemodelan perubahan penggunaan lahan di daerah pinggiran kota yogyakarta. *Bumi Lestari*, 13(2), 327–340.
- Wijaya, S., Fatimah, M. R., Yuningsih, E. T., & Tampubolon, A. (2023). Analisis Sebaran Logam Tanah Jarang Untuk Pengembangan Wilayah Pertambangan Menggunakan Citra Landsat-9 Di Kabupaten Bangka Selatan. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 18(2), 118–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.47599/bsdg.v18i2.409>