

Monitoring Land Cover Change Using Change Vector Analysis (CVA) in Central Bengkulu Regency, Indonesia

Firman Tikaputra^{1*}, Nining Puspaningsih¹, Tatang Tiryana¹

¹Program Studi Pascasarjana Ilmu Pengelolaan Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia;

Article History

Received: July 05th, 2025

Revised : July 15th, 2025

Accepted : July 22th, 2025

*Corresponding Author:

Firman Tikaputra, Program Studi Pascasarjana Ilmu Pengelolaan Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia;
Email:

firmantikaputra@gmail.com.

Abstract: Monitoring land cover change is essential for sustainable spatial planning in regions undergoing rapid development. This study aimed to evaluate Land cover changes in Central Bengkulu Regency during the 2008–2024 period were analyzed using the Maximum Likelihood Classification (MLC) method, which identified nine land cover classes with moderately good accuracy (Overall Accuracy of 66.7% and Kappa coefficient of 61.3% for Landsat 5 imagery in 2008, and 58.0% OA and 50.1% Kappa in 2024). Significant land cover dynamics were observed, with notable increases in shrub and plantation areas, and substantial decreases in primary dryland forest, rice fields, and open land. Change Vector Analysis (CVA), combining NDVI and NDBI indices, proved effective in detecting both the magnitude and direction of land cover change. The largest change category was "Stable/Not Significant" ($\pm 65,000$ ha), followed by "Rehabilitation/Recovery" ($\pm 24,700$ ha), and "Urban Development" ($\pm 10,800$ ha). These changes reflect the strong influence of socio-economic drivers such as population growth, land conversion for oil palm plantations, and settlement expansion, as well as ecological factors such as degradation and natural succession. The results indicate that the integrative approach of CVA and spectral indices can serve as a reliable spatio-temporal analysis tool to support spatial planning and sustainable land management policies, particularly in newly established regions vulnerable to land conversion.

Keywords: Change Vector Analysis (CVA), land cover change, landsat, NDVI, NDBI, remote sensing, spatial planning.

Pendahuluan

Perubahan tutupan lahan merupakan fenomena global yang sangat erat kaitannya dengan dinamika sosial, ekonomi, dan lingkungan (Aniah et al., 2025; Karimov et al., 2023). Laju pertumbuhan penduduk, urbanisasi, serta ekspansi kebutuhan lahan menjadi faktor utama yang mendorong terjadinya alih fungsi lahan, khususnya di wilayah berkembang seperti Indonesia (Roy, et al. 2022). Fenomena ini tidak hanya memengaruhi keberlanjutan lingkungan, tetapi juga berdampak pada tata ruang dan fungsi ekologis kawasan yang terdampak (Liu et al., 2019). Oleh karena itu, pemantauan perubahan tutupan lahan secara akurat dan berkala menjadi kebutuhan penting dalam mendukung

pengambilan keputusan berbasis data (Xing et al., 2023; Vadrevu & Ohara, 2020; Zhang et al., 2024; Feng et al., 2022).

Studi di berbagai wilayah juga menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk dan urbanisasi secara langsung berkorelasi kuat dengan perubahan penggunaan lahan, terutama peningkatan area terbangun dan penurunan vegetasi atau lahan pertanian (Abbas et al., 2025; Ogunbode et al., 2025; Hakim et al., 2024). Dampak lingkungan yang muncul meliputi deforestasi, berkurangnya ruang terbuka hijau, penurunan kualitas udara dan air, serta hilangnya keanekaragaman hayati (Maja & Ayano, 2021; Marques et al., 2019).

Teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) telah menjadi alat

utama dalam mendeteksi perubahan penggunaan lahan (Choukiker, 2021). Penggunaan data citra satelit, seperti Landsat, memberikan keunggulan karena mampu merekam informasi spasial dan temporal secara luas dan berkesinambungan, sehingga sangat efektif untuk pemantauan perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu (Mohanrajan *et al.*, 2020). Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendeteksi perubahan secara detail adalah Change Vector Analysis (CVA), yang mengukur arah dan besaran perubahan tutupan lahan (Choukiker, 2021). Selain itu, pemanfaatan indeks spektral seperti NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan NDBI (Normalized Difference Built-up Index) dapat meningkatkan akurasi dalam mendeteksi perubahan vegetasi maupun kawasan terbangun (Alqurashi & Kumar, 2013; Pham *et al.*, 2024; Lv *et al.*, 2023).

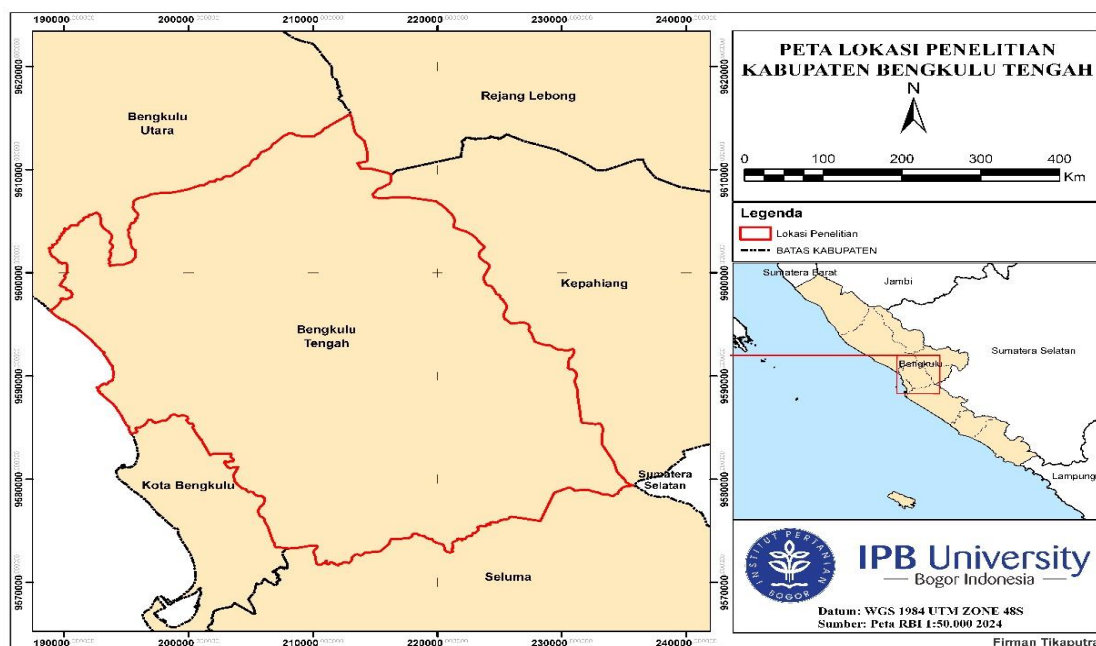
Peningkatan jumlah penduduk dengan pertumbuhan penduduk 1,26% per tahun, dan ekspansi wilayah administrasi pada tahun 2008 di Kabupaten Bengkulu Tengah, telah mendorong perluasan kawasan terbangun, alih fungsi lahan pertanian, serta penurunan tutupan vegetasi (Abbas, *et al.*, 2025). Penelitian yang dapat memberikan gambaran aktual perubahan tutupan lahan di Kabupaten Bengkulu Tengah dalam rentang waktu 2008 hingga 2024 sangat penting dilakukan, dengan mengaplikasikan metode CVA berbasis citra Landsat dan integrasi

indeks NDVI serta NDBI. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan menggunakan citra Landsat 5 TM tahun 2008 dan citra Landsat 8 OLI-TIRS2 tahun 2024, serta mendeteksi besaran dan arah perubahan tutupan lahan, dan memberikan informasi spasial yang dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam pengelolaan wilayah yang berkelanjutan. Temuan penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap penguatan kebijakan tata ruang berbasis data dan pengendalian konversi lahan di daerah pemekaran.

Bahan dan Metode

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga November 2024 di Kabupaten Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu, Indonesia. Wilayah ini dipilih karena merupakan daerah pemekaran yang mengalami perkembangan pesat dalam hal penggunaan lahan sejak tahun 2008, serta memiliki potensi besar untuk dianalisis perubahan tutupan lahannya dalam jangka waktu panjang. Lokasi geografis Kabupaten Bengkulu Tengah berada di bagian tengah Provinsi Bengkulu berbatasan dengan Kabupaten Bengkulu Utara sebelah utara, Kabupaten Kepahiang dan Rejang Lebong sebelah timur, Kabupaten Seluma sebelah selatan dan Kota Bengkulu sebelah barat..



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Data dan alat yang Digunakan

Data utama yang digunakan berupa citra satelit Landsat 5 TM (tahun 2008) dan Landsat 8 OLI-TIRS (tahun 2024), yang dipilih karena memiliki resolusi spasial 30 meter dan cakupan temporal yang konsisten, yaitu 16 hari. Data pendukung lainnya berupa data administrasi wilayah dan data validasi lapangan. Alat dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian meliputi perangkat komputer, perangkat lunak ENVI 5.3 untuk pemrosesan citra, serta ArcGIS 10.8 untuk analisis spasial dan visualisasi peta.

Tahapan Pra-Pengolahan Citra

Pra-pengolahan dilakukan untuk menyamakan kondisi citra dari tahun 2008 dan 2024, meliputi koreksi geometrik, koreksi radiometrik, dan pencocokan histogram. Langkah ini penting untuk menghilangkan kesalahan sistematik dan perbedaan pencahayaan akibat sensor maupun kondisi atmosfer, sehingga hasil deteksi perubahan menjadi lebih akurat.

Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan dilakukan menggunakan metode klasifikasi terbimbing Maximum Likelihood Classification (MLC). Kelas-kelas tutupan lahan yang diklasifikasikan dalam penelitian ini meliputi: hutan, lahan pertanian, permukiman (lahan terbangun), badan air, dan lahan terbuka. Penentuan area pelatihan (training area) dilakukan berdasarkan interpretasi visual citra dan data lapangan.

Deteksi Perubahan Tutupan Lahan

Metode deteksi perubahan yang digunakan adalah Change Vector Analysis (CVA), yaitu teknik yang mengukur besaran (magnitude) dan arah (direction) perubahan spektral antar waktu. Analisis ini dilakukan dengan memanfaatkan kombinasi indeks NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) untuk vegetasi dan NDBI (Normalized Difference Built-up Index) untuk area terbangun. Nilai NDVI dan NDBI dari kedua citra dengan rumus sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

$$NDBI = \frac{SWIR_{MIR}-NIR}{SWIR_{MIR}+NIR}$$

$$\Delta NDVI = NDVI_{T2} - NDVI_{T1}$$

$$\Delta NDBI = NDBI_{T2} - NDBI_{T1}$$

Metode ini dipilih karena memiliki

ketelitian tinggi dalam membedakan perubahan antara vegetasi dan wilayah non-vegetasi.

Analisis Besaran dan Arah Perubahan

Besaran perubahan dihitung menggunakan Magnitude of Change (besaran perubahan) dan Direction of Change (arah perubahan). Besaran perubahan dihitung menggunakan rumus jarak Euclidean dari vektor spektral NDVI dan NDBI tahun 2008 dan 2024, sedangkan arah perubahan dianalisis berdasarkan perubahan orientasi spektral. Hasil dari analisis ini digunakan untuk memetakan area mana yang mengalami perubahan besar maupun kecil serta jenis perubahan yang terjadi. Rumus yang digunakan adalah:

$$Magnitude (MCV) = \sqrt{\Delta NDVI^2 + \Delta NDBI^2}$$

$$Direction (\alpha) = \tan^{-1} \frac{\Delta NDBI}{\Delta NDVI}$$

Uji Akurasi

Untuk menilai tingkat keakuratan klasifikasi tutupan lahan, dilakukan uji akurasi menggunakan matriks kebingungan (confusion matrix) dan perhitungan Kappa Coefficient. Data validasi diambil dari titik acak berdasarkan hasil klasifikasi dan observasi lapangan, guna memastikan bahwa klasifikasi citra mencerminkan kondisi lahan yang sebenarnya.

Hasil dan Pembahasan

Klasifikasi Tutupan Lahan Kabupaten Bengkulu Tengah Tahun 2008-2024

Hasil klasifikasi tutupan lahan Kabupaten Bengkulu Tengah menggunakan klasifikasi terbimbing metode maximum likelihood classification sebanyak 9 kelas tutupan lahan yaitu hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, lahan terbangun, lahan terbuka, perairan, perkebunan, pertanian lahan kering, sawah dan semak belukar. Uji akurasi maximum likelihood classification pada citra Landsat 5 tahun 2008 memiliki nilai OA sebesar 66,7% dan Kappa sebesar 61,3 sedangkan citra Landsat 8 tahun 2024 OA 58,0% dan Kappa 50,1%. Tutupan lahan Kabupaten Bengkulu Tengah pada tahun 2008 dan 2024 didominasi semak belukar. Hasil klasifikasi maximum likelihood classification pada tutupan lahan tahun 2008 dan 2024 berdasarkan luas (ha) tersaji pada Tabel 1.

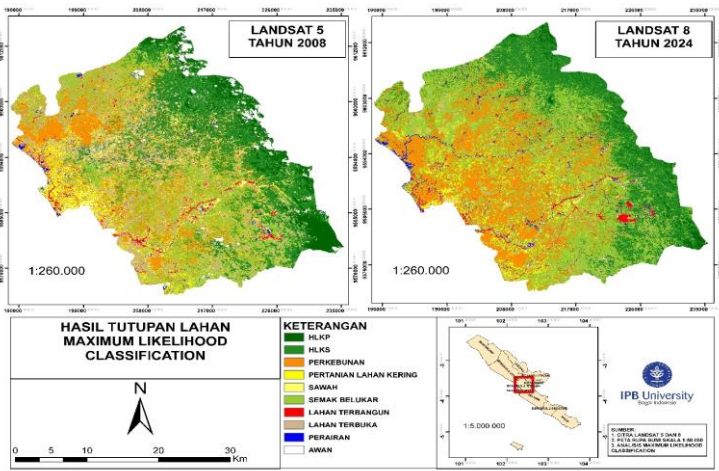
Perubahan tutupan Bengkulu tengah pada

tahun 2008 dan 2024 menunjukkan peningkatan luas terjadi pada tutupan lahan semak belukar, perkebunan, lahan terbangun dan perairan, sedangkan penurunan luas terjadi pada tutupan hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, pertanian lahan kering, sawah, dan lahan terbuka. Peningkatan luas dominan pada semak belukar (18.660,9 ha) dan perkebunan (12.821,4 ha) yang mengindikasikan adanya konversi hutan dan lahan terbuka menjadi bentuk yang lebih intensif digunakan. Sedangkan penurunan terbesar terjadi pada lahan terbuka

(17.364 ha) di Kabupaten Bengkulu Tengah disebabkan masyarakat membuka lahan pertanian menjadi perkebunan kelapa sawit (Desmiwati, 2022). Dinamika yang kompleks akibat interaksi faktor ekologis, sosial dan kebijakan. Perubahan tutupan lahan sebagian besar merupakan hasil dari konversi hutan dan lahan pertanian akibat deforestasi, program transmigrasi, aktivitas ladang berpindah, dan implementasi kebijakan desentralisasi yang memudahkan izin usaha berbasis lahan (Juniyanti et al., 2020; Austin et al., 2017).

Tabel 1. Luas Perubahan Tutupan Lahan

Tutupan lahan	Luas (ha)		Perubahan (ha)
	2008	2024	
Hutan lahan kering primer	8622,9	1989,7	-6633,2
Hutan lahan kering sekunder	29.522,1	24.716,1	-4806,0
Perkebunan	12.747,5	25.568,9	12.821,4
Pertanian lahan kering	4206,0	4534,4	328,5
Sawah	4553,8	647,3	-3906,5
Semak belukar	31.584,2	50.245,0	18.660,9
Lahan terbangun	1917,5	2430,8	513,3
Lahan terbuka	19.579,2	2232,8	-17.346,4
Perairan	582,5	950,6	368,1
Total	113.316	113316	-



Gambar 2 Peta hasil tutupan lahan *maximum likelihood* tahun 2008 dan tahun 2024

Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Bengkulu Tengah Tahun 2008-2024

Perubahan tutupan lahan dari suatu jenis tutupan lahan ke jenis tutupan lahan lainnya dalam periode waktu berbeda. Kebutuhan akan lahan meningkat menyebabkan alih fungsi lahan khususnya dari lahan vegetasi menjadi lahan terbangun (Pravitasari et al. 2019). Pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi

mengakibatkan peningkatan kebutuhan akan lahan. Peningkatan kebutuhan manusia terhadap lahan mendorong terjadinya perubahan pemanfaatan lahan, yang berdampak pada perubahan kemampuan lahan dalam mendukung kebutuhan manusia (Panjaitan et al. 2018). Perubahan luas tutupan lahan berdasarkan hasil klasifikasi citra Landsat 5 tahun 2008 dan Landsat 8 tahun 2024 di Kabupaten Bengkulu

Tengah tersaji pada Tabel 2..

Tabel 2. Analisis perubahan tutupan lahan berdasarkan luasan (ha)

Landsat 5 2008	Landsat 8 2024									Total (Ha)
	HLKP	HLKS	KB	PLK	SW	SB	LT	LTB	AIR	
HLKP	1.786,5	6084,6	20,5	4,0		702,7	4,8	12,1	7,6	8.622,9
HLKS	192,7	13.319,3	3.437,7	167,1	14,0	11.793,7	216,1	266,5	115,0	29.522,1
KB		239,4	4.945,1	621,2	41,0	6.177,6	152,9	493,8	76,5	12.747,5
PLK		21,4	2.151,0	365,9	31,0	1.305,1	193,3	74,4	64,0	4.206,0
SW	2,8	171,7	8.53,1	705,2	378,2	1.859,1	189,0	197,5	197,2	4.553,8
SB	6,4	3.723,6	7.365,3	1.422,2	36,9	17.791,2	378,7	802,7	57,3	31.584,2
LT		138,0	194,2	117,5	58,5	407,3	892,1	12,9	96,9	1.917,5
LTB	1,1	957,5	6.535,0	1.105,7	68,8	10.015,0	390,0	361,7	144,3	19.579,2
AIR	0,2	60,5	67,2	25,7	18,8	193,3	13,8	11,3	191,8	582,5
Total (Ha)	1.989,7	24.716,1	25.568,9	4.534,4	647,3	50245,0	2430,8	2232,8	950,6	113.316

Sumber: Hasil analisis, 2024

Keterangan: AW: Awan, HLKP: Hutan Lahan Kering Primer, HLKS: Hutan Lahan Kering Sekunder, LT: Lahan Terbangun, LTB: Lahan Terbuka, AIR: Perairan, KB: Perkebunan, PLK: Pertanian Lahan Kering, SW: Sawah, SB: Semak Belukar.

Perubahan tutupan hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder (6084,6 ha) ha diduga merupakan hasil proses suksesi alami dan rehabilitasi lahan (Dwiyahreni et al., 2021) dan semak belukar (702,7 ha) yang dipicu oleh tekanan aktivitas manusia, seperti pembangunan dan ekspansi pertanian. Hutan lahan kering sekunder menjadi semak belukar (11.793,7 ha) dan perkebunan (3437,7 ha) mengindikasikan konversi dan degradasi lanjutan akibat lahan pertanian tidak terkelola karena keterbatasan akses dan pengelolaan (Harianto et al., 2022; FAO, 2001).

Perkebunan berkembang pesat karena tingginya minat terhadap komoditas kelapa sawit, baik oleh masyarakat maupun perusahaan. Namun, sebagian lahan perkebunan yang diremajakan mengalami klasifikasi ulang menjadi semak belukar dan lahan terbuka akibat tahapan replanting (RRI, 2025). Pertanian lahan kering bertambah 328,5 ha, tetapi banyak yang dialihfungsikan menjadi perkebunan (2151 ha) atau ditinggalkan sehingga berubah menjadi semak.

Sawah menjadi semak belukar dan perkebunan, menunjukkan konversi lahan pertanian menjadi pemukiman dan kebun. Sawah menurun 3906,5 ha akibat alih fungsi menjadi perkebunan dan semak karena kendala irigasi, keterbatasan tenaga kerja, dan risiko iklim (Zamhari et al., 2019; Wihardjaka et al., 2020). Sementara itu, lahan terbangun meningkat

sebesar 513,3 ha seiring pertumbuhan penduduk dan kebutuhan pemukiman, infrastruktur, serta aktivitas ekonomi (Gandharum et al., 2024; Yasin et al., 2025).

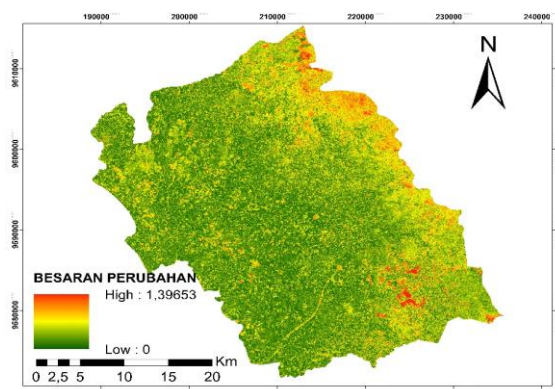
Lahan terbuka menurun drastis (17.346,4 ha), sebagian besar berubah menjadi semak belukar akibat regenerasi alami di lahan yang tidak digarap. Selain itu, konversi menjadi perkebunan juga signifikan (6535 ha). Perairan mengalami penambahan 368,1 ha, baik karena faktor alami seperti banjir dan perubahan iklim, maupun faktor buatan seperti lubang tambang dan pembangunan kolam wisata (Mahmud & Kurniawan, 2025). Secara keseluruhan, tren perubahan menunjukkan deforestasi, ekspansi perkebunan sawit, dan peningkatan lahan semak belukar sebagai dinamika utama, yang mencerminkan ketidakseimbangan antara pembangunan dan kelestarian lingkungan.

Deteksi Perubahan Menggunakan *Change Vector Analysis* (CVA)

Hasil besaran dan arah perubahan menggunakan indeks NDVI dan NDBI dapat dilihat pada gambar 2 dan 3. Besaran perubahan dilakukan menggunakan reklasifikasi berdasarkan thresholding nilai selang magnitude 0-1,39 dengan nilai minimum 0, maksimal 1,39 mean 0,157 dan standar deviasi 0,105. Kelas besaran perubahan menjadi 4 pada tabel 3. Hasil besaran perubahan pada Gambar 3.

Tabel 3.Kelas Besaran Perubahan

Kelas besaran	Selang M	Deskripsi Perubahan
M1	0-0,157	Tidak berubah
M2	0,157-0,264	Perubahan ringan
M3	0,264-0,371	Perubahan sedang
M4	0,371-1,396	Perubahan tinggi



Gambar 3 Besaran perubahan

Peningkatan besaran perubahan signifikan pada wilayah yang mengalami deforestasi dan alih fungsi lahan menjadi perkebunan kelapa sawit. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Santoso *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan di Sumatera didorong oleh ekspansi perkebunan dan pertumbuhan kawasan permukiman di daerah berkembang. Selain itu, nilai magnitudo tinggi juga dihasilkan dari transisi tajam antara NDVI tinggi (hutan) ke NDBI tinggi (permukiman), yang mencerminkan hilangnya tutupan vegetasi secara drastis (Indrayani *et al.*, 2020).

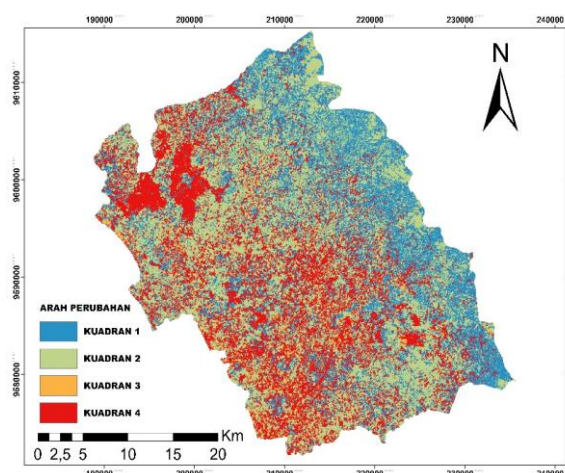
Sementara itu, perubahan dengan kategori sedang hingga rendah banyak ditemukan di area transisi, seperti pertanian campur semak atau ladang berpindah. Perubahan ini menunjukkan proses degradasi bertahap atau regenerasi vegetasi sekunder, yang dalam jangka panjang dapat membentuk semak belukar atau hutan muda. Menurut Wahyuni *et al.* (2022), perubahan bertahap sering terjadi akibat penelantaran lahan pertanian yang tidak produktif, terutama karena akses terbatas atau rendahnya dukungan infrastruktur

Arah perubahan (direction) dalam CVA juga menunjukkan pola penting: dari tutupan vegetasi menuju kawasan non-vegetatif (terbangun atau terbuka), dan sebaliknya pada

beberapa lokasi yang mengalami rehabilitasi atau suksesi alami. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Hidayat & Hapsari (2019), yang menyatakan bahwa CVA tidak hanya mendeteksi seberapa besar perubahan yang terjadi, tetapi juga memberikan indikasi arah transformasi lanskap. Arah perubahan berdasarkan nilai Δ NDVI dan Δ NDBI dalam kuadran arah sudut (derajat) pada Tabel 4. Hasil arah perubahan pada Gambar 4.

Tabel 4. Kelas Arah Perubahan

Kuadran	Arah	Kriteria
Q1	0-90°	NDVI (+) NDBI (+)
Q2	90-180°	NDVI (+) NDBI (-)
Q3	180-270°	NDVI (-) NDBI (-)
Q4	270-360°	NDVI (-) NDBI (+)



Gambar 4 Arah perubahan

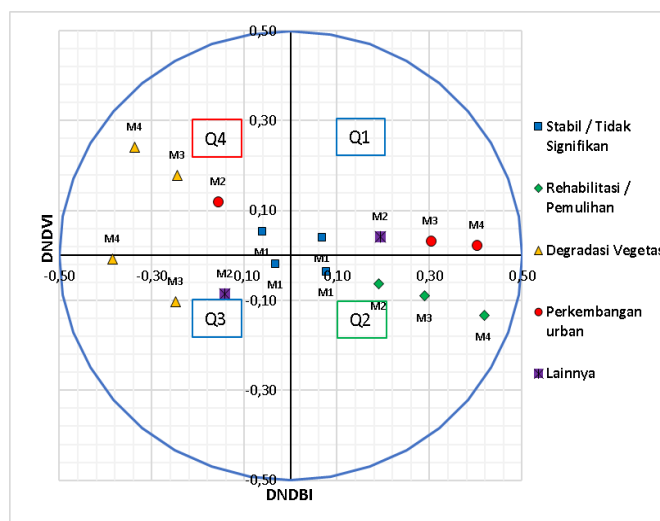
Kombinasi besaran dan arah perubahan di Kabupaten Bengkulu Tengah menghasilkan perubahan sebanyak 16 kelas disajikan pada tabel 3 dan sebaran kelas kombinasi pada Gambar 4, kemudian dikelompokkan menjadi 5 kategori perubahan.

Kategori Stabil / Tidak Signifikan (M1, seluruh kuadran) tidak terjadi perubahan karena berada dibawah nilai ambang batas perubahan temuan ini selaras dengan Coppin *et al.* (2004) “Arah hanya berguna untuk nilai magnitudo di atas ambang batas perubahan minimum”. Kategori ini mendominasi total luasan (± 65.000 ha), mencerminkan bahwa sebagian besar wilayah tidak mengalami perubahan besar, hanya fluktuasi ringan vegetasi atau pembangunan.

Tabel 5. Kategori Perubahan Tutupan Lahan berdasarkan Kombinasi Besaran dan Arah Perubahan

No	Kategori	Kriteria CVA	Δ NDVI	Δ NDBI	M	Q	Interpretasi Perubahan	Luas(ha)
1	Stabil / Tidak Signifikan	M1Q1	0,07	0,04	0,08	1	Vegetasi dan pembangunan naik ringan, tapi tidak signifikan	19143,8
		M1Q2	0,08	-0,04	0,09	2	Rehabilitasi alami sangat kecil	21092,4
		M1Q3	-0,03	-0,02	0,04	3	Sedikit degradasi alami, tidak signifikan	3388,7
		M1Q4	-0,06	0,05	0,08	4	Vegetasi sedikit berkurang, pembangunan naik	21905,3
2	Rehabilitasi / Pemulihan	M2Q2	0,19	-0,06	0,2	2	Awal rehabilitasi ringan	12769,6
		M3Q2	0,29	-0,09	0,3	2	Pemulihan vegetasi sedang	7530,3
		M4Q2	0,42	-0,13	0,44	2	Restorasi intensif	4432,9
3	Degradasi Vegetasi	M3Q3	-0,25	-0,1	0,27	3	Degradasi vegetasi dan bangunan	8,1
		M3Q4	-0,24	0,18	0,3	4	Konversi sedang ke pemukiman	2269,0
		M4Q3	-0,38	-0,01	0,38	3	Degradasi parah	0,7
		M4Q4	-0,34	0,24	0,41	4	Konversi besar-besaran	511,5
4	Perkembangan urban	M2Q4	-0,16	0,12	0,2	4	Perubahan ringan ke urbanisasi	7129,5
		M3Q1	0,3	0,03	0,3	1	Urban hijau tumbuh sedang	3116,5
		M4Q1	0,4	0,02	0,4	1	Pembangunan intensif + penghijauan kuat	581,0
5	Lainnya	M2Q1	0,19	0,04	0,2	1	Perubahan ringan ke vegetasi & terbangun	9217,9
		M2Q3	-0,14	-0,09	0,17	3	Perubahan ringan degradasi	94,3

Sumber: Hasil analisis, 2024



Gambar 5. Grafik kategori perubahan berdasarkan CVA

Rehabilitasi / Pemulihan (M2Q2, M3Q2 dan M4Q2), rehabilitasi adalah tindakan memulihkan kemampuan ekosistem untuk menghasilkan barang dan jasa, tanpa harus mengembalikan struktur dan fungsi ekosistem seperti semula (FAO 2005). SER (2004), Restorasi ekologi adalah proses membantu pemulihan suatu ekosistem yang telah terdegradasi, rusak, atau hancur: Luas cukup besar (± 24.700 ha), menunjukkan adanya peningkatan vegetasi di area yang sebelumnya terbuka atau terganggu, mencerminkan proses penghijauan atau pemulihan lahan.

Degradasi Vegetasi (M3Q3, M3Q4, M4Q3 dan M4Q4) Degradasi lahan adalah proses penurunan produktivitas lahan yang sifatnya sementara maupun tetap dengan berbagai penyebab seperti konversi hutan, penggunaan dan pengelolaan lahan yang kurang tepat (Wahyunto dan Dariah 2014). Luas kategori ini (± 2.800 ha), menunjukkan adanya tekanan terhadap vegetasi baik akibat alih fungsi ke permukiman maupun deforestasi.

Perkembangan Urban (M2Q4, M3Q1 dan M4Q1) Perkembangan urban adalah perluasan fisik wilayah terbangun yang terjadi akibat peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan ekonomi, yang umumnya menyebabkan alih fungsi lahan dari pertanian atau hutan menjadi kawasan perkotaan. (Bhatta 2010). Kategori ini luas cukup signifikan (± 10.800 ha), memperlihatkan ekspansi wilayah terbangun, termasuk pembangunan yang disertai penghijauan.

Lainnya (M2Q1 dan M2Q3), "Lainnya" mencakup semua perubahan tutupan lahan yang tidak dapat digolongkan secara tegas sebagai revegetasi maupun urbanisasi. Biasanya ini mencakup degradasi, konversi kompleks, atau perubahan campuran yang ambigu (Coppin et al. 2004; Lu et al. 2004; Chen et al. 2012) Kategori dengan interpretasi campuran (± 9.300 ha), mencerminkan perubahan ringan yang tidak dominan pada satu pola tertentu, namun tetap relevan dalam dinamika tutupan lahan.

Secara umum, penggunaan CVA dalam penelitian ini terbukti efektif untuk deteksi multitemporal, terutama dalam konteks perencanaan ruang dan pemantauan dampak ekologis dari pembangunan wilayah. Hasil ini memberikan dasar ilmiah bagi pengambil kebijakan untuk melakukan intervensi dalam

pengendalian konversi lahan secara berkelanjutan dan berbasis spasial (Wahyuningrum & Aditya, 2021).

Deteksi Perubahan Change Vector Analysis (CVA) dengan Training Area

Deteksi perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan metode Change Vector Analysis (CVA) yang didukung oleh data training area dari hasil klasifikasi tutupan lahan. CVA merupakan metode berbasis vektor yang mengukur besar (magnitude) dan arah (direction) perubahan nilai spektral antara dua waktu pengamatan. Dalam penelitian ini, nilai-nilai indeks NDVI dan NDBI tahun 2008 dan 2024 digunakan sebagai komponen utama CVA, karena keduanya sangat efektif dalam mendeteksi perbedaan antara kawasan vegetasi dan lahan terbangun.

Training area digunakan untuk menentukan sampel representatif dari tiap kelas tutupan lahan, sehingga proses deteksi perubahan lebih terarah dan akurat. Setiap titik training area diidentifikasi secara spasial, dikaitkan dengan data nilai spektral, dan digunakan untuk mengukur seberapa besar perubahan yang terjadi dari satu waktu ke waktu lainnya. Hasil CVA menghasilkan klasifikasi perubahan menjadi tiga kategori, yaitu perubahan rendah, sedang, dan tinggi, berdasarkan nilai magnitude. Hasil deteksi perubahan menggunakan CVA berdasarkan area pelatihan (training area), yang mencerminkan dinamika spasial dan intensitas perubahan tutupan lahan selama periode 2008–2024 dapat dilihat pada Tabel 3 dan Grafik sebaran perubahan berdasarkan kategori CVA dengan Training Area pada Gambar 5.

Deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan metode Change Vector Analysis (CVA) berbasis NDVI dan NDBI, dengan pendekatan training area, menunjukkan variasi perubahan yang signifikan di Kabupaten Bengkulu Tengah selama periode 2008–2024. Klasifikasi perubahan dilakukan berdasarkan kombinasi besaran perubahan (magnitude) dan arah perubahan (direction) dalam empat kuadran (Q1–Q4), yang menghasilkan lima kategori utama.

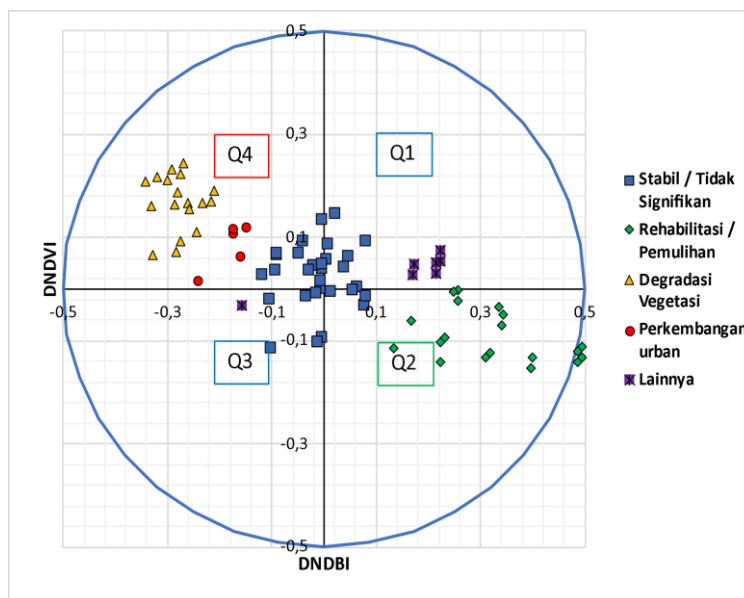
Sebagian besar wilayah (56,2% atau 63.599,6 ha) berada dalam kategori stabil atau tidak signifikan, yang ditandai dengan fluktuasi kecil nilai indeks NDVI dan NDBI di seluruh

kuadran. Hal ini menunjukkan tidak adanya alih fungsi lahan yang berarti di area tersebut. Sebaliknya, sekitar 23,1% wilayah (26.124,4 ha) mengalami rehabilitasi atau pemulihan, ditandai

dengan peningkatan NDVI dan penurunan NDBI, umumnya berada pada kuadran Q2. Ini mencerminkan keberhasilan proses revegetasi, regenerasi alami, atau upaya rehabilitasi lahan.

Tabel 6. Luas kategori perubahan CVA dengan Training Area

Kategori	Luas (ha)	Luas (ha)
Stabil / Tidak Signifikan	63599,6	56,2
M1Q1	18530,6	16,4
M1Q2	20358,0	18,0
M1Q3	3386,0	3,0
M1Q4	21325,1	18,8
Rehabilitasi / Pemulihan	26124,4	23,1
M2Q2	12904,5	11,4
M3Q2	7873,1	7,0
M4Q2	5346,8	4,7
Degradasi Vegetasi	3028,9	2,7
M3Q4	2464,0	2,2
M4Q4	564,9	0,5
Perkembangan urban	7462,5	6,6
M2Q4	7462,5	6,6
Lainnya	12976,8	11,5
M2Q1	12871,8	11,4
M2Q3	105,0	0,1
Grand Total	113192,3	100,0



Gambar 5 Grafik sebaran perubahan berdasarkan kategori CVA dengan Training Area

Kategori degradasi vegetasi teridentifikasi pada 2,7% wilayah (3.028,9 ha), yang dicirikan oleh penurunan NDVI dan peningkatan NDBI (Q4), mengindikasikan konversi hutan atau vegetasi menjadi lahan terbuka, pemukiman, atau penggunaan lainnya akibat tekanan antropogenik. Perkembangan urban mencakup 6,6% area (7.462,5 ha), ditandai dengan

pergeseran dari vegetasi ke lahan terbangun, dengan nilai NDVI menurun dan NDBI meningkat, juga didominasi oleh kuadran Q4. Sementara itu, kategori lainnya (11,5% atau 12.976,8 ha) mencakup perubahan kompleks yang tidak bisa diklasifikasikan secara pasti ke dalam empat kategori utama. Perubahan ini bisa bersifat campuran atau bersifat sementara akibat

dinamika penggunaan lahan yang tidak stabil. Secara keseluruhan, pendekatan CVA dengan integrasi training area dan analisis indeks spektral berhasil mengidentifikasi pola spasial-temporal perubahan tutupan lahan secara lebih detail, serta memberikan landasan kuat bagi pengambilan kebijakan dalam pengelolaan lahan dan tata ruang wilayah secara berkelanjutan.

Deteksi Perubahan Change Vector Analysis kombinasi dengan MLC

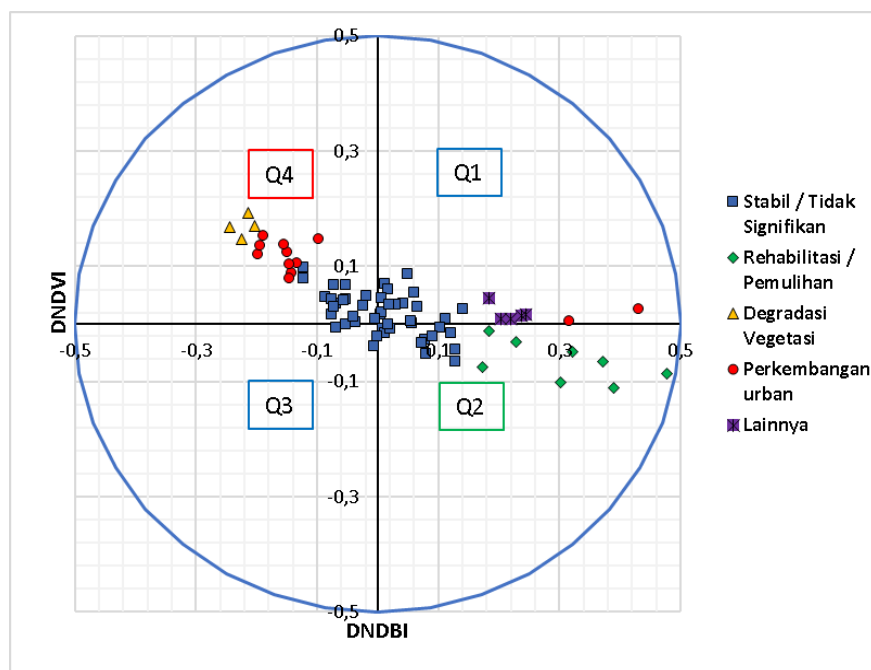
Perubahan lahan yang lebih komprehensif, analisis dilakukan melalui pendekatan kombinatorik antara Change Vector Analysis (CVA) yang bersifat tidak terbimbing dan Maximum Likelihood Classification (MLC) yang bersifat terbimbing. Hasil klasifikasi dari

masing-masing metode di-overlay untuk mengidentifikasi jenis perubahan. Luas perubahan berdasarkan masing-masing metode tersaji pada Tabel 4 dan Grafik Perubahan kategori CVA dan MLC pada Gambar 6.

Analisis perubahan tutupan lahan dengan metode Change Vector Analysis (CVA) berbasis indeks NDVI dan NDBI yang dikombinasikan dengan data training area, menghasilkan lima kategori utama perubahan: stabil, rehabilitasi, degradasi vegetasi, perkembangan urban, dan lainnya. Pengelompokan dilakukan berdasarkan kombinasi magnitude dan arah perubahan (kuadran Q1–Q4), dengan total 81 kemungkinan kelas perubahan dari sembilan jenis tutupan lahan.

Tabel 7. Luas perubahan berdasarkan masing-masing metode

Kategori	CVA (ha)	CVA Training (ha)	MLC (ha)	CVA × MLC (ha)
Stabil / Tidak Signifikan	65.530,2	63.599,6	40.434,8	81.809,4
Rehabilitasi / Pemulihan	24.732,8	26.124,4	28.049,2	6.876,9
Degradasi Vegetasi	2.789,4	3.028,9	7.521,3	726,8
Perkembangan Urban	10.827,0	7.462,5	36.750,7	2.685,2
Lainnya	9.312,2	12.976,8	559,7	21.217,4
Total	113.191,5	113.192,3	113.315,7	113.315,7



Gambar 6 Grafik Perubahan kategori CVA dan MLC

Sebanyak 56,2% wilayah (63.599,6 ha) tergolong stabil, ditandai dengan besaran

perubahan rendah (M1) di semua kuadran. Perubahan spektral yang terjadi berada dalam

ambang toleransi dan tidak menunjukkan transformasi lahan yang berarti. Contohnya adalah perubahan minor dari hutan sekunder ke kebun atau dari lahan terbuka ke pertanian lahan kering. Pola ini menunjukkan konsistensi tutupan lahan di wilayah tertentu yang cenderung tidak mengalami tekanan perubahan tinggi.

Sekitar 23,1% wilayah (26.124,4 ha) menunjukkan peningkatan tutupan vegetasi (NDVI naik) dan penurunan pembangunan (NDBI turun), umumnya di kuadran Q2. Proses ini mengindikasikan keberhasilan suksesi alami, revegetasi, atau rehabilitasi lahan. Perubahan dari semak belukar menjadi hutan sekunder atau dari lahan terbuka ke hutan lahan kering primer termasuk dalam kategori ini. Sebesar 2,7% wilayah (3.028,9 ha) mengalami penurunan NDVI dan peningkatan NDBI, menandakan degradasi vegetasi akibat alih fungsi lahan ke penggunaan yang lebih intensif seperti pemukiman atau pertambangan. Kuadran Q4 dengan magnitude sedang hingga tinggi (M3–M4) mendominasi, dan kasus degradasi ekstrem terjadi pada transisi dari hutan primer ke lahan terbuka atau semak.

Wilayah yang menunjukkan indikasi urbanisasi mencakup 6,6% area (7.462,5 ha), ditandai dengan penurunan NDVI dan kenaikan NDBI, yang umumnya berada di Q4. Perubahan dari vegetasi rendah (semak atau pertanian) menjadi permukiman, lahan terbuka, atau fasilitas umum menandai pertumbuhan wilayah terbangun yang terjadi secara sporadis namun konsisten, terutama di pusat desa, kawasan transmigrasi, dan sekitar jalur akses utama. Sebanyak 11,5% wilayah (12.976,8 ha) tergolong dalam perubahan kompleks yang tidak sepenuhnya bisa diklasifikasikan secara pasti. Perubahan dalam kategori ini bisa melibatkan faktor musiman, fluktuasi sementara, atau klasifikasi ambigu, seperti perubahan antara dua jenis hutan atau dari permukiman ke badan air. Keberadaan kategori ini menunjukkan bahwa tidak semua perubahan dapat diinterpretasi secara linear atau tunggal.

Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis perubahan tutupan lahan di Kabupaten Bengkulu Tengah periode 2008–2024 dengan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) dan *Change*

Vector Analysis (CVA) berbasis NDVI dan NDBI. Hasil menunjukkan peningkatan luasan perkebunan dan semak belukar, serta penurunan hutan lahan kering primer dan sawah. Analisis CVA mengungkap bahwa 56,2% wilayah tergolong stabil, 23,1% mengalami rehabilitasi vegetasi, 6,6% perkembangan kawasan terbangun, dan 2,7% degradasi vegetasi. Perubahan ini dipengaruhi oleh tekanan antropogenik, seperti pertumbuhan penduduk dan ekspansi perkebunan, serta faktor alami. Integrasi MLC dan CVA efektif dalam memantau dinamika spasial-temporal, dan hasilnya dapat mendukung perencanaan tata ruang yang berkelanjutan..

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan yang telah ikut serta membantu dalam penelitian ini.

Referensi

- Abbas, T., Shoaib, M., Albano, R., Baig, M., Ali, I., Farid, H., & Ali, M. (2025). Artificial-Intelligence-Based Investigation on Land Use and Land Cover (LULC) Changes in Response to Population Growth in South Punjab, Pakistan. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land14010154>.
- Aniah, P., Millar, K., & Akongbangre, J. (2025). Dynamics and Perceived Drivers of Land Use and Cover Change in the Kassena-Nankana West District of Ghana. *Environmental Development*. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101154>
- Austin, K. G., Schwantes, A., Gu, Y., & Kasibhatla, P. S. (2017). What causes deforestation in Indonesia? *Environmental Research Letters*, 12(4), 044010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6512>.
- Choukiker, S. (2021). A Literature Review on Land Use Land Cover Changes Detection using Remote Sensing and GIS. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9, 725-735. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2021.33349>

- Feng, H., Wang, S., Zou, B., Nie, Y., Ye, S., Ding, Y., & Zhu, S. (2022). Land use and cover change (LUCC) impacts on Earth's eco-environments: research progress and prospects. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.09.054>
- Gandharum, L. W., Handayani, W., & Setiawan, B. (2024). Urban expansion and land use change in peri-urban Indonesia. *Jurnal Tata Ruang*, 9(1), 55–70. <https://doi.org/10.7454/jtr.v9i1.3211>
- Hakim, A., Ridwansyah, I., & Sencaki, D. (2024). Correlation between population growth and land use change: a study in the catchment area of Singkarak Lake, West Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1436. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1436/1/012015>.
- Hariato, R., Suyanto, A., & Fitriani, D. (2022). Konversi hutan dan perubahan penggunaan lahan di daerah aliran sungai tropis. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 11(1), 23–34. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2022.11.1.23>.
- Juniyanti, L., Saputra, D., & Rahmi, H. (2020). Perubahan tutupan lahan di kawasan deforestasi Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 17–28. <https://doi.org/10.14710/jil.18.1.17-28>
- Karimov, Y., Musaev, I., Mirzababayeva, S., Abobakirova, Z., Umarov, S., & Mirzaeva, Z. (2023). Land use and land cover change dynamics of Uzbekistan: a review. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342103007>
- Liu, H., Gong, P., Wang, J., Clinton, N., Bai, Y., & Liang, S. (2019). Annual dynamics of global land cover and its long-term changes from 1982 to 2015. *Earth System Science Data*. <https://doi.org/10.5194/ESSD-12-1217-2020>.
- Mahmud, M., & Kurniawan, A. (2025). Analisis spasial bencana banjir di Provinsi Bengkulu. *Jurnal Bencana dan Mitigasi*, 12(1), 21–33. <https://doi.org/10.24843/jbm.2025.v12.i1.21>.
- Maja, M., & Ayano, S. (2021). The Impact of Population Growth on Natural Resources and Farmers' Capacity to Adapt to Climate Change in Low-Income Countries. *Earth Systems and Environment*, 5, 271 - 283. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00209-6>.
- Marques, A., Martins, I., Kastner, T., Plutzer, C., Theurl, M., Eisenmenger, N., Huijbregts, M., Wood, R., Stadler, K., Bruckner, M., Canelas, J., Hilbers, J., Tukker, A., Erb, K., & Pereira, H. (2019). Increasing impacts of land-use on biodiversity and carbon-sequestration driven by population and economic growth. *Nature ecology & evolution*, 3, 628 - 637. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0824-3>.
- Ogunbode, T., Oyebamiji, V., Sanni, D., Akinwale, E., & Akinluyi, F. (2025). Environmental impacts of urban growth and land use changes in tropical cities. *Frontiers in Sustainable Cities*. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1481932>.
- Roy, P., Ramachandran, R., Paul, O., Thakur, P., Ravan, S., Behera, M., Sarangi, C., & Kanawade, V. (2022). Anthropogenic Land Use and Land Cover Changes—A Review on Its Environmental Consequences and Climate Change. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50, 1615-1640. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01569-w>
- Wihardjaka, A., Fauziyah, E., & Arifin, M. (2020). Ketahanan lahan sawah tadah hujan terhadap perubahan iklim. *Jurnal Agro Ekonomi*, 38(1), 49–63. <https://doi.org/10.21082/jae.v38n1.2020.49-63>.
- Xing, H., Wang, H., Zhang, J., & Hou, D. (2023). Monitoring Land Cover Change by Leveraging a Dynamic Service-Oriented Computing Model. *Remote. Sens.*, 15, 736. <https://doi.org/10.3390/rs15030736>.
- Yasin, M., Anindita, R., & Prasetyo, A. (2025). Strategi perlindungan lahan pertanian dalam pengembangan wilayah perkotaan. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 21(1), 11–22. <https://doi.org/10.14710/pwk.v21i1.11-22>

- Zamhari, M., Putra, A. F., & Rahayu, S. (2019). Konversi lahan sawah ke penggunaan nonpertanian: Penyebab dan dampaknya. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 8(3), 123–132.
<https://doi.org/10.20961/jsep.8.3.123>.
- Zhang, X., Zhao, T., Xu, H., Liu, W., Wang, J., Chen, X., & Liu, L. (2024). GLC_FCS30D: the first global 30 m land-cover dynamics monitoring product with a fine classification system for the period from 1985 to 2022 generated using dense-time-series Landsat imagery and the continuous change-detection method. *Earth System Science Data*.
<https://doi.org/10.5194/essd-16-1353-2024>.