

Estimasi Perubahan Cadangan Karbon Menggunakan Metode Stock Difference Tahun 2014–2024 di Kawasan Gunung Lawu, Tawangmangu, Jawa Tengah

Estimates of Changes in Carbon Stocks Using the Stock Difference Method for 2014–2024 in the Mount Lawu Area, Tawangmangu, Central Java

Fifi Prasetyo¹, Wahyu Setyaningsih¹, Heri Tjahjono¹

¹Department of Geography, Universitas Negeri Semarang

Article History

Received July 2026

Revised Aug 2026

Accepted Aug 2026

Keywords

Cadangan Karbon, Gunung Lawu, Penutup Lahan

ABSTRAK

Cadangan karbon merupakan indikator penting dalam menilai kemampuan ekosistem hutan menyerap karbon dan menjaga keseimbangan iklim. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan cadangan karbon di Kecamatan Tawangmangu selama periode 2014–2024 serta keterkaitannya dengan dinamika penutupan lahan. Metode yang digunakan adalah analisis spasial berbasis citra satelit dan perhitungan stock difference untuk mengestimasi total cadangan karbon pada tiap kelas tutupan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total cadangan karbon meningkat sebesar 8,97% dalam sepuluh tahun terakhir. Peningkatan ini terutama dipengaruhi oleh keberadaan hutan tanaman dan hutan lahan kering sekunder, yang berperan sebagai penyerap karbon tertinggi. Sebaliknya, penurunan luas pada kelas pertanian lahan kering sebesar 49,09% dan hutan sekunder 42,61% menunjukkan potensi kehilangan karbon di wilayah tertentu. Hasil uji regresi juga memperlihatkan bahwa aktivitas ekonomi berpengaruh besar terhadap dinamika tutupan lahan dengan nilai $R^2 = 0,921$.

ABSTRACT

Carbon stock is a crucial indicator for assessing forest ecosystems' capacity to absorb carbon and maintain climate balance. This study aimed to analyze carbon stock changes in Tawangmangu District from 2014 to 2024 and their relationship with land cover dynamics. The research employed spatial analysis using satellite imagery and the stock difference method to estimate total carbon across land cover classes. The results revealed an increase in total carbon stock an 8.97% rise over the decade. The increase was primarily driven by forest plantations and secondary dryland forests, serving as the highest carbon sinks. In contrast, a reduction in dryland agriculture (49.09%) and secondary forest (42.61%) indicated potential carbon loss in certain areas. Simple linear regression analysis showed that economic activity had a dominant influence on land cover change ($R^2 = 0.921$).

Pendahuluan

Indonesia memiliki peranan penting dalam penyimpanan karbon global karena luasnya tutupan hutan yang mencakup hutan hujan tropis, mangrove, dan lahan gambut. Berdasarkan laporan Kementerian Kehutanan, pada tahun 2024 luas wilayah berhutan di Indonesia tercatat mencapai sekitar 95,5 juta hektare atau sekitar 51,1% dari total daratan, dengan sebagian besar sekitar 91,9% termasuk dalam kawasan hutan. Meskipun memiliki potensi besar dalam penyerapan karbon, Indonesia juga dihadapkan pada tantangan meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya karbon dioksida (CO_2), yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global (NAFTA et al., 2022).

Karbon berperan penting dalam pengendalian iklim global karena menjadi komponen utama gas rumah kaca, terutama dalam bentuk karbon dioksida (CO_2) yang berkontribusi besar terhadap peningkatan suhu bumi (Pakaya et al., 2024). Kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan alih fungsi lahan menyebabkan peningkatan kadar CO_2 di atmosfer. Indonesia menargetkan penurunan emisi sebesar 29% dengan upaya nasional dan hingga 41% dengan bantuan internasional, di mana sektor kehutanan berperan besar dalam pencapaiannya (Boer et al., 2022).

Kawasan Gunung Lawu sendiri merupakan salah satu hutan terluas di Pulau Jawa dengan luas sekitar 52.705 hektare yang dikelola oleh KPH Lawu DS, terdiri atas hutan lindung dan hutan produksi (Perda No.1 Tahun 2013). Gunung Lawu yang berada di perbatasan Jawa Tengah dan Jawa Timur mengalami perubahan penutupan lahan yang cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Di Kecamatan Tawangmangu, luas area terbangun meningkat dari 8,84% pada 2013 menjadi 12,01% pada 2021 akibat pembangunan dan pariwisata (Anissa et al., 2024). Selain itu, kebakaran hutan juga turut mempercepat perubahan lahan, seperti di Magetan yang mencapai 3.043,83 hektare dan di Ngawi sekitar 30 hektare pada tahun 2023 (Salsabella & Arrofiqoh, 2025).

Kecamatan Tawangmangu ditetapkan sebagai kawasan strategis pengembangan wilayah berdasarkan Perda Kabupaten Karanganyar Nomor 1 Tahun 2013. Pembangunan infrastruktur dan pariwisata mendorong perubahan penutupan lahan yang dapat memengaruhi cadangan karbon dan meningkatkan emisi gas rumah kaca (Nuraini Melati et al., 2019). Selama 2015–2023, tutupan hutan meningkat 17,62% dan cadangan karbon naik sekitar 19,59% (Boreel, 2024). Meskipun demikian, wilayah Tawangmangu diduga mengalami perubahan cadangan karbon akibat alih fungsi lahan, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan cadangan karbon berdasarkan penutupan lahan di kawasan Gunung Lawu secara spasial.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah, yang terletak pada koordinat $7^{\circ}37'34.47''$ – $7^{\circ}41'33.45''$ Lintang Selatan dan $111^{\circ}4'17.48''$ – $111^{\circ}11'39.69''$ Bujur Timur. Kecamatan Tawangmangu terdiri dari 10 desa, yaitu Desa Bandardawung, Desa Sepanjang, Desa Tawangmangu, Desa Kalisoro, Desa Blumbang, Desa Gondosuli, Desa Tengkluk, Desa Nglebak, Desa Karanglo, dan Desa Plumbon.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis sampel, yaitu sampel wilayah dan sampel penduduk. Sampel wilayah mencakup seluruh desa di Kecamatan Tawangmangu, sedangkan sampel penduduk berjumlah 71 kepala keluarga yang ditentukan dengan metode Stratified Proportional Random Sampling berdasarkan rumus Dixon dan B. Leach agar mewakili karakteristik tiap desa secara proporsional.

Data penelitian diperoleh melalui interpretasi citra satelit Landsat 8 dan 9 tahun 2014–2024 untuk menganalisis perubahan penutupan lahan, observasi lapangan untuk validasi hasil klasifikasi, serta wawancara dengan masyarakat dan perangkat desa guna mengetahui faktor penyebab perubahan lahan. Selain itu, digunakan data sekunder berupa peta penutupan lahan, data cadangan karbon dari Kementerian Kehutanan, dan peta rupa bumi Indonesia sebagai acuan wilayah penelitian.

Analisis dilakukan secara spasial menggunakan SIG untuk memetakan perubahan penutupan lahan. Perhitungan cadangan karbon dilakukan dengan mengalikan luas setiap tipe tutupan lahan dengan nilai faktor cadangan karbon yang telah ditetapkan dalam Laporan Nasional Forest Reference Emission Level for Deforestation and Degradation (2022) (Boer et al., 2022). Selanjutnya, hasil perhitungan dari masing-masing tipe tutupan lahan dijumlahkan untuk memperoleh total cadangan karbon per tahun. Secara umum, rumus perhitungan cadangan karbon disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Cadangan Karbon Tiap Tutupan Lahan

No.	Tutupan Lahan	Biomassa AGB per Hektar (t.d.m/ha)	Kandungan Karbon (C Ton/ha) *1 ton biomassa = 0,47 ton C	Sumber
1.	Hutan Lahan Kering Sekunder	209,78	98,6	Laporan <i>Nasional Forest Reference Emission Level for Deforestation and Degradation</i> (2022)
2.	Hutan Tanaman	161,23	75,78	
3.	Pertanian Lahan Kering	29,95	14,08	
4.	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	137,52	64,63	
5.	Belukar	128,49	60,39	
6.	Permukiman	4,61	2,17	
7.	Lahan Terbuka	5,11	2,4	
8.	Sawah	21,27	10	

Perubahan cadangan karbon pada biomassa yang dipengaruhi oleh pergeseran tutupan lahan dapat dihitung menggunakan pendekatan Stock Difference. Metode ini termasuk dalam kategori stock-based approach, yaitu pendekatan yang mengestimasi jumlah karbon tersimpan pada setiap jenis penutup lahan dengan cara membandingkan stok biomassa aktual antara periode awal dan akhir pengamatan (Direktorat Inventarisasi Dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, 2015).

$$\Delta C = (Ct2 - Ct1) / (t2 - t1)$$

Keterangan:

ΔC : perubahan stok karbon tahunan pada setiap pool (tC/tahun)

$Ct1$: stok karbon setiap pool di awal (tC)

$Ct2$: stok karbon setiap pool di akhir (tC)

Hasil dan Pembahasan

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Kecamatan Tawangmangu secara administratif berbatasan dengan Kabupaten Magetan di sebelah timur, Kecamatan Jatiyoso di selatan, Kecamatan Matesih di barat, serta Kecamatan Ngargoyoso dan Karangpandan di utara. Wilayah ini didominasi oleh hutan, lahan pertanian, dan pekarangan yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem serta konservasi sumber daya alam. Sebagian besar penduduknya bermata pencaharian di sektor pertanian dengan hasil utama berupa tanaman biofarmaka seperti jahe, kunyit, lengkuas, dan berbagai jenis sayuran. Selain itu, Tawangmangu dikenal sebagai destinasi wisata alam dengan udara sejuk dan panorama pegunungan yang indah, seperti Air Terjun Grojogan Sewu dan jalur pendakian Gunung Lawu. Potensi wisata ini turut mendorong pertumbuhan ekonomi melalui pengembangan infrastruktur dan fasilitas pariwisata yang semakin berkembang (Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar, 2024).

Interpretasi Penutupan Lahan di Kawasan Gunung Lawu Kecamatan Tawangmangu Tahun 2014, 2016, 2018, 2020, 2022, dan 2024

Data klasifikasi penutupan lahan pada penelitian ini diperoleh dari Kementerian Kehutanan dan telah divalidasi melalui survei lapangan di Kecamatan Tawangmangu. Berdasarkan survei terhadap 33 titik sampel, sebanyak 30 titik menunjukkan kesesuaian dengan hasil interpretasi klasifikasi penutupan lahan. Berdasarkan hasil uji akurasi perubahan penutupan lahan, klasifikasi yang dilakukan memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik, dengan nilai overall accuracy mencapai 90,9%. Hasil ini menunjukkan bahwa data klasifikasi penutupan lahan yang digunakan dalam penelitian dapat digunakan untuk analisis lanjutan. Berikut merupakan perhitungan uji ketelitian interpretasi tutupan lahan:

$$\text{Tingkat Kebenaran Akurasi (\%)} = 30/33 \times 100 = 90,9\%$$

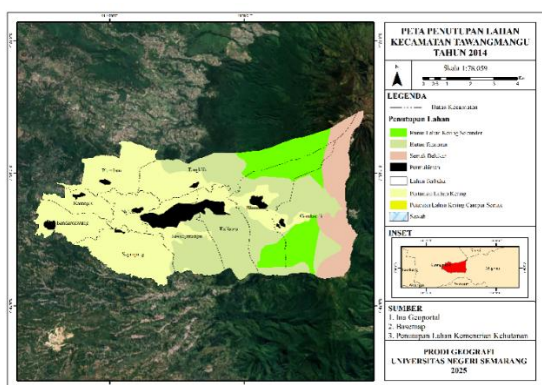
Pada tahun 2014, kelas penutupan lahan yang mendominasi di Kecamatan Tawangmangu adalah Pertanian Lahan Kering dengan luas sebesar 2.984,49 hektare, sedangkan kelas penutupan lahan dengan luas terkecil adalah Lahan Terbuka dan Sawah yang belum teridentifikasi dengan luas 0 hektare. Pada tahun 2016 dan 2018, kondisi tersebut tidak mengalami perubahan yang signifikan, di mana Pertanian Lahan Kering masih menjadi kelas penutupan lahan paling luas dengan masing-masing luas sebesar 2.944,99 hektare dan 2.776,62 hektare. Pada tahun 2020, luas Pertanian Lahan Kering

mengalami penurunan menjadi 2.559,34 hektare, sementara kelas penutupan lahan baru yaitu Pertanian Lahan Kering Campur Semak mulai muncul dengan luas 46,68 hektare dan Sawah dengan luas 94 hektare. Pada tahun 2024, kelas penutupan lahan yang mendominasi bergeser menjadi Hutan Tanaman dengan luas 1.655,89 hektare, diikuti oleh Pertanian Lahan Kering Campur Semak dengan luas 1.011,80 hektare, sedangkan Lahan Terbuka menjadi kelas penutupan lahan dengan luas paling kecil yaitu 32,98 hektare. Secara keseluruhan, periode 2014–2024 menunjukkan terjadinya penurunan pada luas hutan sekunder dan lahan pertanian, serta peningkatan pada area permukiman dan semak Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 1 di bawah ini:

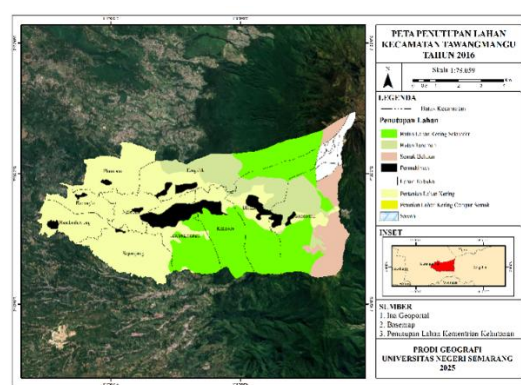
Tabel 2. Luas Penutupan Lahan Kecamatan Tawangmangu (dalam Ha)

No.	Tutupan Lahan	2014	2016	2018	2020	2022	2024
1.	Hutan Lahan Kering Sekunder	844,01	1838,89	869,83	1077,25	833,85	833,85
2.	Hutan Tanaman	1785,95	740,83	1626,43	1628,20	1656,16	1655,89
3.	Pertanian Lahan Kering	2984,49	2944,99	2776,62	2559,34	1365,72	1356,13
4.	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	0	0,5	0	46,68	1001,57	1011,80
5.	Belukar	632,24	451,97	612,77	369,83	611,33	611,33
6.	Permukiman	585,68	667,88	947,24	1151,11	1235,49	1235,49
7.	Lahan Terbuka	0	186,02	0	0	32,98	32,98
8.	Sawah	0	0	0	0	94,00	94,25
Total		6832,37	6832,37	6832,37	6832,37	6832,37	6832,37

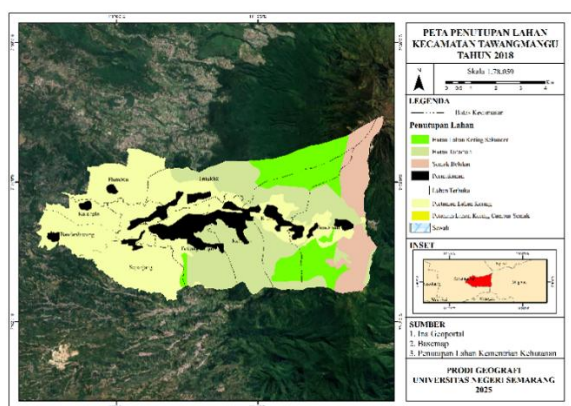
(Sumber: Hasil olah data, 2025)



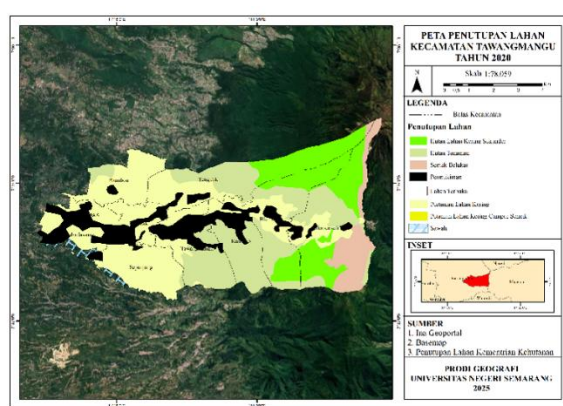
(a)



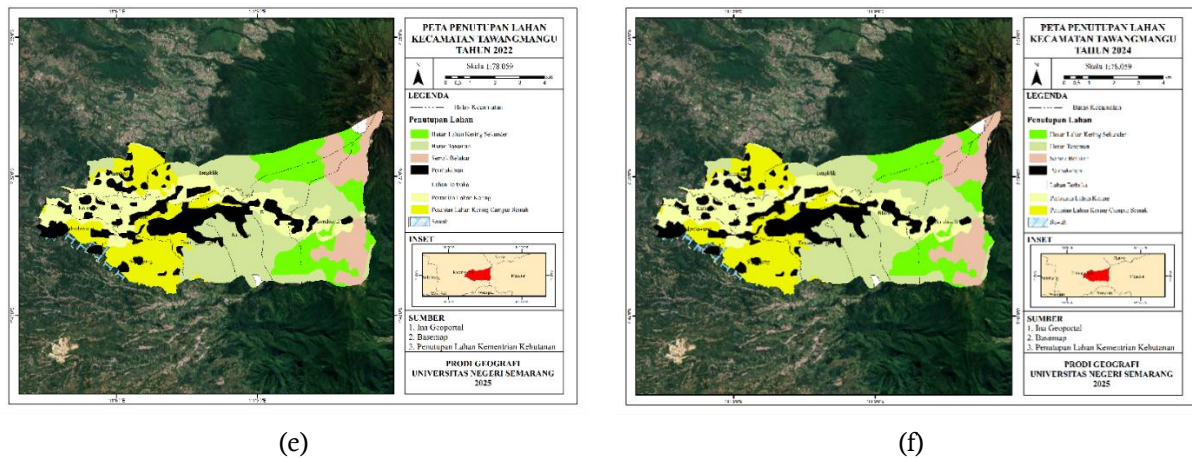
(b)



(c)



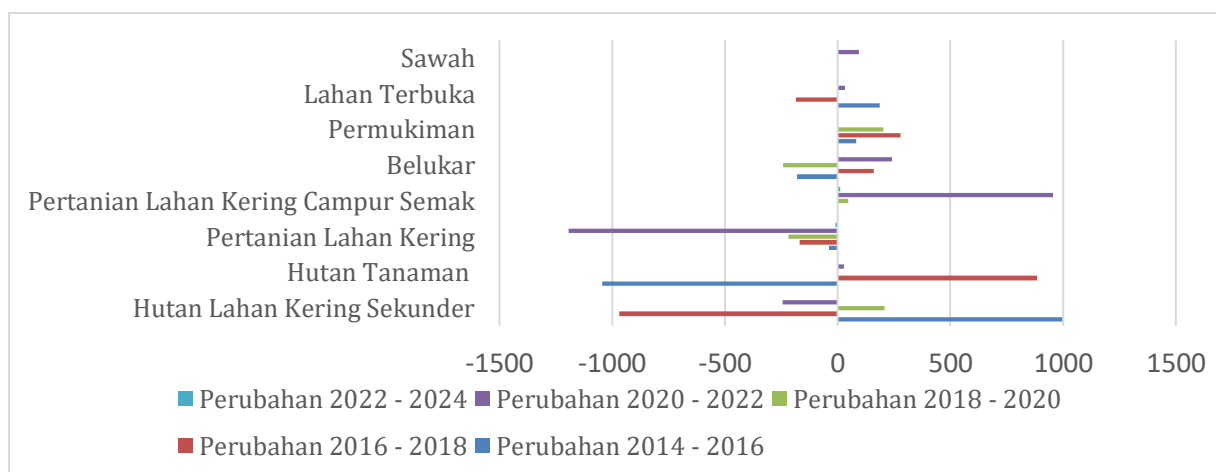
(d)



Gambar 1. (a) Tutupan Lahan Tahun 2014 (b) Tutupan Lahan Tahun 2016 (c) Tutupan Lahan Tahun 2018 (d) Tutupan Lahan Tahun 2020 (e) Tutupan Lahan Tahun 2022 (f) Tutupan Lahan Tahun 2024

Perubahan Penutupan Lahan di Kawasan Gunung Lawu Kecamatan Tawangmangu Tahun 2014 – 2024

Perubahan penutupan lahan di kawasan Gunung Lawu, Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar, selama periode 2014 hingga 2024 menunjukkan dinamika yang cukup signifikan seiring dengan perkembangan sosial ekonomi masyarakat serta pelaksanaan kebijakan pengelolaan wilayah. Variasi penutupan lahan dalam kurun waktu tersebut mencerminkan bentuk adaptasi masyarakat terhadap kebutuhan pemanfaatan sumber daya alam, disertai dengan perubahan aktivitas pada sektor pertanian, permukiman, dan konservasi. Perubahan tutupan lahan di Kecamatan Tawangmangu secara keseluruhan pada enam periode tahun dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Perubahan Luasan Tutupan Lahan Kecamatan Tawangmangu Tahun 2014-2024

Berdasarkan Gambar 3, perubahan tutupan lahan di Kecamatan Tawangmangu tahun 2014–2024 menunjukkan adanya peningkatan dan penurunan luas pada beberapa jenis tutupan lahan. Hutan Lahan Kering Sekunder mengalami peningkatan sebesar 994,88 hektare pada tahun 2014–2016, namun menurun 969,06 hektare pada 2016–2018 dan 243,4 hektare pada 2020–2022. Hutan Tanaman juga mengalami penurunan luas sebesar 1.045,12 hektare pada tahun 2014–2016, lalu meningkat 885,6 hektare pada 2016–2018. Sebaliknya, Pertanian Lahan Kering terus mengalami penurunan luas, terutama pada tahun 2020–2022 sebesar 1.193,62 hektare, sedangkan Pertanian Lahan Kering Campur Semak meningkat pesat sebesar 954,89 hektare pada periode yang sama.

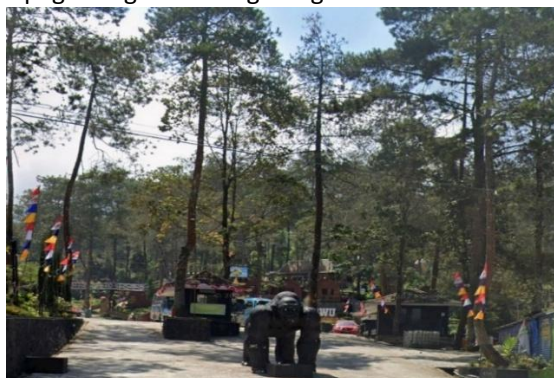
Jenis tutupan lain seperti Belukar dan Permukiman juga mengalami perubahan yang cukup mencolok. Belukar menurun 180,27 hektare pada 2014–2016 namun bertambah 241,5 hektare pada 2020–2022, sedangkan Permukiman terus meningkat hingga 203,87 hektare pada 2018–2020. Lahan Terbuka dan Sawah menunjukkan perubahan kecil, masing-masing bertambah 186,02 hektare dan 94 hektare pada periode tertentu. Secara keseluruhan, peningkatan luas lahan terjadi pada permukiman dan pertanian campur semak, sedangkan penurunan paling besar terjadi pada hutan tanaman dan pertanian lahan kering.

Pengaruh Aktivitas Masyarakat Di Kawasan Gunung Lawu Terhadap Perubahan Penutupan Lahan Di Kecamatan Tawangmangu Selama Tahun 2014 – 2024

1) Faktor Aktivitas Ekonomi

Analisis terhadap perubahan tutupan lahan di Kecamatan Tawangmangu selama periode 2014– 2024 menunjukkan bahwa faktor ekonomi menjadi pendorong utama terjadinya konversi lahan. Berdasarkan hasil wawancara dengan 71 responden, mayoritas masyarakat mengakui bahwa peningkatan aktivitas ekonomi, terutama di sektor wisata, perdagangan, dan jasa, telah mendorong perubahan penggunaan lahan secara masif. Lahan pertanian kering yang sebelumnya berfungsi sebagai area produksi pangan kini banyak dialihkan menjadi permukiman, fasilitas usaha kecil, serta sarana wisata seperti penginapan, restoran, dan kafe.

Perubahan fungsi hutan menjadi kawasan wisata di Kecamatan Tawangmangu, khususnya di lereng Gunung Lawu, menunjukkan tren meningkatnya pemanfaatan ruang alami untuk kepentingan ekonomi berbasis pariwisata. Kawasan hutan yang semula berfungsi sebagai ruang terbuka hijau dan penyangga ekosistem kini mulai dikembangkan menjadi destinasi wisata terpadu. Fenomena ini tampak pada pembangunan kawasan seperti Embun Lawu, yang mencerminkan bagaimana pertumbuhan sektor wisata menjadi faktor utama pendorong perubahan tutupan lahan di wilayah pegunungan Tawangmangu.



Gambar 3. Wisata Embun Lawu Kecamatan Tawangmangu

Berdasarkan hasil wawancara, perubahan penutupan lahan di Kecamatan Tawangmangu selama periode 2014– 2024 sangat dipengaruhi oleh faktor ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan kehadiran pendatang. Faktor ekonomi menjadi pendorong utama di mana masyarakat cenderung mengalihfungsikan lahan pertanian menjadi kawasan wisata atau komersial karena memberikan keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan pertanian tradisional. Pergeseran orientasi ini menunjukkan bahwa masyarakat kini lebih berfokus pada nilai ekonomi lahan dibandingkan fungsi ekologisnya, seiring dengan meningkatnya peluang usaha di sektor pariwisata dan jasa. Temuan ini juga memperkuat hasil kajian Azizah, 2021 yang menegaskan bahwa kawasan sepanjang jalur wisata utama Tawangmangu mengalami konversi lahan paling intensif akibat meningkatnya permintaan ruang untuk kegiatan wisata dan perdagangan.

Uji regresi linier sederhana dilakukan untuk menganalisis pengaruh variabel aktivitas wisata terhadap perubahan tutupan lahan, guna mengetahui hubungan dan tingkat keterkaitan antara kedua variabel tersebut.

Tabel 3. Metode Enter dan koefisien

Model Summary				
Mode	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.960 ^a	.921	.911	.125

a. Predictors: (Constant), Aktivitas Ekonomi					
Coefficients ^a					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
Model	B	Std. Error	Beta	t	
1 (Constant)	2.890	.179		16.136	<,001
Aktivitas Ekonomi	-.014	.001	-.960	-9.677	<,001
a. Dependent Variable: Penutupan Lahan					

Hasil analisis regresi linier sederhana yang dilakukan antara variabel aktivitas ekonomi dan perubahan tutupan lahan menunjukkan bahwa model statistik yang digunakan mampu menjelaskan variasi data dengan sangat baik. Nilai R Square sebesar 0,921 mengindikasikan bahwa sekitar 92,1% perubahan tutupan lahan dapat dijelaskan oleh aktivitas ekonomi, sehingga model ini memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam menggambarkan hubungan antara kedua variabel tersebut.

Nilai koefisien regresi (B) sebesar -0,014 dengan tingkat signifikansi di bawah 0,001 menunjukkan adanya hubungan negatif yang kuat antara aktivitas ekonomi dan luas tutupan lahan. Artinya, setiap peningkatan satu satuan aktivitas ekonomi akan berpengaruh terhadap penurunan luas tutupan lahan sebesar 0,014 hektar. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan intensitas kegiatan ekonomi, seperti pembangunan infrastruktur, usaha wisata, maupun ekspansi komersial, berkontribusi langsung terhadap berkurangnya area lahan tertutup vegetasi di wilayah penelitian.

2) Faktor Penduduk

Perubahan penutupan lahan di Kecamatan Tawangmangu selama periode 2014–2024 sangat dipengaruhi oleh dinamika sosial dan ekonomi masyarakat, terutama faktor pertumbuhan penduduk, aktivitas ekonomi, dan kehadiran pendatang. Peningkatan jumlah penduduk mendorong meningkatnya kebutuhan ruang untuk permukiman dan fasilitas penunjang kehidupan. Kondisi ini menyebabkan terjadinya peralihan fungsi lahan, terutama dari lahan pertanian dan perkebunan menjadi kawasan hunian. Proses konversi tersebut berlangsung secara bertahap dan cenderung meningkat di wilayah dengan akses strategis terhadap pusat wisata dan jaringan transportasi yang berkembang. Fenomena ini memperlihatkan keterkaitan antara tekanan demografis dan perluasan ruang terbangun, di mana pertumbuhan penduduk berperan sebagai katalis utama dalam perubahan struktur tata guna lahan.



Gambar 4. Perubahan Lahan Pertanian Menjadi Bangunan Tempat Tinggal

Selain itu, kehadiran pendatang yang menetap, berinvestasi, dan membuka usaha baru turut mempercepat perubahan tata guna lahan. Aktivitas pembangunan tempat tinggal, usaha wisata, serta fasilitas pendukung lainnya mendorong meningkatnya kebutuhan lahan non-pertanian. Temuan ini juga sejalan dengan hasil penelitian Azizah (2021) yang menjelaskan bahwa penambahan penduduk mendorong perubahan lahan secara bertahap di daerah dengan akses wisata yang berkembang, serta penelitian Naftali et al., 2024 yang menunjukkan bahwa dominasi penduduk usia produktif meningkatkan permintaan hunian dan fasilitas penunjang kehidupan.

Analisis regresi linier sederhana dilakukan untuk menguji hubungan antara variabel faktor penduduk dengan perubahan penutupan lahan, dengan tujuan mengetahui sejauh mana pengaruh faktor penduduk terhadap terjadinya perubahan penggunaan lahan di wilayah penelitian.

Tabel 4. Metode Enter dan koefisien

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.748 ^a	.560	.505	.297

a. Predictors: (Constant), Faktor Penduduk

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Beta		
1	(Constant)	.462		1.852	.101
	Faktor Penduduk	-.004	-.748	-3.191	.013

a. Dependent Variable: Penutupan Lahan

Hasil analisis regresi linier sederhana antara variabel faktor penduduk dan perubahan penutupan lahan menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dengan arah hubungan negatif. Nilai R Square sebesar 0,560 menandakan bahwa sekitar 56% variasi perubahan penutupan lahan dapat dijelaskan oleh perubahan jumlah penduduk.

Selain itu, nilai koefisien regresi (B) sebesar -0,004 dengan tingkat signifikansi 0,013 mengindikasikan bahwa peningkatan faktor penduduk berpotensi menurunkan luas penutupan lahan sebesar 0,004 hektar untuk setiap satuan kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah penduduk berkorelasi dengan meningkatnya tekanan terhadap lahan, terutama melalui konversi lahan produktif menjadi area permukiman dan fasilitas pendukung aktivitas masyarakat.

Analisis Cadangan Karbon di Kawasan Gunung Lawu Kecamatan Tawangmangu Tahun 2014 – 2024

Analisis cadangan karbon ini bertujuan untuk memperkirakan jumlah cadangan karbon di Kecamatan Tawangmangu berdasarkan perubahan jenis tutupan lahan selama tahun 2014–2024. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan luas tiap jenis tutupan lahan dengan nilai faktor cadangan karbon di atas permukaan tanah yang mengacu pada Laporan Nasional Forest Reference Emission Level for Deforestation and Degradation (2022). Hasil estimasi total cadangan karbon Kecamatan Tawangmangu tahun 2014–2024 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Cadangan Karbon Kecamatan Tawangmangu (dalam C Ton/Ha)

No.	Tutupan Lahan	2014	2016	2018	2020	2022	2024
1.	Hutan Lahan Kering Sekunder	83.219,39	181.314,55	85.765,24	106.216,85	82.217,61	82.217,61
2.	Hutan Tanaman	135.339,29	56.140,10	123.250,87	123.385,00	125.503,80	125.483,34
3.	Pertanian Lahan Kering	42.021,62	41.465,46	39.094,81	36.035,51	19.229,34	19.094,31
4.	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	0,00	32,32	0,00	3.016,93	64.731,47	65.392,63
5.	Belukar	38.180,97	27.294,47	37.005,18	22.334,03	36.918,22	36.918,22
6.	Permukiman	1.270,93	1.449,30	2.055,51	2.497,91	2.681,01	2.681,01
7.	Lahan Terbuka	0,00	446,45	0,00	0,00	79,15	79,15
8.	Sawah	0,00	0,00	0,00	0,00	940,00	942,50
	Total	300.032,20	308.142,64	287.171,60	293.486,22	332.300,61	332.808,78

Estimasi Perubahan Cadangan Karbon di Kawasan Gunung Lawu Kecamatan Tawangmangu Tahun 2014 – 2024

Perhitungan estimasi perubahan cadangan karbon akibat dinamika tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan metode stock difference. Adapun hasil analisis cadangan karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan di Kecamatan Tawangmangu pada periode 2014–2024 disajikan pada Tabel 4.

Proses perhitungan estimasi cadangan karbon untuk periode tersebut dijelaskan sebagai berikut:

$$\Delta C = (322.808,78 - 300.032,20) / 10 = 22.776,58 / 10 = 2.277,66 \text{ ton C}$$

Selama periode 2014–2024, cadangan karbon di Kecamatan Tawangmangu mengalami dinamika yang cukup

berfluktuasi. Pada awal periode 2014–2016 terjadi peningkatan sebesar 8.110,44 ton, kemudian menurun tajam pada 2016–2018 sebesar 20.971,04 ton. Selanjutnya, pada 2018–2020 cadangan karbon kembali meningkat sebanyak 6.314,62 ton, disusul kenaikan yang cukup signifikan pada 2020–2022 sebesar 37.438,98 ton, sebelum akhirnya menurun lagi pada 2022–2024 sebesar 4.004,11 ton .

Kelas tutupan lahan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total cadangan karbon adalah Hutan Tanaman, Hutan Lahan Kering Sekunder, dan Pertanian Lahan Kering Campur Semak. Dua kelas hutan tersebut secara konsisten menjadi penyimpan karbon terbesar di wilayah Tawangmangu. Hutan Tanaman menunjukkan kestabilan cadangan karbon yang tinggi, sementara Hutan Lahan Kering Sekunder sempat mencapai puncak tertinggi pada tahun 2016. Sebaliknya, kelas Pertanian Lahan Kering dan Belukar memberikan kontribusi yang lebih kecil terhadap total cadangan karbon.

Secara keseluruhan, total cadangan karbon meningkat dari 297.490,34 ton pada tahun 2014 menjadi 327.288,45 ton pada tahun 2024, atau terjadi kenaikan sebesar 8,97%. Peningkatan ini menunjukkan adanya pergeseran penggunaan lahan menuju kelas penutup yang memiliki potensi serapan karbon lebih tinggi, dipengaruhi oleh proses suksesi alami, rehabilitasi vegetasi, serta penambahan stok karbon pada lahan pertanian campuran dan kawasan permukiman vegetatif. Kombinasi antara tanaman semusim dan vegetasi semak juga berperan penting dalam peningkatan cadangan karbon karena semak memiliki biomassa dan sistem perakaran yang lebih dalam sehingga mampu menyimpan karbon lebih besar.

Penelitian oleh Dharmawan et al., 2023 komposisi vegetasi serta cadangan karbon pada ekosistem semak tua di wilayah Sumatra. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komunitas semak tua memiliki rata-rata stok karbon sebesar 36,6 Mg C/ha atau sekitar 36,6 ton per hektar, yang mencerminkan kapasitas signifikan dalam menyimpan karbon meskipun termasuk dalam kategori vegetasi sekunder. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh penelitian Kurniawati, 2021 yang mencatat peningkatan cadangan karbon sebesar 4,35% dari 283.433,5 ton menjadi 296.323,5 ton, dipengaruhi oleh bertambahnya permukiman dengan tutupan vegetasi hijau. Meskipun terjadi penurunan pada luas Hutan Tanaman, peningkatan area hijau di kawasan permukiman mampu mengimbangi kehilangan tersebut.

Kesimpulan

Selama periode 2014–2024, Kecamatan Tawangmangu mengalami dinamika perubahan penutupan lahan yang cukup signifikan, ditandai dengan menurunnya luas hutan lahan kering sekunder, pertanian lahan kering, dan hutan tanaman, sementara area belukar dan permukiman mengalami peningkatan tajam. Perubahan ini mencerminkan adanya tekanan penggunaan lahan akibat aktivitas ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang terus meningkat. Hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut memiliki pengaruh negatif yang signifikan terhadap penutupan lahan, di mana aktivitas ekonomi memberikan kontribusi paling besar terhadap variasi perubahan dibanding faktor penduduk. Secara ekologis, perubahan tersebut berdampak pada dinamika cadangan karbon, dengan total cadangan meningkat dari 297.490,34 ton pada tahun 2014 menjadi 327.288,45 ton pada tahun 2024. Peningkatan ini terutama berasal dari kelas penutupan lahan berupa hutan tanaman, hutan lahan kering sekunder, dan pertanian lahan kering campur semak yang masih berperan penting dalam penyimpanan karbon di wilayah tersebut.

Daftar Pustaka

- Anissa, A. C., Rini, E. F., & Soedwihajono, S. (2024). Analisis Perbandingan Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Di Kecamatan Tawangmangu. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 19(1), 184. <https://doi.org/10.20961/Region.V19i1.66929>
- Azizah, O. R. (2021). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Di Kecamatan Tawangmangu Kabupaten Karanganyar Tahun 2010 Dan 2020.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar. (2024). Kecamatan Tawangmangu Dalam Angka 2024.
- Boer, R., Anwar, S., Arunarwati Margono Lead Authors Budiharto, B., Krisnawati, H., Manuri, S., Purwanto, J., Asaad, I., Gunawan Authors Teddy Rusolono, W., Darmawan, A., Novita, N., Tosiani, A., Silva, N., Catur Adinugroho, W., Marthinus, D., Wayan Susi Dharmawan, I., Zamzani, F., Wibowo, H., Djuariah, R., Dhora Carolyn, R., ... Saepulloh, A. (2022). National Forest Reference Level For Deforestation, Forest Degradation, And Enhancement Of Forest Carbon Stock.
- Dharmawan, I. W. S., Heriyanto, N. M., Setyawati, T., Wardani, M., Susilo, A., Garsetiasih, R., Sawitri, R., Denny, Yuskianti, V., Karlina, E., Takandjandji, M., Kwatrina, R. T., & Zuraida. (2023). The Vegetation Composition And Carbon Stock Of Old Shrub Typology To Support The Rehabilitation Program In Sumatra And Kalimantan Islands, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/Su15021389>
- Direktorat Inventarisasi Dan Pemantauan Sumber Daya Hutan. (2015). Buku Kegiatan Serapan Dan Emisi Karbon. Kabupaten Karanganyar. 2013. Peraturan Daerah No.1 Tahun 2013. Pemerintah Kabupaten Karanganyar : Karanganyar
- Kurniawati, U. F. (2021). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Besaran Stok Karbon Di Kota Surabaya. *Jurnal Penataan Ruang*, 16(1), 54. <https://doi.org/10.12962/J2716179x.V16i1.8951>

- Naftali, A., Kusumawardhana, S., Marwanti, R., & Kunto, A. (2024). Analisis Usahatani Bawang Merah (*Allium Cepa*) Di Kecamatan Tawangmangu Kabupaten Karanganyar. *Agrista*, 12(2), 28–38.
- Nuraini Melati, D., Teknologi Reduksi Risiko Bencana, P., Tpsa -Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Gedung Geostech, K., Puspipstek Serpong, K., & Selatan, T. (2019). Carbon Emission Estimation Due To Land Cover Change In The Tropical Forest Landscape In Jambi Province. In *Jurnal Sains Dan Teknologi Mitigasi Bencana* (Vol. 14, Issue 1).
- Pakaya, P., Lihawa, F., Wahyuni, D., Baderan, K., Kependudukan, F. P., & Hidup, L. (2024). Efektivitas Ruang Terbuka Hijau Publik Dalam Menyerap Emisi Karbon Dioksida Untuk Mendukung Keberlanjutan Lingkungan Perkotaan. *Jend. Sudirman*, 1(6), 96128. <https://doi.org/10.62951/Hidroponik.V1i3.199>
- Tian, L., Tao, Y., Fu, W., Li, T., Ren, F., & Li, M. (2022). Dynamic Simulation Of Land Use/Cover Change And Assessment Of Forest Ecosystem Carbon Storage Under Climate Change Scenarios In Guangdong Province, China. *Remote Sensing*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/rs14102330>