

ANALISIS STOK KARBON DI WILAYAH KECAMATAN NANGGUNG BERBASIS WEBGIS

Bambang Dwi Pamungkas, Budi Susetyo, Fety Fatimah

Teknik Informatika, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. Sholeh Iskandar No.Km.02, RT.01/RW.010, Kedungbadak,
Kec. Tanah Sereal, Kota Bogor, Jawa Barat 16162, Indonesia
bambangdwipamungkas14@gmail.com

ABSTRAK

Pemanasan global yang dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca menjadikan peran hutan sebagai penyerap karbon semakin penting. Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, merupakan wilayah dengan potensi cadangan karbon yang tinggi namun menghadapi tekanan lingkungan akibat alih fungsi lahan dan aktivitas pertambangan. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah belum tersedianya informasi spasial yang akurat mengenai besaran stok karbon di setiap desa serta media visualisasi yang mudah diakses oleh masyarakat dan pemangku kepentingan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menghitung stok karbon berdasarkan tutupan lahan menggunakan metode penginderaan jauh, serta menyajikannya dalam bentuk WebGIS. Metode yang digunakan meliputi klasifikasi tutupan lahan dengan pendekatan unsupervised classification terhadap citra satelit tahun 2024, perhitungan biomassa dan stok karbon dengan asumsi 45% biomassa merupakan karbon, serta pengolahan data spasial menggunakan ArcGIS dan QGIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Desa Malasari memiliki stok karbon tertinggi sebesar 495.736 ton, sedangkan stok karbon terendah terdapat di Desa Batu Tulis sebesar 13.679 ton. Informasi stok karbon tersebut berhasil divisualisasikan dalam WebGIS yang menampilkan peta sebaran karbon dan grafik pendukung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan kebijakan lingkungan, mendukung mitigasi perubahan iklim, serta menjadi referensi dalam pengembangan perdagangan karbon di tingkat lokal.

Kata kunci : *Cadangan Karbon, Unsupervised Classification, Tutupan Lahan, Perdagangan Karbon, Kecamatan Nanggung, WebGIS.*

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global yang dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca menjadi tantangan lingkungan yang semakin serius. Hutan memiliki peran strategis sebagai penyerap karbon melalui proses fotosintesis, sehingga mampu mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi cadangan karbon yang besar, terutama pada ekosistem hutan. Namun, tekanan terhadap hutan akibat alih fungsi lahan, pertambangan, dan aktivitas manusia lainnya berpotensi menurunkan kemampuan ekosistem dalam menyimpan karbon [1].

Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, merupakan wilayah dengan keanekaragaman tutupan lahan yang tinggi dan berfungsi sebagai daerah penyangga lingkungan. Di sisi lain, wilayah ini juga menghadapi permasalahan degradasi lahan akibat penambangan liar, konversi perkebunan, serta kerusakan lingkungan yang memicu longsor dan banjir. Oleh karena itu, diperlukan informasi spasial yang akurat mengenai stok karbon sebagai dasar dalam pengelolaan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim.

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah belum tersedianya data stok karbon yang terintegrasi secara spasial di Kecamatan Nanggung. Selain itu, pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk memetakan serta menyajikan informasi stok karbon dalam bentuk yang mudah diakses masih terbatas. Dengan menganalisis stok karbon, saya ingin mengetahui seberapa besar

stok karbon yang ada di kecamatan nanggung dalam menyimpan karbon [2]. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan stok karbon adalah teknik penginderaan jauh. Teknik ini dinilai lebih unggul dari segi efisiensi biaya dan waktu, serta dapat diterapkan pada wilayah hutan yang luas dan memiliki variasi bentang alam yang beragam. Hingga saat ini, estimasi stok karbon biasanya dilakukan berdasarkan estimasi biomassa, dengan asumsi bahwa 45% dari biomassa merupakan karbon [3].

Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan metode klasifikasi tanpa pengawasan (*unsupervised classification*). Secara umum, teknik ini digunakan untuk mengelompokkan data hasil penginderaan jauh ke dalam beberapa kluster statistik dalam ruang data multispektral dan *hiperspektral*. Tutupan lahan yang diklasifikasikan dalam penelitian ini mencakup kategori seperti hutan rapat, hutan sedang, hutan rendah, dan semak belukar [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stok karbon berdasarkan tutupan lahan di Kecamatan Nanggung menggunakan metode klasifikasi tanpa pengawasan (*unsupervised classification*). Selain itu, penelitian ini bertujuan menyajikan hasil analisis stok karbon dalam bentuk WebGIS guna memudahkan visualisasi, akses informasi, dan pemanfaatan data bagi masyarakat serta pemangku kepentingan. Salah satu bentuk pemanfaatan data karbon adalah untuk mendukung mekanisme perdagangan karbon (*carbon trading*), yang merupakan salah satu pendekatan

berbasis pasar dalam upaya mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) secara global. Dalam perdagangan karbon, yang diperjual belikan adalah sertifikat kredit karbon, yang menunjukkan adanya upaya penurunan emisi Gas Rumah Kaca melalui proyek-proyek atau kegiatan tertentu [5].

Pada peraturan OJK (Otoritas Jasa Keuangan) No. 14 Tahun 2023 tentang Perdagangan Karbon melalui Bursa Karbon, sebagai bentuk regulasi terbaru yang mengatur mekanisme ini. Diharapkan, perdagangan karbon dapat berkontribusi dalam pengurangan emisi Gas Rumah Kaca serta mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) [6].

Dengan demikian, Penyelesaian permasalahan dilakukan melalui analisis citra satelit dengan metode penginderaan jauh untuk mengklasifikasikan tutupan lahan. Estimasi biomassa dan stok karbon dihitung berdasarkan asumsi proporsi karbon dalam biomassa. Selanjutnya, data spasial yang dihasilkan diolah dan divisualisasikan menggunakan perangkat lunak sistem informasi geografis dalam bentuk WebGIS. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan informasi stok karbon yang akurat, informatif, dan mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan serta mitigasi perubahan iklim di tingkat local. Perhitungan cadangan karbon di wilayah Kecamatan Nanggung menjadi penting sebagai dasar dalam upaya perlindungan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai cadangan karbon di wilayah kecamatan nanggung. Data ini tidak hanya bermanfaat dalam konteks akademik, tetapi juga penting sebagai dasar dalam perencanaan dan implementasi kebijakan lingkungan yang lebih baik di tingkat lokal [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut, melakukan analisis spasial potensi hutan rakyat di Kabupaten Bogor dengan pendekatan interpretasi citra satelit dan survei lapangan. Penelitian ini menekankan pentingnya analisis spasial dalam mendukung perencanaan pengelolaan hutan dan konservasi lingkungan berbasis wilayah (Safe'i dan Sukmara). dapat disimpulkan bahwa pendekatan penginderaan jauh dan SIG merupakan metode yang relevan dan efektif dalam analisis stok karbon. Namun, integrasi hasil analisis stok karbon ke dalam media visualisasi berbasis WebGIS pada skala kecamatan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis stok karbon berdasarkan tutupan lahan menggunakan metode unsupervised classification serta penyajiannya dalam bentuk WebGIS di Kecamatan Nanggung sebagai upaya pengembangan informasi spasial lingkungan yang lebih aplikatif.

2.1. Karbon dan Biomassa

karbon adalah kandungan karbon *absolute* dalam biomassa (tumbuhan) pada waktu tertentu. Biomassa juga salah satu sumber daya hayati yang bisa di rubah menjadi sumber energi yang dapat diperbaharui. Biomassa terbentuk dari energi matahari yang telah ditransformasi menjadi energi kimia oleh tumbuhan hijau melalui *fotosintesis*, karena itu biomassa lebih identik dari tumbuhan daripada dari hewan [8].

2.2. Penginderaan Jauh

Lillesand dan Kiefer menjelaskan pengertian penginderaan jauh adalah ilmu dan seni yang dipergunakan untuk memperoleh informasi tentang suatu objek atau fenomena dengan alat, tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena tersebut. Alat yang dimaksud adalah alat pengindera atau sensor yang dipasang pada wahana, biasanya berupa balon udara, pesawat terbang, pesawat ulang alik, atau satelit. Sedangkan Lindgren dalam Sutanto penginderaan jauh didefinisikan sebagai suatu teknik yang dikembangkan untuk memperoleh dan melakukan analisis tentang informasi bumi, informasi tersebut khusus berbentuk radiasi *elektromagnetik* yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi [9].

2.3. Tutupan Lahan

Tutupan Lahan merupakan manifestasi secara fisik (visual) dari vegetasi, benda alam dan sensor budaya di permukaan bumi tanpa dilihat dari fungsi benda tersebut. Penutupan lahan dapat diartikan tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati dan merupakan hasil pengaturan, aktivitas dan perilaku manusia yang dilakukan pada tutupan lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perawatan maupun perubahan pada areal tersebut dan di area tersebut ada 4 tutupan lahan (*land cover*) yaitu Hutan rapat, Hutan sedang, Hutan rendah, Semak belukar [10].

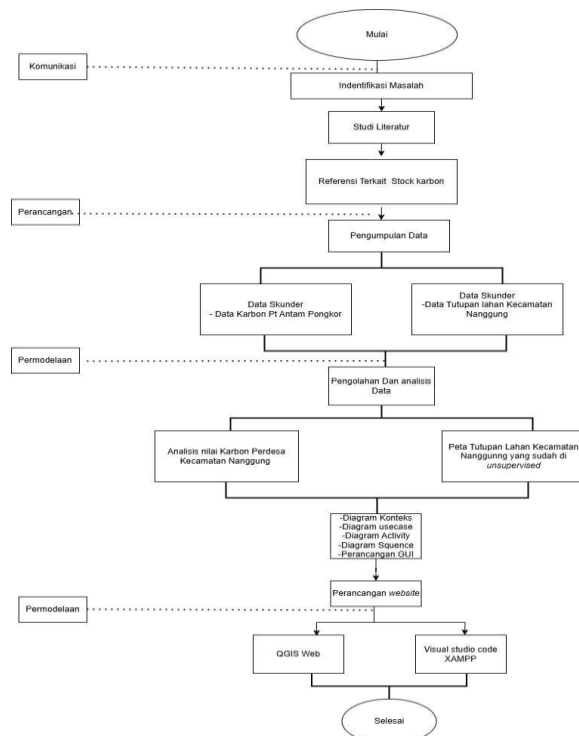
2.4. Unified Modelling Language (UML)

UML merupakan salah satu standar bahasa yang banyak digunakan di dunia industri untuk mendefinisikan requirement, membuat analisis & desain, serta menggambarkan arsitektur dalam pemrograman berorientasi objek. UML muncul karena adanya kebutuhan pemodelan visual untuk menspesifikasikan, menggambarkan, membangun, dan mendokumentasikan sistem perangkat lunak [11].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Data yang digunakan meliputi citra satelit tahun 2024, data batas administrasi kecamatan, dan data referensi karbon dari studi terdahulu. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan QGIS. Serta lokasi analisis penelitian ini dilakukan di lab

Geospatial Information Technology Universitas Ibn Khaldun Bogor.



Gambar 1. Diagram Alir

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, praproses citra, klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *unsupervised classification*,

perhitungan luas masing-masing kelas tutupan lahan, serta estimasi stok karbon berdasarkan nilai biomassa dan faktor konversi karbon. Hasil perhitungan selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk WebGIS. Terdapat beberapa tahapan dan proses pada setiap penelitian ini dibuat, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

3.1. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pencarian data. Data yang diperlukan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan langsung dari sumber aslinya. Sementara data sekunder merupakan data yang sudah ada dan telah dikumpulkan oleh pihak lain atau dari sumber lain. Berikut data yang diperlukan dalam penelitian seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Data

Data	Keterangan
Area Plot PT. Antam	Lampiran A
Shp Kecamatan Nanggung	Lampiran B
Tutupan Lahan (<i>Land Cover</i>)	Lampiran C

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut Adalah hasil dan pembahasan pada penelitian ini sebagai berikut:

4.1. Pehitungan Sample Plot Area

Selanjutnya dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan metode plot sampling untuk perhitungan Biomassa, Stok karbon dan potensi karbon Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Area (ha)

No	Desa	Luas area	Luas area (ha)			
			Hutan Rapat	Hutan sedang	Hutan Rendah	Semak belukar
1	Malasari	6166	4.532	1.330	201	98,90
2	Bantarkaret	3731	2.151	1.045	387	143,82
3	Cisarua	1861	441	1.095	256	70,42
4	Curugbitung	1110	322	437	232	118,23
5	Nanggung	698	1,85	481	182	32,59
6	Sukaluyu	470	119	212	137	0
7	Kalong Liud	420	0	265	154	0,30
8	Parakan Muncang	381	1,844	298	48	11,22
9	Pangkal Jaya	338	162	123	81	0
10	Hambaro	317	0,174	156	162	0,22
11	Batu Tulis	292	0	202	89	0,06
	Total Luas Area	15.787	7.583	5.730	2.009	465

Sumber: Jurnal ailansyaufina Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Perhitungan Luasan Area ini menggunakan perhitungan *Calculate Geometry* yang otomatis menggunakan *Arcgis* agar lebih mudah menghitung luasan area yang ada di wilayah kecamatan nanggung. Tabel 4.2 menyajikan data luas area tutupan lahan berdasarkan jenis tutupan (hutan rapat, hutan sedang, hutan rendah, dan semak belukar) di 11 desa dalam suatu wilayah, dengan total luas area keseluruhan mencapai 15.787 hektar. Desa Malasari memiliki luas

area terbesar, yaitu 6.166 ha, dan didominasi oleh hutan rapat seluas 4.532 ha. Sebaliknya, desa dengan luas area terkecil adalah Batu Tulis dengan 292 ha. Total luas hutan rapat di seluruh desa mencapai 7.583 ha, hutan sedang 5.730 ha, hutan rendah 2.009 ha, dan semak belukar 465 ha. Data ini memberikan gambaran distribusi vegetasi yang penting untuk analisis stok karbon dan perencanaan konservasi wilayah.

Tabel 3. Biomassa

No	Desa	Luas area	Biomass (Ton)				jumlah
			Hutan Rapat	Hutan sedang	Hutan Rendah	Semak belukar	
1	Malasari	6.166	829.300	135.793	13.849	197,80	985.306
2	Bantarkaret	3.731	393.592	106.720	26.690	287,65	531.021
3	Cisarua	1.861	80.668	111.772	17.620	140,84	212.062
4	Curugbitung	1.110	58.880	44.576	15.956	236,46	120.758
5	Nanggung	698	340	49.068	12.562	65,18	62.734
6	Sukaluyu	470	21.820	21.597	9.450	0	53.338
7	Kalong Liud	420	0	27.048	10.586	0,60	38.054
8	Parakan Muncang	381	338	30.472	3.341	22,45	34.555
9	Pangkal Jaya	338	29.716	12.528	5.571	0	48.153
10	Hambaro	317	32	15.897	11.139	0,43	27.385
11	Batu Tulis	292	0	20.617	6.156	0,12	27.066

Sumber: Jurnal ailiansyaufina Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Dari Perhitungan biomassa adalah proses mengukur atau memperkirakan total massa organisme hidup di suatu area atau volume tertentu. Biomassa

sering digunakan dalam ekologi, lingkungan, dan ilmu pertanian untuk berbagai tujuan seperti penilaian ekosistem, dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4. Stok Karbon

Desa	Luas area	Stok Karbon (Ton)				Jumlah
		Hutan Rapat	Hutan sedang	Hutan Rendah	Semak Belukar	
Malasari	6.166	414.650	678.948.597	69.289.964	98,90	495.736
Bantarkaret	3.731	196.796	53.360	13.345	143,82	267.376
Cisarua	1.861	40.334	55.886	8.810	70,42	106.962
Curugbitung	1.110	29.440	22.288	7.978	118,23	60.934
Nanggung	698	170	24.534	6.281	32,59	31.716
Sukaluyu	470	10.910	10.799	4.725	0	26.904
Kalong Liud	420	0	13.524	5.293	0,30	19.237
Parakan Muncang	381	169	15.236	1.671	11,22	17.468
Pangkal Jaya	338	14.858	6.264	2.785	0	24.245
Hambaro	317	16	7.948	5.569	0,22	13.851
Batu Tulis	292	0	10.309	3.078	0,06	13.679

Sumber: Jurnal ailiansyaufina Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Tabel ini menampilkan data stok karbon (dalam satuan ton) berdasarkan jenis tutupan lahan di tujuh desa, yaitu Nanggung, Sukaluyu, Kalongliud, Parakanmuncang, Pangkalima, Hambaro, dan Batu Tulis. Stok karbon tertinggi tercatat di Desa Nanggung dengan total 31.716 ton, yang sebagian besar berasal dari hutan sedang sebesar 24.534 ton. Diikuti oleh Desa Sukaluyu dengan total 26.904 ton, di mana

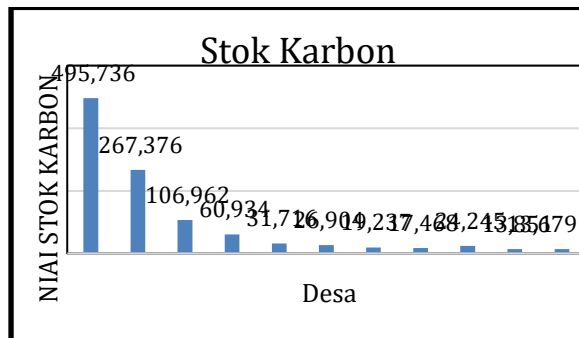
kontribusi terbesar berasal dari hutan rapat dan sedang. Sementara itu, Desa Batu Tulis mencatat stok karbon terendah sebesar 13.679 ton. Secara umum, hutan sedang memberikan kontribusi signifikan terhadap stok karbon di hampir semua desa, menunjukkan pentingnya peran hutan dalam menyimpan karbon. Data ini bermanfaat untuk mendukung kebijakan konservasi dan perencanaan lingkungan berbasis desa.

Tabel 5. Potensi Emisi Karbon

Desa	Luas area	Potensi Emisi Karbon (Ton)				Jumlah
		Hutan Rapat	Hutan sedang	Hutan Rendah	Semak belukar	
Malasari	6.166	1.520.384	248.954	25.390	362,63	1.801.256
Bantarkaret	3.731	721.585	195.654	48.932	527,35	970.429
Cisarua	1.861	147.892	204.915	32.304	258,20	387.230
Curugbitung	1.110	107.947	81.722	29.254	433,51	220.465
Nanggung	698	624	89.959	23.031	119,50	114.431
Sukaluyu	470	40.003	39.595	17.326	0	97.394
Kalong Liud	420	0	49.587	19.407	1,10	69.416
Parakan Muncang	381	619	55.866	6.126	41,16	63.032
Pangkal Jaya	338	54.480	22.968	10.213	0	87.998
Hambaro	317	59	29.144	20.421	0,79	49.941
Batu Tulis	292	0	37.798	11.287	0,23	49.377

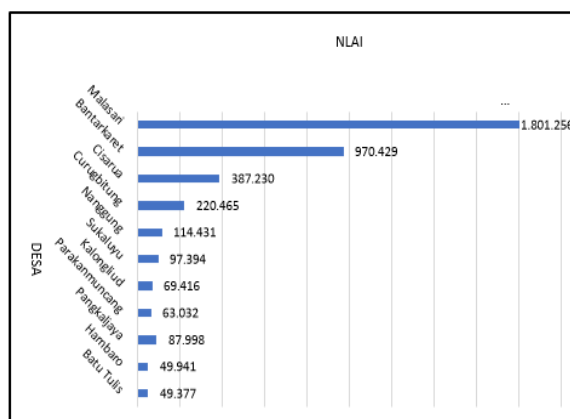
Sumber: Jurnal ailiansyaufina Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

Selanjutnya dibawah ini merupakan nilai grafik potensi emisi karbon yang sudah dihitung dari luasan,biomassa,stok karbon dan hasil nya potensi emisi karbon. Berikut adalah Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Hasil Nilai Stok Karbon

Grafik batang ini menunjukkan nilai stok karbon di berbagai desa, dengan satuan ton. Desa Malasari menempati posisi tertinggi dengan stok karbon mencapai 495.736 ton, disusul oleh Bantar Karet sebesar 267.376 ton dan Cisarua sebesar 106.962 ton. Nilai stok karbon secara signifikan menurun di desa-desa berikutnya, seperti Curugbitung (60.934 ton), Nanggung (31.716 ton), dan Sukaluyu (26.904 ton). Desa-desa dengan nilai stok karbon rendah adalah Batu Tulis (13.679 ton) dan Hambaro (13.851 ton). Pola ini menunjukkan bahwa desa dengan tutupan hutan yang lebih luas, terutama hutan rapat, cenderung memiliki stok karbon yang lebih tinggi. Grafik ini memberikan gambaran *visual* yang jelas mengenai distribusi stok karbon antar desa, yang dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan pengelolaan dan pelestarian lingkungan.



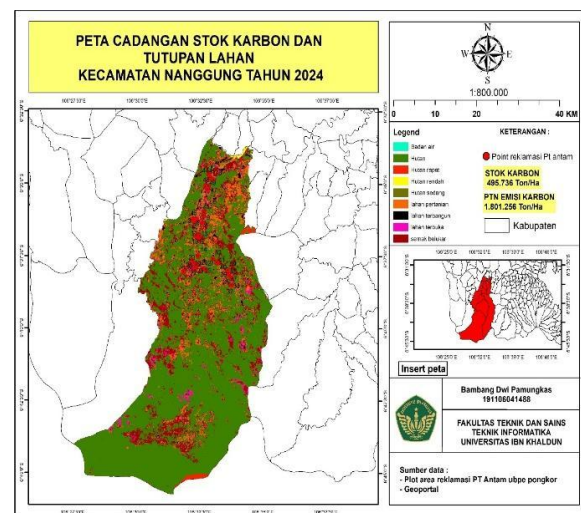
Gambar 3. Potensi Emisi Karbon

Grafik ini menampilkan potensi emisi stok karbon dari berbagai desa, yang mencerminkan jumlah karbon yang bisa dilepaskan ke atmosfer apabila tutupan lahannya terganggu. Desa Malasari menunjukkan potensi emisi tertinggi dengan nilai mencapai 1.801.256, diikuti oleh Bantar Karet (970.429) dan Cisarua (387.230). Nilai emisi menurun signifikan di desa-desa lain seperti Curugbitung

(220.465) dan Nanggung (114.431). Desa Batu Tulis memiliki potensi emisi paling rendah sebesar 49.377. Pola ini menunjukkan bahwa desa-desa dengan luas hutan rapat dan vegetasi tinggi memiliki potensi emisi karbon yang lebih besar, sehingga memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim. Grafik ini menegaskan pentingnya pelestarian hutan sebagai penyimpan karbon alami dan strategi dalam pengelolaan emisi regional.

3.3. Hasil Pengolahan Tutupan Lahan

Adapun hasil dari peta stok karbon dan potensi emisi di wilayah kecamatan nanggung dengan menggunakan metode Unsupervised yang sudah diolah Berikut Gambar 4 dibawah ini merupakan peta stok karbon dengan menampilkan cadangan karbon dan potensi emisi tertinggi yaitu desa malasari dengan cadangan karbon 495.736 ton/ha dan potensi emisi tertinggi sama ad di desa malasari juga dengan nilai 1.801.256ton/ha.



Gambar 4. Hasil layout Stok Karbon dan potensi emisi karbon

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa stok karbon di Kecamatan Nanggung menunjukkan variasi signifikan yang dipengaruhi oleh kondisi tutupan lahan, dengan nilai tertinggi ditemukan di Desa Malasari sebesar 495,736 ton/ha dan nilai terendah di Desa Batu Tulis sebesar 13,679 ton/ha. Hasil analisis ini juga telah diimplementasikan dalam bentuk Web GIS yang menampilkan data potensi penyimpanan karbon secara spasial, sehingga dapat menjadi rujukan strategis bagi perencanaan lingkungan serta referensi bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Yuan, F. Wu, Q. Wu, D. A. Fornara, P. Heděnc, Y. Peng, G. Zhu, Z. Zhao, and K. Yue, "Vegetation restoration effects on soil carbon and nutrient concentrations and enzymatic activities in post-mining lands are mediated by mine type, climate, and former soil properties," *Science of*

- The Total Environment*, vol. 879, Art. no. 163059, 2023..
- [2] W. Yasindra, Y. Yusnira, and E. Adzir, "Sistem Informasi Pariwisata Kabupaten Kampar Berbasis Web," *Journal on Pustaka Cendekia Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 24–30, 2023, doi: 10.70292/pctif.v1i1.9.
- [3] A. Pambudhi, H. Sigit, and B. S. Murti, "estimasi stok karbon hutan dengan menggunakan citra alos avnir-2 di sebagian kecamatan long pahangai,kabupaten kutai barat."
- [4] A. Poudel, S. Bhatti, and E. Bevilacqua, "Assessment of image classification algorithms for land cover classifications in Tully, NY," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLVIII-M-3, pp. 183–187, 2023, doi:10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-3-2023-183-2023.
- [5] N. Azizi MJ, A. Kurnia Putra, and B. Sipahutar, "Perdagangan Karbon: Mendorong Mitigasi Perubahan Iklim Di Antara Mekanisme Pasar Dan Prosedur Hukum," *Jurnal Selat*, vol. 10, no. 2, pp. 91–107, May 2023, doi: 10.31629/selat.v10i2.4853.
- [6] S. Ariyanti, S. Abadi, and T. Taufiqurrahman, "implementasi perdagangan karbon di Indonesia pasca terbitnya pojk nomor 14 tahun 2023 TENTANG bursa karbon," *Law and Humanity*, vol. 2, no. 1, pp. 18–39, Apr. 2024, doi: 10.37504/lh.v2i1.606.
- [7] Rizaldi, A. Darmawan, H. Kaskoyo, and A. Setiawan, "Pemanfaatan Google Earth Engine untuk Pemantauan Lahan Agroforestri dalam Skema Perhutanan Sosial," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 37, no. 1, 2023. doi:10.22146/mgi.73923.
- [8] S. Di karbon pohon kawasan hutan sekunder rinon pulo breuh kabupaten aceh besar Maulida, H. Dini, dan Muslich Hidayat, and P. Studi Pendidikan Biologi FTK UIN
- [9] C. U. Rahayu, I. Indarto, A. W. Pradiksa, B. T. W. Putra, and R. Nadzirah, "Land Cover Changes Based on Landsat Imagery Interpretation," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 12, no. 1, pp. 1–13, 2023.
- [10] R. Fadhli, S. Sugianto, and S. Syakur, "Analisis Perubahan Penutupan Lahan dan Potensi Karbon di Taman Hutan Raya Pocut Meurah Intan, Aceh Indonesia," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 19, no. 2, pp. 450–458, Aug. 2021, doi: 10.14710/jil.19.2.450-458.
- [11] Pressman, R. S., and Maxim, B. R., *Software Engineering: A Practitioner's Perspective*, 10th ed. McGraw-Hill, 2023.