ANALISIS STOK KARBON PADA TUTUPAN LAHAN DI KECAMATAN BABAKAN MADANG MENGGUNAKAN MODEL *INVEST*

Naufal Muhammad Rozan, Iksal Yanuarsyah, Erwin Hermawan
Teknik Informatika, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. Sholeh Iskandar, RT.01/RW.10, Kedungbadak, Kec. Tanah Sareal, Kota Bogor, Jawa Barat 16162, Indonesia
naufalrozan449@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang berdampak terhadap penurunan stok karbon serta degradasi lingkungan. Stok karbon merupakan salah satu komponen penting yang perlu dijaga karena berperan dalam mitigasi perubahan iklim global, mengingat peningkatan konsentrasi CO_2 di atmosfer berkontribusi terhadap pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai stok karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang, Kabupaten Bogor. Metode penelitian dilakukan dengan analisis spasial tutupan lahan dan perhitungan stok karbon pada periode tahun 2020–2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stok karbon mengalami penurunan secara bertahap, yaitu sebesar 4.137.351,79 ton pada tahun 2020, menurun menjadi 4.012.987,61 ton pada tahun 2021, 4.003.506,08 ton pada tahun 2022, dan 3.995.595,02 ton pada tahun 2023. Uji akurasi menggunakan metode AUC/ROC menghasilkan nilai 0,797 yang menunjukkan tingkat akurasi yang baik, sedangkan uji akurasi sederhana terhadap 83 titik sampel menghasilkan tingkat ketelitian sebesar 92%. Hasil ini mengindikasikan bahwa perubahan tutupan lahan berpengaruh signifikan terhadap penurunan stok karbon di wilayah penelitian.

Kata kunci : *AUC/ROC*, Babakan madang, Hasil Uji akurasi, Stok Karbon, Tutupan Lahan

1. PENDAHULUAN

Stok karbon merupakan indikator penting dalam menilai kemampuan ekosistem dalam meregangkan gas-gas rumah kaca, terutama karbondioksida (CO_2). Ekosistem yang lebih padat biomasanya biasanya memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang lebih tinggi. Oleh karena itu, analisis stok karbon sangat relevan dalam konteks perubahan iklim global, dimana peningkatan kadar CO_2 atmosferic turut berkontribusi pada fenomena pemanasan global [1].

Emisi gas rumah kaca (GRK) yang dilepaskan dari suatu wilayah dapat memengaruhi perubahan iklim dan memicu terjadinya pemanasan global. Berdasarkan data dari Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia, salah satu gas yang memberikan kontribusi terbesar terhadap gas rumah kaca adalah karbon [2].

Peningkatan emisi karbon tidak hanya memperburuk pemanasan global, tetapi juga secara langsung berkontribusi pada tingginya intensitas dan frekuensi bencana hidrometeorologi, seperti banjir, longsor, dan kekeringan. Selain itu, peningkatan emisi karbon menyebabkan penurunan kualitas dan ketersediaan sumber daya alam, seperti air bersih, lahan subur, dan keanekaragaman hayati [3].

Efek rumah kaca menjadi permasalahan iklim berskala global yang berdampak luas serta merupakan penyebab utama terjadinya pemanasan global [4]. Peningkatan emisi karbon di atmosfer, yang berkaitan erat dengan siklus karbon, menjadi salah satu faktor utama yang mendorong meningkatnya pemanasan global [5]. Peningkatan emisi karbondioksida akibat aktivitas manusia, seperti deforestasi dan perubahan penggunaan lahan, telah menjadi perhatian global[6].

Penelitian ini menggaris bawahi bahwa perubahan tutupan lahan, terutama yang disebabkan oleh aktivitas antropogenik. Di sisi lain, penelitian di Kota Samarinda menggambarkan estimasi cadangan karbon pada hutan sekunder, semak, dan belukar, di mana variasi jenis penutupan lahan ini memiliki implikasi yang kompleks terhadap total stok karbon yang disimpan. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemahaman mendalam mengenai tipe tutupan lahan sangat krusial untuk mengoptimalkan strategi mitigasi karbon [7].

Oleh karena itu perlu adanya analisis tutupan lahan di wilayah Kecamatan Babakan Madang menggunakan metode reclassify pada tutupan lahan wilayah tersebut, reclassify pada dasarnya merupakan pemetaan suatu besaran yang memiliki interval-interval (domain) tertentu ke dalam interval-interval yang lain berdasarkan batas-batas atau kategori yang ditentukan [8]. Jika dibandingkan dengan Salah satu metode dalam clustering yaitu metode K-Means atau classification tree [9], reclassify lebih tepat digunakan untuk kebutuhan yang mengutamakan hasil yang cepat dan sederhana, tanpa memerlukan model yang kompleks.

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade- offs) adalah serangkaian model perangkat lunak sumber terbuka untuk memetakan dan menilai layanan ekosistem yang disediakan oleh bentang alam daratan dan lautan [10]. Dengan menggunakan model ini, kita dapat memetakan dan menghitung stok karbon yang tersimpan pada berbagai jenis tutupan lahan di wilayah Kecamatan Babakan Madang, serta mengidentifikasi bagaimana perubahan-perubahan tersebut mempengaruhi kapasitas ekosistem dalam menyimpan karbon. Hal ini

penting untuk merencanakan kebijakan yang mendukung pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan [11].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Literatur

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan sebelumnya yang telah diterbitkan dapat ditemukan dalam studi literatur, seperti tabel 1 yang menunjukan hasil-hasil penelitian tersebut.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Judul	Hasil	Keterkaitan
1	"Analisis degradasi dan prediksi stok karbon total mangrove berdasarkan model spasial invest di teluk kendari, provinsi sulawesi tenggara.	Stok karbon total mangrove di Teluk Kendari dari tahun 2019 adalah sebesar 1.490.091 ton CO2 di prediksikan mengalami peningkatan sebesar 27.302 ton CO2 di tahun 2040 menjadi 1.517.393ton CO2 dengan kecepatan pertumbuhan sebesar 1.300 tonCO2/tahun.	Mengkaji prediksi stok karbon total mangrove berdasarkan model spasial InVEST tahun 2040 di Teluk Kendari.
2	"*Usingthe InVEST-PLUS Model to Predict and Analyzethe Patternof Ecosystem Carbon storage in Liaoning Province, China*:, 2023	Mempelajari distribusi penyimpanan karbon, penyeimbangan penggunaan lahan dengan perlindunganekologi,dan pembangunan perkotaan rendah karbon adalah kunci dalam strategi karbon gandaTiongkok. Namun, dampak kebijakan tata ruang pada penyimpanan karbon di tingkat provinsi kurang diperhatikan. Studi ini membuat data base kepadatan karbon untuk Provinsi Liaoning,	Menggunakan s*oftware* yang Sama yaitu *InVEST* untuk menganalisis stok karbon. Penelitian ini menganalisis variasi spasial dan temporal cadangan karbon di Provinsi Liaoning dari tahun 2000 hingga 2020, serta memprediksi perubahan hingga tahun 2050 dalam berbagai skenario.
3	''Aplikasi Arcgis 10.3 untuk Analisis Spasial Bencana dan Kerawanan Longsor di Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul, Provinsi DI. Yogyakarta.	Terdapat 20 titik kejadian longsor di Kecamatan Imogiri tahun 2015 – 2019 yang terjadi pada musim hujan dan memiliki data 3 tingkat kerawanan longsor di kecamatan Imogiri,	Data yang sudah diperoleh selanjutnya diolah dengan metode analisis spasial berbasis SIG meliputi: pembuatan peta tematik semua Parameter longsor, scoring (pengharkatan), overlay (tumpangsusun), dan reclassify (klasifikasi).

2.2. Tutupan Lahan

Penggunaan lahan pada wilayah dengan tutupan lahan terbangun meliputi kawasan permukiman, area komersial, serta industri peternakan. Sementara itu, tutupan lahan tidak terbangun mencakup fungsi lahan seperti persawahan, kebun, tegalan, dan perairan. Secara umum, klasifikasi tutupan lahan dibagi ke dalam dua kelompok utama, yaitu lahan terbangun dan lahan tidak terbangun [12].

Tutupan lahan *(land cover)* merujuk pada kondisi fisik dan biologis permukaan bumi, baik yang terbentuk secara alami seperti rawa, sungai, dan perbukitan, maupun yang dihasilkan oleh aktivitas manusia seperti sawah, kebun, hutan, dan bangunan. Adapun tata guna lahan *(land use)* merupakan aspek fungsional yang menggambarkan pemanfaatan lahan pada masa kini dan perencanaannya di masa mendatang untuk tujuan tertentu, dalam konteks sosial dan ekonomi, seperti kawasan permukiman, industri, perdagangan dan bisnis, pertanian, kehutanan, serta rekreasi [13].

Dari sudut pandang lain, tutupan lahan lebih menekankan pada karakteristik fisik atau bentuk permukaan lahan, sedangkan penggunaan lahan berkaitan dengan aktivitas serta fungsi sosial ekonomi yang berlangsung di atasnya. Untuk menghindari perbedaan penafsiran, penggunaan lahan dan tutupan lahan memiliki beragam definisi dan klasifikasi yang bertujuan memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi permukaan lahan [14].

2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan hasil integrasi berbagai faktor seperti iklim, kondisi geologi, jenis tanah, serta keberadaan biota pada suatu wilayah dalam kurun waktu puluhan tahun atau lebih, yang tercermin secara bersamaan pada kondisi saat ini. Dalam jangka waktu yang relatif singkat, tutupan lahan dapat mengalami perubahan akibat gangguan alami, antara lain badai, banjir, kebakaran, letusan gunung berapi, serangan serangga, dan tanah longsor, maupun akibat aktivitas manusia seperti pertumbuhan penduduk, pembangunan kawasan industri dan perkotaan, deforestasi atau reboisasi, pengalihan aliran air, serta pembangunan infrastruktur jalan. Perubahan-perubahan tersebut dapat dipandang sebagai peningkatan maupun penurunan kualitas suatu tutupan lahan.

Selain itu, tutupan lahan memiliki hubungan timbal balik dengan kondisi lingkungan dalam beberapa aspek [15], yaitu:

a. Mempengaruhi variabel lingkungan seperti kualitas air, hidrologi daerah aliran sungai (DAS), habitat dan komposisi spesies, iklim, serta kapasitas penyimpanan karbon.

b. Berperan dalam pertukaran massa dan energi antara permukaan bumi dan atmosfer yang berdampak pada cuaca dan iklim.
c. Menentukan ketersediaan habitat dan pola distribusi spesies sebagai komponen utama dalam struktur dan fungsi ekosistem.
d. Mengubah sistem hidrologi, pola limpasan permukaan *(run-off),* serta kemampuan penyangga banjir dalam suatu DAS.

Tutupan lahan juga dapat dipahami sebagai representasi fisik atau visual dari vegetasi, unsur alam, dan hasil budaya yang terdapat di permukaan bumi tanpa mempertimbangkan fungsi dari objek tersebut. Secara biofisik, tutupan lahan merupakan kondisi permukaan bumi yang dapat diamati dan merupakan hasil dari pengelolaan, aktivitas, serta perlakuan manusia terhadap suatu wilayah untuk tujuan produksi, pemeliharaan, maupun perubahan pada area tersebut [16].

2.4. Badan Air

Badan air adalah istilah yang mengacu pada bagian dari permukaan bumi yang ditutupi oleh badan air, seperti danau, sungai, waduk, laut, dan sebagainya. Ini termasuk semua jenis perairan yang secara alami atau buatan berada di permukaan tanah. Tutupan lahan ini penting dalam studi lingkungan, geografi, dan pengelolaan sumber daya alam karena badan air mempengaruhi ekosistem, iklim, dan aktivitas manusia di sekitarnya [17].

2.5. Stok Karbon

Stok karbon atau cadangan karbon adalah total kandungan karbon yang tersimpan di dalam tanah dan berasal dari komponen penyusun tubuh tumbuhan hidup atau biomassa [18]. Biomassa merupakan materi organik tumbuhan yang terbentuk dari bagian tanaman di atas permukaan tanah, baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Semakin besar jumlah biomassa yang terdapat pada suatu wilayah, maka semakin besar pula karbon yang dapat disimpan di kawasan tersebut [19].

Stok karbon dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor utama, yaitu konsentrasi karbon organik tanah *(Soil Organic Carbon),* yang merupakan kandungan karbon yang berasal dari bahan organik seperti sisa tumbuhan dan organisme tanah. Selain itu, kerapatan tanah *(bulk density),* yang menggambarkan massa tanah per satuan volume, turut menentukan kapasitas tanah dalam menyimpan karbon. Faktor lain yang memengaruhi adalah kedalaman tanah, di mana karbon cenderung terkonsentrasi pada lapisan tanah tertentu, terutama di lapisan atas, dan berkurang seiring bertambahnya kedalaman akibat proses dekomposisi dan akumulasi bahan organik. Kombinasi dari ketiga faktor ini secara langsung memengaruhi total stok karbon yang tersimpan di dalam tanah [20].

2.6. *InVEST*

Model *InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs)* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memetakan, menilai, dan memvisualisasikan jasa ekosistem atau manfaat alam yang diperoleh manusia dari lingkungan. Perangkat ini berbasis GIS dan bertujuan untuk membantu pembuat kebijakan dalam memahami bagaimana perubahan tata guna lahan memengaruhi ekosistem, baik secara positif maupun negatif [21].

InVEST memetakan stok karbon, mengevaluasi dampak kebijakan lahan, dan memperkirakan penyimpanan karbon biru di wilayah reklamasi pesisir.

$$\boldsymbol{Ci} = \boldsymbol{Ci}(\boldsymbol{above}) + \boldsymbol{Ci}(\boldsymbol{below}) + \boldsymbol{Ci}(\boldsymbol{dead}) + \boldsymbol{Ci}(\boldsymbol{soil}) \quad (1)$$

Ci (above) adalah kepadatan karbon biomassa di atas tanah, *Ci (below)* adalah kepadatan karbon biomassa bawah tanah, *Ci (dead)* adalah massa jenis karbon bahan organik mati, dan *Ci (soil)* adalah kepadatan karbon tanah, semuanya pada tipe *LULC ke-i (ton/ha).* Total penyimpanan karbon di wilayah studi dihitung dengan perangkat lunak model berdasarkan persamaan.

$$\boldsymbol{Ctotal} = \sum \boldsymbol{n}\ \boldsymbol{Ci} + \boldsymbol{Ai} \quad (2)$$

Ctotal adalah total simpanan karbon di wilayah studi, di mana n adalah jumlah jenis *LULC*, dan Ai adalah luas tiap tipe *LULC*. Data awal untuk menjalankan model *InVEST* mencakup data *LULC* wilayah penelitian dan data kepadatan karbon untuk setiap jenis *LULC* [22].

2.7. *ArcGIS*

ArcGIS merupakan solusi perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang bersifat terpadu. Perangkat lunak ini mencakup berbagai aplikasi SIG yang masing-masing memiliki fungsi berbeda, antara lain *ArcReader*, *ArcCatalog*, *ArcMap,* dan *ArcView*. *ArcGlobe* merupakan salah satu aplikasi yang termasuk dalam ekstensi *ArcGIS 3D Analyst*, yang memiliki kemampuan untuk menampilkan informasi geografis dalam bentuk visualisasi tiga dimensi (3D) secara dinamis.

ArcCatalog digunakan untuk mengelola dan mengorganisasi seluruh data geografis, seperti layanan SIG, *metadata*, *toolboxes* untuk keperluan *geoprocessing*, *geodatabases*, berbagai format data file, serta peta. *ArcMap* merupakan aplikasi utama dalam *ArcGIS* yang berfungsi untuk kegiatan pemetaan dan pengeditan data, serta analisis dan *query* berbasis peta. Sementara itu, *ArcToolbox* berisi kumpulan alat yang digunakan untuk proses geoprocessing [23].

2.8. *Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC/ROC)*

ROC-AUC merupakan salah satu metrik yang paling umum digunakan untuk menilai kinerja model klasifikasi biner. Kurva *ROC* menggambarkan kemampuan model dalam membedakan antara kelas positif dan negatif, sedangkan nilai *AUC* memberikan ukuran kuantitatif yang mencerminkan performa model secara keseluruhan. Metrik ini sangat bermanfaat, khususnya ketika model diterapkan pada dataset yang tidak seimbang atau ketika diperlukan evaluasi kinerja model pada berbagai nilai ambang *(threshold).*

Nilai *AUC* umumnya dinyatakan dalam bentuk desimal atau persentase dengan rentang antara 0 hingga 1 [24]. Karena *AUC* merepresentasikan luas di bawah kurva *ROC* dalam satuan persegi, nilainya selalu berada pada rentang tersebut. Sebagai perbandingan, klasifikasi yang dilakukan secara acak akan menghasilkan garis diagonal dari titik (0,0) hingga (1,1) dengan luas sebesar 0,5, sehingga model klasifikasi yang layak seharusnya memiliki nilai *AUC* lebih besar dari 0,5.

2.9. *Kappa*

Cohen's kappa (CK) pertama kali diperkenalkan oleh Jacob Cohen pada tahun 1960 dan banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesepakatan antara dua penilai. Koefisien *Cohen's kappa* merupakan ukuran yang menggambarkan konsistensi hasil penilaian yang dilakukan oleh dua rater, konsistensi antara dua metode pengukuran, maupun kesesuaian antara dua alat ukur. Metode ini hanya dapat diterapkan pada data hasil pengukuran yang bersifat kualitatif atau kategorik [25].

Sebagai ilustrasi, tingkat akurasi pengamatan sebesar 80% akan dinilai kurang signifikan apabila akurasi yang diharapkan mencapai 75%, dibandingkan jika akurasi yang diharapkan hanya sebesar 50%.

2.10. *Reclassify*

Reclassify merupakan salah satu alat *(tool)* dalam *ArcGIS* yang berfungsi untuk melakukan pengelompokan ulang data agar sesuai dengan kelas yang digunakan sebagai parameter dalam proses pengolahan. Dalam konteks penelitian ini, proses *reclassify* diterapkan untuk mengelompokkan ulang tingkat kelerengan permukaan berdasarkan parameter yang dijadikan acuan dalam pengolahan data [26].

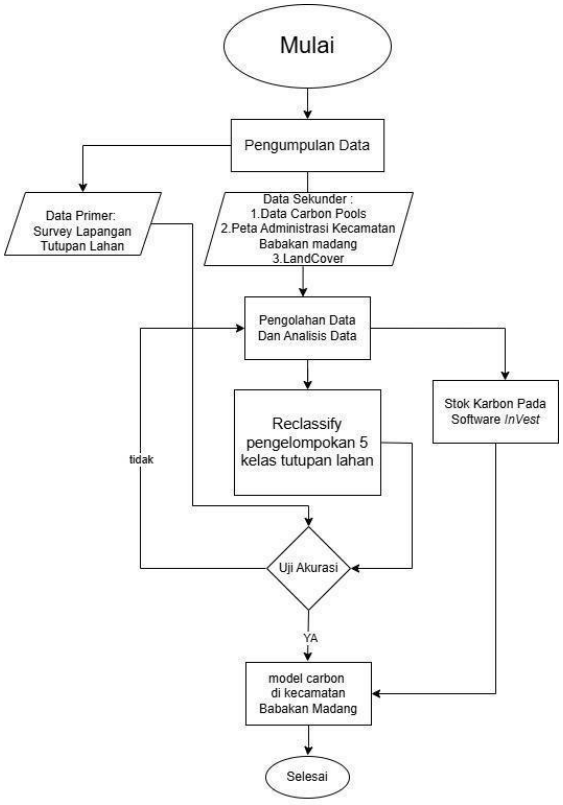
Klasifikasi tutupan lahan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Reclassify*, yang pada dasarnya merupakan proses pemetaan nilai-nilai dengan interval tertentu ke dalam interval atau kelas lain sesuai dengan batasan dan kategori yang telah ditetapkan sebelumnya.

Tabel 2. Klasifikasi

Jenjang I	Jenjang II
1	Badan Air
2	Hutan
5	Lahan Pertanian
7	Lahan Terbangun
11	Semak Belukar

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mencakup tiga komponen utama dalam penyusunan skripsi, yaitu metode pengumpulan data, metode analisis dan metode klasifikasi. Ketiga komponen ini saling terkait dan mendukung keseluruhan proses penelitian, alur metode penelitian ini dapat dilihat melalui flowchart kerangka berpikir yang disajikan pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data – data yang di kumpulkan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer dilakukan dengan cara survei yang bertujuan untuk mendapatkan titik – titik tutupan lahan terbaru di Kecamtan Babakan Madang. Sedangkan data sekunder terdiri dari 3 yaitu *Carbon Pools*, Peta Administrasi dan *Land Cover* yang nantinya akan diolah dan di analisis menggunakan *InVEST*.

Klasifikasi digunakan bertujuan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang berdasarkan data raster tutupan lahan yang telah diperoleh. Tahap selanjutnya Uji Akurasi, Tahap ini bertujuan untuk menguji akurasi perubahan tutupan lahan yang telah diolah sebelumnya

menggunakan metode reklasifikasi *(Reclassify)*, Pengujian ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat akurasi wilayah Kecamatan Babakan Madang.

Hasil dari perangkat lunak *InVest* yang menunjukan hasil nilai – nilai stok karbon dan value Kecamatan Babakan Madang yang sudah ter validasi yang dilakukan menggunakan Uji akurasi *AUC/ROC* dan uji akurasi kappa.

3.1. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data melibatkan pengumpulan data primer dan sekunder yang bertujuan untuk memvalidasi tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang.Data primer berupa sampel lapangan dari titik tutupan lahan, sedangkan data sekunder mencakup nilai stok karbon *(Carbon Pools)* yang diperoleh dari berbagai sumber, seperti yang ditampilkan pada tabel di bawah ini, serta peta administrasi Kecamatan Babakan Madang dan peta tutupan lahan *(Land Cover).* Informasi ini sebagaimana ditunjukan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Carboon Pools* (Stok Karbon)

lucode	LULC_*Name*	C_*above*(ton/ha)	C_*below*(ton/ha)	C_*soil*(ton/ha)	C_*Dead*(ton/ha)
0	Badan_air	2.5	4.5	2.3	0.38
1	hutan	650	120	67	78
2	lhn_pertanian	9	10	9	9
3	lhn_terbangun	7.5	6	7	0.45
4	semak_belukar	10	11	13	11

Sumber: Geomapid, IPCC 2006, Artikel Ilmiah

3.2. Pengolahan Data

Tahap ini melibatkan dua komponen data yang diperlukan untuk analisis, yang diolah melalui langkah-langkah berikut:

a. Reklasifikasi *(Reclassify)*, langkah ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang berdasarkan data raster tutupan lahan yang telah diperoleh.
b. Estimasi Stok Karbon Menggunakan *InVEST*, tahap ini digunakan untuk membuat model stok karbon dengan memanfaatkan data tutupan lahan dan nilai *carbon pools* yang telah dikumpulkan sebelumnya.

3.3. Uji Akurasi

Tahap ini bertujuan untuk menguji akurasi perubahan tutupan lahan yang telah diolah sebelumnya menggunakan metode reklasifikasi (*Reclassify*). Pengujian ini dilakukan untuk menentukan tingkat akurasi tutupan lahan di wilayah tersebut. Metode yang digunakan meliputi uji akurasi sederhana, uji akurasi *AUC/ROC*, dan uji akurasi Kappa. Hasil uji akurasi ini kemudian dikaitkan dengan analisis stok karbon pada tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang.

3.4. Pelaporan dan Visualisasi

Tahap ini mencakup pelaporan dan visualisasi data hasil pengolahan tutupan lahan menggunakan metode *Reclassify* serta stok karbon yang dihasilkan melalui perangkat lunak *InVEST*.

3.5. Analisis Hasil

Pada tahap ini, dilakukan analisis hasil dari perangkat lunak *InVEST* untuk menentukan stok karbon pada masing-masing kelas tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang selama periode 2020–2023.

3.6. Validasi

Tahap validasi dilakukan untuk memastikan keakuratan data tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang. Proses ini menggunakan *Avenza Maps* dengan pengambilan 83 titik sampel tutupan lahan, yang mencakup kategori Badan Air, Hutan, Lahan Pertanian, Lahan Terbangun, dan Semak Belukar.

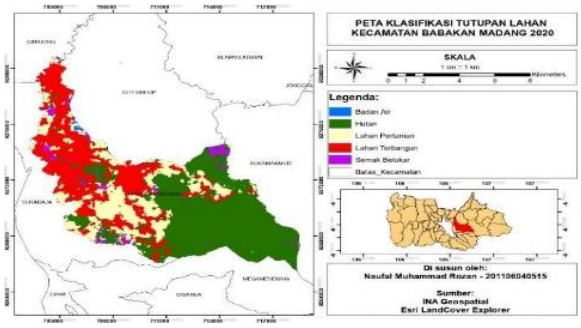
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini meliputi output dari setiap tahapan pada metode alir.

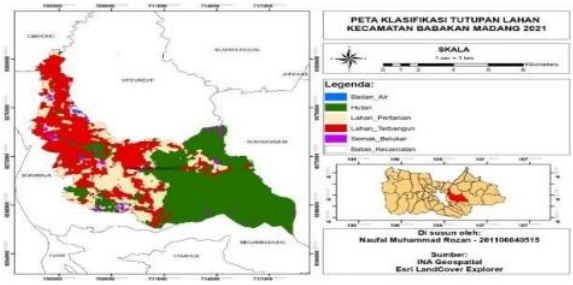
4.1. Analisis Klasifikasi Tutupan Lahan Dengan Metode *Reclassify*

Analisis klasifikasi tutupan lahan adalah proses untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan berbagai tutupan lahan, salah satu metode yang sering digunakan dalam analisis ini adalah *Reclassify* yang bertujuan untuk mengklasifikasi ulang nilai – nilai data set untuk menciptakan kategori tertentu.

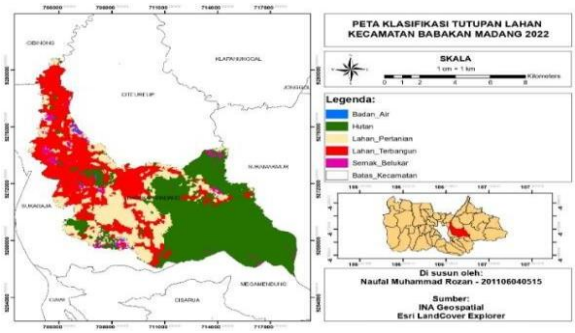
4.2. Hasil Analisis Klasifikasi Tutupan Lahan Dengan Proses *Reclassify*



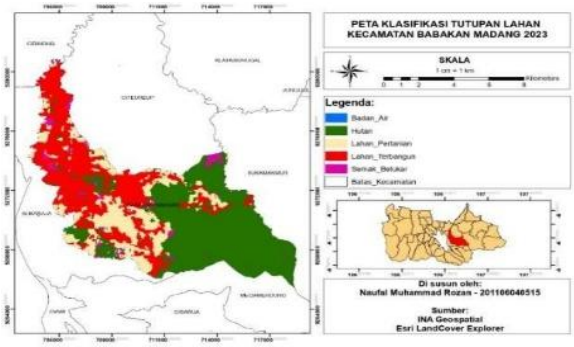
Gambar 2. Hasil Analisis *Reclassify*



Gambar 3. Hasil Analisis *Reclassify*

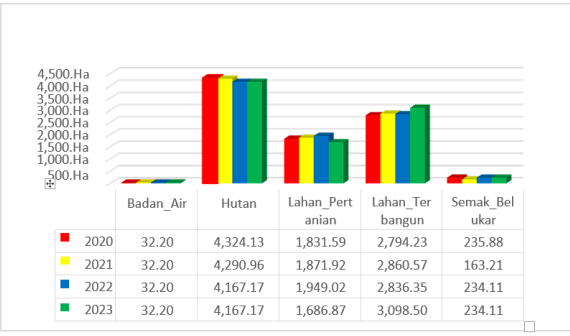


Gambar 4. Hasil Analisis *Reclassify*



Gambar 5. Hasil Analisis *Reclassify*

Pada gambar 2 –5 Adalah Visualisasi hasil klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *reclassify*, Biru menandakan badan air, lalu hijau menandakan hutan, cream menandakan lahan pertanian, merah menandakan lahan terbangun dan ungu menandakan semak belukar.

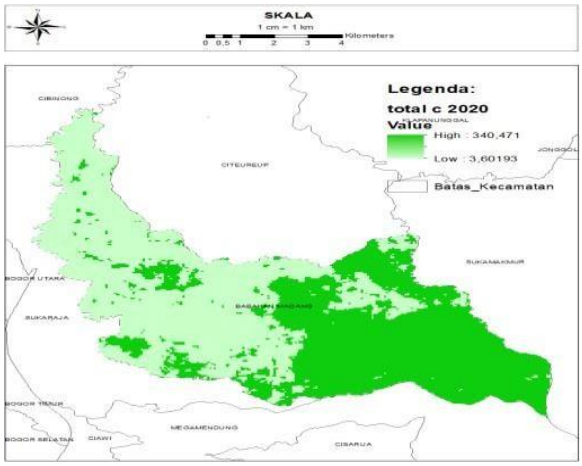


	Badan_Air	Hutan	Lahan_Pertanian	Lahan_Terbangun	Semak_Belukar
2020	32.20	4,324.13	1,831.59	2,794.23	235.88
2021	32.20	4,290.96	1,871.92	2,860.57	163.21
2022	32.20	4,167.17	1,949.02	2,836.35	234.11
2023	32.20	4,167.17	1,686.87	3,098.50	234.11

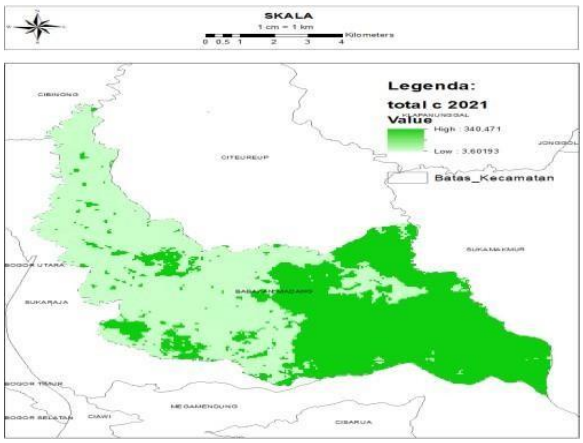
Gambar 6. Diagram Luas Tutupan Lahan

Pada Gambar 6 Adalah diagram luas tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang pada periode 2020 – 2023, Dimana untuk tahun 2020 ditandai dengan warna merah, tahun 2021 ditandai dengan warna kuning, tahun 2022 ditandai dengan warna biru dan tahun 2023 ditandai dengan warna hijau.

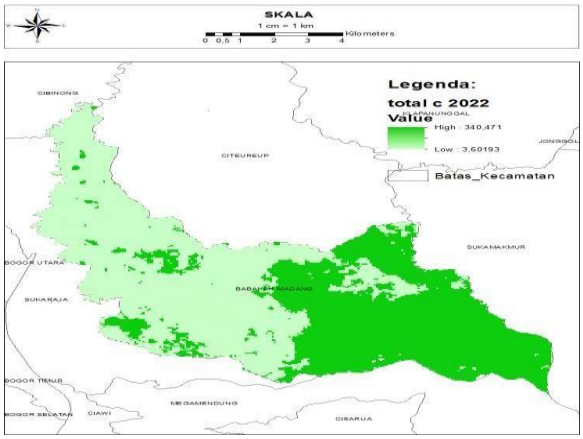
4.3. Analisis Stok Karbon Menggunakan *Software InVEST*



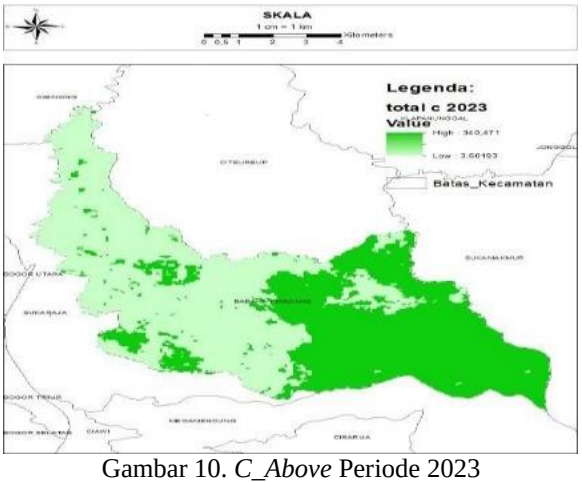
Gambar 7. *C_Above* Periode 2020



Gambar 8. *C Above* Periode 2021



Gambar 9. *C_Above* Periode 2022



Gambar 10. *C_Above* Periode 2023

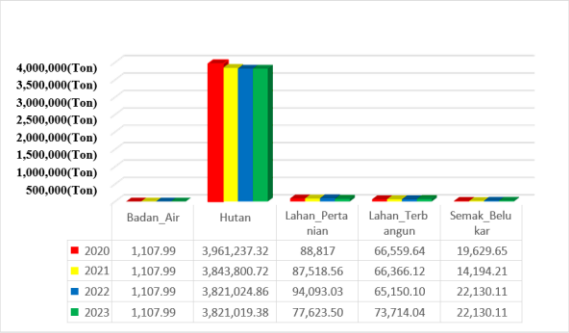
Pada gambar 7 – 10 dapat di lihat nilai value pada C_Total periode 2020 – 2023 nilai value terendah berada di angka 3, 60 Ton/H dan yang tertinggi berada di angka 340, 471 Ton/H.

4.4. Hasil Analisis Stok Karbon Menggunakan *Software InVEST*

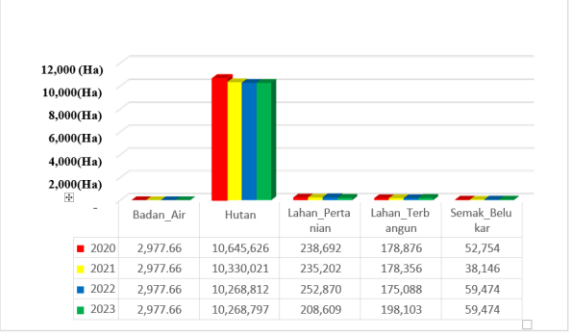
Tabel 4. Stok Karbon Tahun 2020 – 2023

No	StokKarbon (Ton/Ha)	2020	2021	2022	2023
1	Badan_Air	2,977.66	2,977.66	2,977.66	2,977.66
2	Hutan	10,645,626	10,330,021	10,268,812	10,268,797
3	Lahan Pertanian	238,692	235,202	252,870	235,202
4	Lahan Terbangun	178,876	178,356	175,088	178,356
5	Semak Belukar	52,754	38,146	59,474	38,146
Total		11,118,924.47	10,784,702	10,759,220.86	10,737,960.29

Tabel 4 menunjukan stok karbon di kecamatan Babakan Madang pada tahun 2020 – 2023, yang telah di konversi ke satuan ton/ha. Konversi dilakukan dengan rumus: ton/ha = 4 × ton/pixel. Luas satu pixel (61×61meter) adalah 3.721 m2 atau 0.3721 ha. Maka untuk mengubah nilai dalam ton/pixel dengan 4.



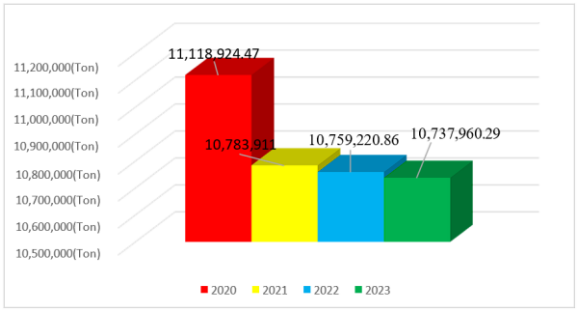
Gambar 11. Diagram Stok Karbon Setiap Kelas Tutupan Lahan (Ton)



Gambar 12. Nilai Stok Karbon

Pada gambar 11 dapat dilihat jumlah stok karbon pada setiap kelas tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang pada periode 2020 – 2023 mengalami fluktuasi, Nilai stok karbon tertinggi dimiliki oleh Hutan karena kecamatan babakan madang masih memiliki kawasan hutan lindung yang masih dinilai cukup besar.

Pada Gambar 12 adalah diagram nilai stok karbon yang sudah di bagi dengan luasan tutupan lahan sehingga menghasilkan nilai ton/ha.



Gambar 13. Diagram Stok Karbon Setiap Tahunya

Pada gambar 13 terdapat total stok karbon di Kecamatan Babakan Madang setiap tahunnya menrun dengan faktor terbesarnya hutan yang menjadi lahan terbangun, pada tahun 2020 dengan jumlah 11,118,924.47 ton, pada tahun 2021 menurun menjadi 10,783,911 ton, pada tahun 2022 menurun 10,759,220.86 ton dan pada tahun 2023 menjadi 10,737,960.29 ton.

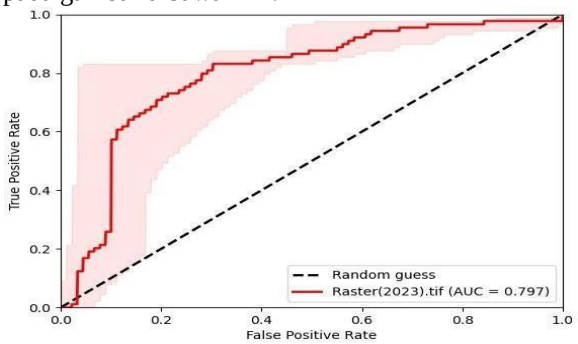
4.5. Hasil Uji Akurasi

Berdasarkan hasil survey lapangan diambil menjadi 83 titik sample, Hasil analisis terdapat 78 sample yang benar dari 83 titik sample yang diambil. Berikut ini merupakan perhitungan tingkat akurasi.

Tingkat Akurasi = $Jumlah\ Titik\ Benar \times 100\%$
$Total\ Titik\ Sampel$ = 78/83 ×100% = 94%

Hasil perhitungan uji validasi citra satelit dengan keadaan dilapangan wilayah Kecamatan Babakan Madang Kabupaten Bogor didapatkan hasil tingkat akurasi sebesar 94%.

Berdasarkan hasil uji akurasi *AUC/ROC* diperoleh nilai kurva *AUC* sebesar 0.797 yang menunjukan bahwa pemodelan secara efektif dapat membedakan kelas true dan kelas false. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 14. Tingkat Klasifikasi

Pada gambar tersebut terdapat tingkat klasifikasi berdasarkan hasil perhitungan dari *AUC*. Semakin tinggi angkanya, maka semakin baik pemodelan tersebut dalam membedakan antara kelas yang berbeda.

Tabel 5. Tingkat Klasifikasi *AUC*

Nilai klasifikasi	Hasil
0,0-0,5	Kurang Baik
0,5-0,7	Cukup Baik
0,7-0,8	Baik
0,8-0,9	Sangat Baik
>0,9	Hampir Sempurna

Sumber : Rakhmat Purnomo (2017)

Pada tabel diatas dimana nilai klasifikasi sama hasil yang telah di uji, menurut (Rakhmat Purnomo) dimana 0,0 – 0,5 menandakan kurang baik, 0,5 – 0,7 menandakan cukup baik, 07 – 08 menandakan baik, 0,8 – 0,9 menandakan sangat baik dan lebih dari 0,9 menandakan sangat baik.

Berdasarkan hasil uji akurasi sederhana, *AUC/ROC* dan Kappa pada tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang, Stok karbon pada tutupan lahan di wilayah tersebut memiliki nilai skor uji akurasi sederhana sebesar 94% sedangkan untuk uji akurasi *AUC/ROC* termasuk kategori baik dengan skor 0.797 dan untuk hasil uji akurasi *Kappa* sebesar 92%, semua telah diuji dan diambil sampel, lapangan yang telah di survei sebanyak 83 sampel kelas tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian mengenai stok karbon pada tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang menggunakan model InVEST, dapat disimpulkan bahwa stok karbon di wilayah penelitian mengalami penurunan secara bertahap selama periode tahun 2020 hingga 2023, yaitu dari 4.137.351,79 ton pada tahun 2020 menjadi 4.012.987,61 ton pada tahun 2021, 4.003.506,08 ton pada tahun 2022, dan 3.995.595,02 ton pada tahun 2023. Penurunan ini menunjukkan berkurangnya kemampuan ekosistem dalam menyimpan karbon yang berkaitan erat dengan perubahan dan alih fungsi tutupan lahan. Penurunan stok karbon terjadi pada berbagai jenis tutupan lahan, termasuk hutan, lahan terbangun, dan lahan pertanian, yang menegaskan bahwa dinamika tutupan lahan merupakan faktor penting dalam pengelolaan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim di wilayah penelitian. Hasil analisis juga menunjukkan tingkat keandalan yang baik, dengan nilai uji AUC/ROC sebesar 0,797 serta tingkat akurasi sederhana sebesar 92% berdasarkan 83 titik sampel, sehingga metode dan data yang digunakan dinilai cukup akurat dalam menggambarkan kondisi stok karbon. Oleh karena itu, disarankan agar pengelolaan tutupan lahan di Kecamatan Babakan Madang lebih memperhatikan aspek keberlanjutan, khususnya pada kawasan dengan potensi penyimpanan karbon yang tinggi, serta dilakukan pengendalian alih fungsi lahan untuk meminimalkan penurunan stok karbon dan dampak lingkungan yang ditimbulkan. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi serta mengombinasikan model InVEST dengan metode lain dan penambahan variabel lingkungan maupun sosial agar diperoleh hasil analisis yang lebih komprehensif dan dapat dimanfaatkan secara optimal dalam perencanaan tata ruang serta kebijakan mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Z. Azham, "Estimasi Cadangan Karbon Pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Semak dan Belukar di Kota Samarinda," Agrifor, vol. 14, no. 2, pp. 325–338, 2015. https://doi.org/10.31293/af.v14i2.1438.

[2] U. F. Kurniawati, "Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Besaran Stok Karbon di Kota Surabaya," J. Penataan Ruang, vol. 16, no. 1, p. 54, 2021. https://doi.org/10.12962/j2716179X.v16i1.8951.

[3] F. A. Rahman, N. Mubarokah, E. Yuhardi, A. Adiputra, S. Supriyadi, and S. Suryawati, "Perubahan Tutupan Lahan dan Stok Karbon Permukaan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Blega," J. Sumberd. Alam dan Lingkung., vol. 10, no. 2, pp. 69–78, 2023. 8 https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2023.010.02.3.

[4] N. Suwedi, "Upaya Pencegahan Dan Penanggulangan Dampak Pemanasan Global," J.

Tek. Lingkung., vol. Volume 2, 2005. https://doi.org/10.55123/in sologi.v3i6.4627.

[5] M. A. Fadillah, N. Bashit, S. Qoyimah, H. Susilo, and D. Apriyanti, "Analisis Pendugaan Stok Karbon Vegetasi Dengan Penginderaan Jauh Menggunakan Metode Light Use Efficiency Di Hutan Penggaron, Kota Ungaran Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah," Elipsoida J. Geod. dan Geomatika, vol. 6, no. 1, pp. 32–42, 2023. https://doi.org/10.14710/elipsoida.2023.18829

[6] R. Fadhli, S. Sugianto, and S. Syakur, "Analisis Perubahan Penutupan Lahan dan Potensi Karbon di Taman Hutan Raya Pocut Meurah Intan, Aceh Indonesia," J. Ilmu Lingkung., vol. 19, no. 2, pp. 450–458, 2021. doi : 10.14710/jil.19.2.450-458.

[7] Z. Azham, "Estimasi Cadangan Karbon pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Semak dan Belukar di Kota Samarinda.," J. Agrifor, vol. V.14, no.2, pp. 325–338, 2015. https://doi.org/10.31293/af.v14i2.1438

[8] R. Emelyana, B. Sasmito, and Y. Prasetyo, "Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan SIG untuk Pemetaan Kawasan Potensi Sumber PLTS di Pulau Jawa," J. Geod. Undip, vol. 6, no. 2, pp. 12–20, 2017.

[9] E. Muningsih, "Kombinasi Metode K-Means Dan Decision Tree Dengan Perbandingan Kriteria Dan Split Data," J. Teknoinfo, vol. 16, no. 1, p. 113, 2022.

[10] Puyang Li, Datu Buyung Agusdinata and Putu Hery Suditha, "Ecosystem services and trade-offs: implications for land dynamics and sustainable livelihoods in Northern Lombok, Indonesia" vol. 1. pp. 88, 2020. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00775-1

[11] P. Li, J. Chen, Y. Li, and W. Wu, "Using the InVEST-PLUS Model to Predict and Analyze the Pattern of Ecosystem Carbon storage in Liaoning Province, China," Remote Sens., vol. 15, no. 16, 2023.

[12] M. S. Rindyantika, Putri and , Dr. Kuswaji Dwi Priyono, "Analisis Spasial Perubahan Penggunaan Lahan di Kecamatan Jaten Kabupaten Karanganyar Tahun 2008 Dan 2018," Universitas Muhammadiyah Surakarta., 2019.

[13] S. Y. J. Prasetyo, "Bab 4: Tata Guna Dan Tutupan Lahan", vol. 1. 2023.

[14] A. Ridhayana, A. Darmawan, T. Santoso, and S. B. Yuwono, "Sungai Sekampung Hulu, Lampung Menggunanakn Data Pengindraan Jauh (Land Cover Change in the Upper Sekampung River Basin , Lampung Using Remote Sensing Data)," vol. 16, pp. 104–113, 2022.

[15] Rizka Amalia, "Perubahan Tutupan Lahan Akibat Ekspansi Perkebunan Kelapa Sawit : Dampak Sosial, Ekonomi, Dan Ekologi" vol. 17, pp. 130 – 139, 2019. doi:10.14710/jil.17.1.130-139.

[16] K. A. Y. O. I. Gifari, K. Kusrini, "'Analisis Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Klasifikasi Terbimbing Pada Data Citra Penginderaan Jauh Kota Samarinda-Kalimantan Timur,'" Inform. Mulawarman J. Ilm. Ilmu Kompute, vol. 18, n, pp. 71, Aug. 2023, doi: 10.30872/jim.v18i2.5716.

[17] N. S. Oktavia, "Analisis Kualitas Badan Air dan Kualitas Air Sumur di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun" Fakultas, K. M. Universitas, A. Departemen, and K. Lingkungan, Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol. 10, No. 1 Januari 2018: 1–12.

[18] R. R. S. dan S. R. Kurniatun Hairiah, Andree Ekadinata, Pengukuran cadangan karbon dari tingkat lahan ke bentang lahan, 2nd ed, 2011.

[19] D. Y. Nasib Tuah, Rudianda Sulaeman, "Penghitungan Biomassa dan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Hutan Larangan Adat Rumbio Kab Kampar," vol. Vol 4 No 1, pp. 1–10, 2017. doi: 10.17352/ojeb.000021

[20] H. H. Siringoringo, P. Penelitian, J. G. Batu, and P. Box, "Peranan penting pengelolaan penyerapan karbon dalam tanah," no. C, 2014.

[21] P. Hamel et al., "Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software," npj Urban Sustain., vol. 1, no. 1, 2021. https://doi.org/10.1038/s4 2949-021-00027-9

[22] W. W. P. Li, J. Chen, Y. Li, "'Using the InVEST-PLUS Model to Predict and Analyze the Pattern of Ecosystem Carbon storage in Liaoning Province, China,' Remote Sens (Basel)," vol. 15,no, 2023.

[23] D. P. Rahmat, D. Antoni, and H. Suroyo, "Sistem Informasi Geografis Pemetaan Area Menggunakan Arcgis (Studi Kasus Lokasi Organisasi Masyarakat (Ormas) Keagamaan Di Kota Palembang)," vol. 2, no. 4, pp. 257–267, 2021. https://doi.org/10.31603/mesi.10787.

[24] Syahrani Lonang, Anton Yudhan and Muhammad Kunta Biddinika "Analisis Komparatif Kinerja Algoritma Machine Learning untuk Deteksi Stunting" vol. 7, no. 4, page 2109 – 2117, 2023. doi: 10.30865/mib.v7i4.6553.

[25] Rosario Delgado and Xavier-Andoni Tibau "Why Cohen's Kappa should be avoided as performance measure in classification" vol. 14, no. 9, 2019 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222916.

[26] Subhan Nisa, Teuku Alvisyahrin and Muyassir "Analisis Indeks Kualitas Tanah pada Lahan Pertanian di Kecamatan Lhoong Kabupaten Aceh Besar" vol. 8, no. 4, 2023. https://doi.org/10.17969/jimfp.v8i4.28108.