

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dunia saat ini. Salah satu penyebab utama dari fenomena ini adalah meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, terutama karbon dioksida (CO_2). Aktivitas manusia seperti konversi lahan dan pembakaran bahan bakar dapat meningkatkan konsentrasi GRK di atmosfer. Gas rumah kaca berfungsi sebagai insulator yang menahan panas, sehingga panas dari sinar matahari yang mencapai bumi tidak sepenuhnya terlepas kembali ke angkasa (Anderson et al., 2016). Hutan memainkan peran penting dalam upaya peningkatan penyerapan karbon dioksida (CO_2). Dengan bantuan sinar matahari dan ketersediaan air dari tanah, tumbuhan berklorofil mampu menyerap CO_2 dari atmosfer melalui proses fotosintesis.

Penyebab terjadinya perubahan iklim juga karena perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan, yang umumnya dipicu oleh aktivitas manusia dengan peningkatan jumlah penduduk, yang menjadi isu global dan memberikan dampak besar terhadap iklim serta keseimbangan ekosistem (Rahman et al., 2023). Perubahan tutupan lahan memberikan dampak signifikan terhadap keseimbangan karbon di atmosfer. Hal ini terjadi karena adanya konversi lahan yang semula merupakan lahan vegetasi kemudian berubah menjadi lahan non vegetasi sesuai dengan kepentingan tertentu sehingga mengurangi kemampuan lahan untuk menyerap karbon. Dengan demikian, alih fungsi lahan menjadi salah satu penyebab yang berdampak langsung pada perubahan jumlah cadangan karbon yang tersimpan di wilayah tersebut (Permata & Rahayu, 2021).

Kementerian Kehutanan saat ini masih menggunakan citra satelit Landsat dengan skala 1:250.000 yang diperbarui setiap tahun. Metode yang digunakan masih mengandalkan interpretasi visual dan pemrosesan secara manual (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020), sehingga cenderung bersifat subjektif dan kurang efisien sehingga diperlukan pemanfaatan citra dengan resolusi yang lebih detail seperti citra Sentinel-2A yang memiliki resolusi 10meter dibandingkan dengan 30meter pada citra Landsat. Pemanfaatan data citra dengan resolusi spasial sedang seperti Sentinel-2A ini dapat dioptimalkan lebih lanjut melalui integrasi dengan berbagai indeks vegetasi.

Menurut Al Fathoni et al (2025) Indeks vegetasi dapat digunakan untuk mendukung dan melatih proses klasifikasi algoritma berbasis *Machine Learning*, khususnya *Random Forest* untuk meningkatkan efisiensi pemantauan yang dijalankan di platform *Google Earth Engine* (GEE) dapat digunakan untuk mengolah data citra Sentinel-2A secara otomatis dan lebih efisien. Menurut Sari et al (2022) Indeks seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Enhanced Vegetation Index* (EVI) sensitif terhadap biomassa hijau dan atmosfer, indeks *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) untuk mengidentifikasi area terbangun

dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) untuk memisahkan fitur air dan non-air.

Kabupaten Maros merupakan wilayah yang memiliki tutupan lahan yang bervariasi mulai dari hutan, lahan pertanian, permukiman, serta memiliki karakteristik geografis unik seperti pesisir dan pegunungan karst. Menurut BPS Kabupaten Maros Tahun 2024 jumlah penduduk di Kabupaten Maros telah meningkat menjadi 423.989 jiwa, dibandingkan dengan 353.121 jiwa pada tahun 2019. Pertambahan jumlah penduduk dalam suatu daerah tentunya diikuti oleh perubahan alih fungsi lahan. Akibat adanya perubahan alih fungsi lahan ini menyebabkan berkurangnya lahan terbuka hijau yang memiliki peran yang penting dalam penyerapan gas CO₂.

Untuk mendukung penilaian dampak penggunaan tutupan lahan terhadap jasa ekosistem berbagai kelompok ilmiah internasional merekomendasikan penerapan model *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST) sebagai alat penilaian jasa ekosistem yang inovatif. Salah satu aspek yang dinilai oleh model ini adalah penyimpanan karbon, yang mengacu pada jumlah karbon yang tersimpan dalam berbagai kumpulan karbon seperti hutan, lautan, dan daratan (Li et al., 2022). Berdasarkan uraian diperlukan pemantauan dan penilaian terhadap jasa ekosistem, seperti penyimpanan karbon. Dengan demikian, penerapan teknologi penginderaan jauh berbasis Sentinel-2 dan Indeks Vegetasi, dikombinasikan dengan penggunaan *Google Earth Engine* dan model InVEST, dapat digunakan untuk mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan di Kabupaten Maros.

1.2 Tujuan

Berdasarkan uraian diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perubahan tutupan lahan Kabupaten Maros tahun 2019 dan 2024 menggunakan citra Sentinel-2A
2. Menghitung potensi dan perubahan simpanan karbon dengan memanfaatkan model InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*).

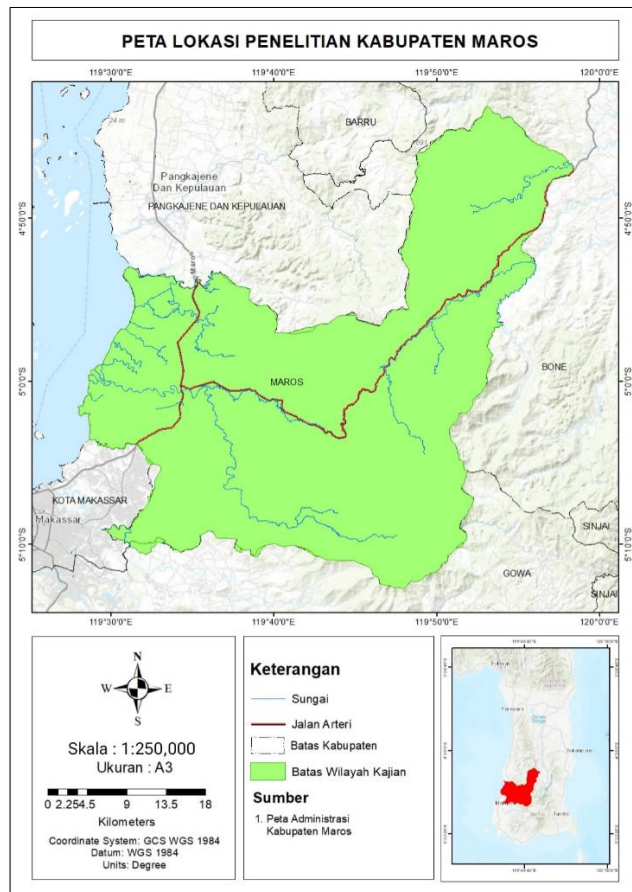
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan terhadap sistem pemantauan tutupan lahan dan perhitungan stok karbon, guna mendukung strategi mitigasi perubahan iklim berbasis data spasial.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus – Januari 2026. Untuk kegiatan lapangan jika diperlukan akan dilakukan di Kabupaten Meros dengan luas sebesar 1.447,298 km². Pengolahan data tahap pengumpulan data, pra pengolahan, pengolahan data, dan pelaporan hasil dilaksanakan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Laptop digunakan untuk pengelolaan data

2. *Google Earth Engine* (GEE) digunakan untuk pengambilan dan pengolahan data citra Sentinel 2-A dan indeks vegetasi NDVI, EVI, NDBI, dan NDWI
3. *Software InVEST* digunakan untuk mengukur Estimasi Sekuestrasi Karbon
4. *Software Google Earth Pro* digunakan untuk melakukan *groundtruth* tutupan lahan
5. Microsoft Office dipakai untuk menyusun laporan hasil pemrosesan
6. Software GIS (ArcGIS) digunakan untuk mengolah data atau variabel yang tidak tersedia di GEE.

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan Penelitian

No	Bahan	Kegunaan	Sumber
1	Citra <i>Harmonized</i> Sentinel-2 MSI: <i>MultiSpectral Instrument</i> , Level-2A tahun 2024	Sebagai bahan analisis untuk membuat peta Tutupan Lahan	<i>Google Earth Engine</i> https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED?hl=id
2	Batas administrasi Kabupaten Maros	Sebagai lokasi kajian dalam penelitian	Badan Informasi Geografis

2.3 Prosedur Penelitian

Adapun pada penelitian ini dimulai dengan empat tahap yaitu pengumpulan data, pra pengolahan, pengolahan data, dan pelaporan hasil. Pengumpulan data diawali dengan studi literatur, yaitu penelusuran dan penelaahan referensi relevan dari riset-riset sebelumnya serta mengidentifikasi data yang akan digunakan dalam penelitian. Tahap pra pengolahan dilakukan untuk menyiapkan data agar siap digunakan dalam analisis, tahap pengolahan data melibatkan penerapan algoritma dan model untuk mendapatkan informasi yang diinginkan dari data yang telah di pra pengolahan, dan tahap pelaporan hasil melibatkan penyajian temuan penelitian.

2.3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur dan referensi berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Selanjutnya pengumpulan data dilakukan meliputi batas administrasi Kabupaten Maros, pengunduhan citra Sentinel-2 Level-2A (yang telah melalui koreksi atmosfer). Citra ini memiliki resolusi spasial 10 m dan resolusi temporal lima hari yang diakses melalui platform *Google Earth Engine* (GEE).

Sentinel-2A. Sentinel-2A merupakan citra optik Eropa yang diluncurkan pada tahun 2015 yang merupakan satelit pertama yang diluncurkan sebagai bagian dari program *European Space Agency* (ESA) *Copernicus* (Putri et al., 2018). Satelit ini

terdiri dari petak resolusi tinggi imager *multispectral* yang memiliki 13 band, 4 *band* beresolusi 10 m, 6 *band* beresolusi 20 m, dan 3 *band* beresolusi spasial 60 m dengan area sapuan 290 km (Awaliyan & Sulistyoadi, 2018). Satelit ini akan melakukan pengamatan terestrial dalam menyediakan informasi untuk pemetaan dan pemantauan tutupan lahan secara detail dan akurat untuk analisis perubahan lingkungan, perencanaan tata ruang, dan pengelolaan sumber daya alam.

2.3.2 Pra-Pengolahan Data

Pra-pemrosesan citra dilakukan untuk meminimalkan gangguan atmosfer, khususnya awan dan awan tipis (*cirrus*), yang berpotensi mempengaruhi kualitas analisis spasial. Citra Sentinel-2 diproses menggunakan platform *Google Earth Engine* (GEE) dengan menerapkan metode *cloud masking* berbasis *Quality Assessment Band* (QA60). *Band* QA60 pada Sentinel-2 menyimpan informasi biner terkait keberadaan awan dan *cirrus*, masing-masing direpresentasikan pada bit ke-10 dan bit ke-11. Piksel diklasifikasikan sebagai bebas awan apabila kedua bit tersebut bernilai nol. Proses *cloud masking* dilakukan dengan mengekstraksi *band* QA60, kemudian menerapkan operasi *bitwise* untuk mengidentifikasi dan menghapus piksel yang terkontaminasi awan maupun *cirrus* (Sinabutar et al., 2020). Hanya piksel yang memenuhi kriteria bebas awan dan *cirrus* yang dipertahankan untuk analisis selanjutnya.

Setelah proses *masking*, citra hasil pemrosesan digunakan sebagai input untuk tahapan analisis berikutnya, seperti perhitungan indeks spektral, klasifikasi tutupan lahan, atau analisis perubahan spasial-temporal. Dalam data penginderaan jauh, dibutuhkan ekstraksi data indeks vegetasi digunakan sebagai transformasi spektral dari dua atau lebih pita yang bertujuan untuk memperkuat kontribusi sifat vegetasi dan memungkinkan perbandingan spasial dan temporal aktivitas fotosintesis terestrial serta variasi struktural kanopi (Taddese et al., 2020).

Ekstraksi data dilakukan untuk mendapatkan nilai variabel indeks vegetasi dari citra yang telah di ambil dari penginderaan jauh. Indeks vegetasi hasil ekstraksi dari penginderaan jauh memegang peran penting dalam memantau, memetakan, dan mengelola vegetasi terestrial. Indeks ini secara radiometrik mengukur kuantitas, struktur, dan kondisi vegetasi, serta merupakan indikator efektif untuk variasi musiman. (Sari et al., 2022).

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) adalah indeks vegetasi yang biasa digunakan untuk memadukan kehijauan sebuah vegetasi atau kadar klorofil pada tumbuhan dengan memadukan reflektansi terukur dari saluran lampu merah dan saluran cahaya inframerah. NDVI dihitung dengan menggunakan band inframerah dekat (B8) dan band merah (B4), yang bermanfaat untuk memantau kondisi kesehatan vegetasi; nilai NDVI yang lebih tinggi mengindikasikan vegetasi yang lebih sehat (Al Fathoni et al., 2025). Persamaan atau rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai NDVI yaitu:

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

NIR (*Near Infrared*) untuk sentinel-2 yaitu band 8A. Red untuk sentinel-2 yaitu band 4. Indeks ini mempunyai kisaran nilai dari -1,0 sampai 1,0.

EVI (*Enhanced Vegetation Index*) merupakan indeks vegetasi yang telah dioptimalkan untuk meningkatkan sinyal vegetasi. Desainnya memungkinkan sensitivitas yang lebih baik pada area dengan biomassa tinggi dan pemantauan vegetasi yang lebih akurat, terutama melalui kemampuan indeks ini dalam memisahkan sinyal kanopi dari latar belakang serta mengurangi dampak atmosfer (Yudistira et al., 2018). Persamaan atau rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai EVI yaitu:

$$\frac{NIR - Red}{NIR + 6 \times Red - 7,5 \times Green + 1} \quad (2)$$

EVI pada citra Sentinel-2 dihitung di *Google Earth Engine* menggunakan fungsi *expression* dengan memanfaatkan band NIR, Red, dan Blue.

NDBI (*Normalized Difference Built-up*) merupakan indeks yang sangat sensitif terhadap lahan terbangun atau lahan terbuka yang dikembangkan untuk menonjolkan kenampakan lahan terbangun dibandingkan dengan obyek yang lainnya (Wicaksono et al, 2021). Persamaan atau rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai NDBI yaitu

$$\frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (3)$$

NDBI pada citra Sentinel-2 dihitung di *Google Earth Engine* menggunakan fungsi *expression* dengan memanfaatkan band SWIR dan NIR.

NDWI (*Normalized Difference Water Indeks*) Merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan air di permukaan. Algoritma NDWI dikembangkan oleh McFeeters (1996) dan berfungsi untuk membedakan antara objek yang mengandung air dan yang tidak. Nilai NDWI dihitung dengan membandingkan band Green dan band Near Infrared, yang dihitung melalui persamaan berikut:

$$\frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (4)$$

NIR (Near Infrared) untuk Sentinel-2 adalah band 8A, sedangkan Green adalah band 3. Indeks ini memiliki kisaran nilai dari -1,0 hingga 1,0 (Muhammad, 2023).

2.3.3 Pengolahan Data

Machine Learning merupakan ilmu atau studi yang mempelajari tentang algoritma yang digunakan oleh sistem komputer untuk melakukan *task* tertentu tanpa instruksi eksplisit. *Machine Learning* berfokus pada pengembangan sistem yang dapat belajar mandiri untuk memutuskan sesuatu tanpa harus berulang kali diprogram oleh manusia (Chollet, 2017). Pengolahan data dilakukan dengan klasifikasi Tutupan lahan berbasis indeks vegetasi dan algoritma *Machine Learning* seperti *supervised*. Dalam pengembangan model *Machine Learning*, data *training*

adalah data yang digunakan untuk membangun dan melatih model *Machine Learning*. Sementara itu, data validasi atau *testing* digunakan untuk melihat akurasi dari model yang dibuat (Breck et al., 2019).

Ekstraksi Indeks dilakukan dengan menghitung empat indeks vegetasi utama, yaitu NDVI, EVI NDBI dan NDWI. Indeks-indeks tersebut telah terbukti efektif membedakan tipe tutupan lahan berdasarkan karakteristik vegetasi dan tutupan lahan. NDVI dan EVI sensitif terhadap biomassa hijau dan atmosfer, NDBI sensitif terhadap lahan terbangun dan NDWI digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan air di permukaan. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan metode **Klasifikasi Terbimbing (Supervised)** atau suatu proses mengidentifikasi piksel yang dapat mewakili kelas yang ingin diklasifikasikan dengan menggunakan algoritma *Random Forest* (RF) yang telah terbukti unggul dalam pemrosesan data *multispectral*.

Random Forest merupakan metode yang memiliki keunggulan yakni mampu berjalan secara efisien untuk database yang besar dan mampu menghasilkan hasil perkiraan yang tidak bias dalam hasil *foresting* (pengelompokan). Dengan menggabungkan banyak pohon keputusan, *Random Forest* mampu menghasilkan klasifikasi yang lebih stabil dan akurat dibandingkan metode lainnya. Perpaduan keunggulan ini menjadikan *Random Forest* sebagai algoritma yang terpercaya untuk analisis data berbasis citra satelit untuk membuat klasifikasi tutupan lahan. Adapun kelas Tutupan lahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kelas Tutupan Lahan

No	Tutupan Lahan
1	Hutan Alam
2	Hutan Karst
3	Pertanian Lahan Kering Campur
4	Lahan Terbuka
5	Sawah
6	Semak Belukar
7	Lahan Terbangun
8	Tambak
9	Badan Air

Penentuan area contoh (*training area*) merupakan langkah penting untuk memastikan akurasi dalam hasil interpretasi. Area-area ini dipilih secara cermat dengan mempertimbangkan representasi setiap kelas tutupan lahan yang akan diklasifikasikan, seperti hutan, pertanian lahan kering, badan air, lahan terbangun, tambak, lahan terbuka, sawah dan semak belukar. Proses ini dilakukan dengan bantuan interpretasi visual citra. Setiap *training area* diambil dari daerah yang homogen dan dianggap mewakili masing-masing kelas tutupan lahan (Gifari et al., 2023).

2.3.4 Uji Akurasi dan Validasi Data Lapangan

Uji akurasi dan validasi data lapangan dilakukan untuk memastikan kebenaran hasil klasifikasi. Setelah dilakukan klasifikasi selanjutnya menghitung *accuracy assessment* yang meliputi *confusion matrix* dan *kappa coefficient* melalui GEE. *Confusion matrix* digunakan untuk akurasi keseluruhan yang meliputi *producers accuracy*, *user accuracy*, dan *kappa coefficient* (Lu & Weng, 2007). *Producer's Accuracy* (PA) merupakan probabilitas dari piksel yang terklasifikasi secara benar kedalam suatu tipe tutupan lahan, nilai *Producer's Accuracy* mewakili kesalahan akibat kelalaian. *User Accuracy* (UA) merupakan proporsi dari piksel yang terklasifikasi secara benar, nilai UA mewakili dari kesalahan dalam pelaksanaan.

Setelah proses mendetailkan data tutupan lahan yang sudah ada dan telah mendapatkan hasil Tutupan lahan terbaru, maka perlu dilakukan kegiatan pengambilan data di lapangan dengan metode *groundcheck* dan *groundtruth* yang kemudian dilakukan perhitungan dari data-data yang didapatkan di lapangan (Putri et al., 2018). Pengecekan lapangan mencakup kegiatan survei untuk memperoleh data langsung di lokasi serta memverifikasi kesesuaian kondisi lapangan dengan hasil interpretasi Tutupan lahan yang telah dibuat sebelumnya. Untuk menentukan jumlah titik yang akan disebar dari populasi yang ada, digunakan tingkat toleransi kesalahan atau *margin of error* sebesar 10% (0,1). Metode *Slovin* diterapkan karena populasi yang diteliti cukup besar dan tidak memungkinkan untuk mengamati seluruh populasi. Rumus *Slovin* dapat dilihat melalui persamaan berikut:

$$n = \frac{N}{(1+Ne^2)} \quad (5)$$

Keterangan:

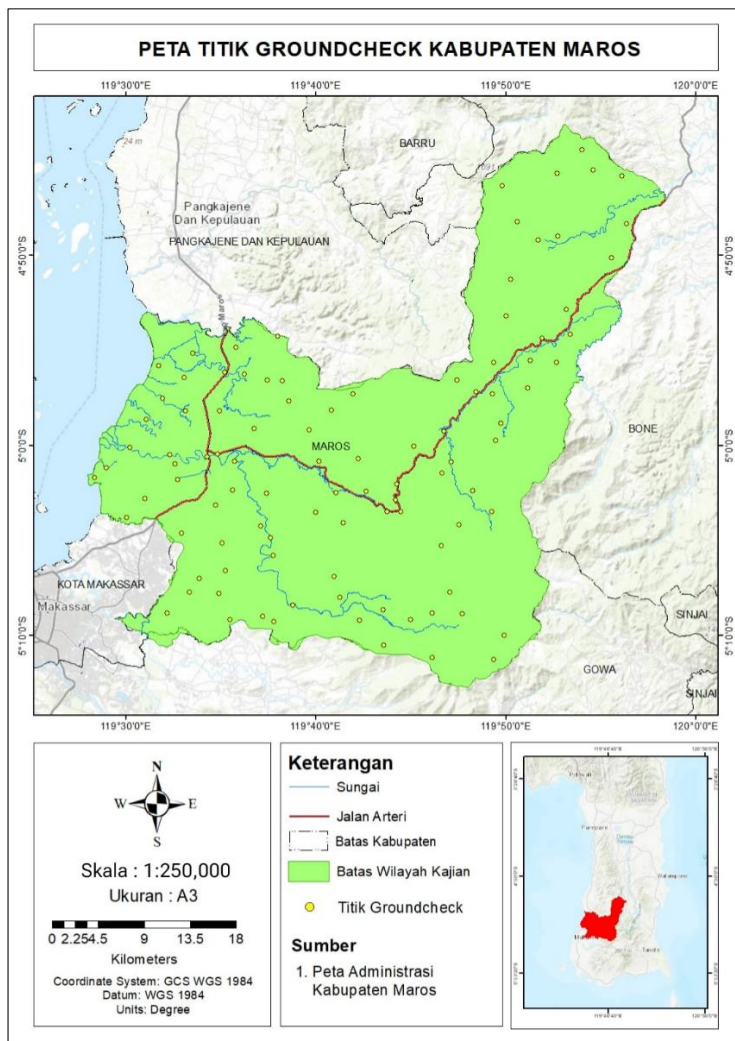
n = Jumlah Sampel

N = Jumlah Poligon Tiap Kelas (Poligon Keseluruhan)

E = Batas Toleransi Kesalahan (*Margin of Error*)

e = Margin kesalahan yang diinginkan (dalam bentuk desimal)

Kegiatan pengecekan lapangan dimulai dengan menentukan titik koordinat perwakilan pada setiap kelas Tutupan lahan yang ada, Berdasarkan perhitungan dari rumus slovin diatas didapatkan 100 titik survei dengan margin of error 10% atau 0,1. Persebaran titik koordinat perwakilan dapat dilihat pada gambar 2 dengan menggunakan 8 kelas Tutupan lahan.



Gambar 2. Peta Titik *Groundcheck*

Kegiatan pengecekan di lapangan dimulai dengan penentuan titik koordinat perwakilan untuk setiap kategori Tutupan lahan yang ada. Selain pengambilan titik koordinat, juga dilakukan pengambilan gambar dan informasi lain yang relevan dengan jenis Tutupan lahan di lokasi tersebut. Sementara itu, *Groundtruth* dilakukan menggunakan *Google Earth Pro*, di mana validasi ini diterapkan pada titik sampel yang tidak dapat dijangkau karena masalah aksesibilitas. Uji akurasi dilakukan dengan membuat sampel acak pada peta dan memverifikasi tipe Tutupan lahan. *Confusion matrix* sering digunakan untuk mendapatkan data analitis dan deskriptif untuk akurasi klasifikasi dan terdiri dari nilai-nilai yang ditunjukkan dalam kolom dan baris (Congalton, 1991). Perhitungan akurasi pada tabel *Confusion matrix* untuk interpretasi citra dilakukan dengan Tabel 3.

Tabel 3. *Confusion matrix*

		Data Interpretasi			Total
		A'	B'	C'	
Data Lapangan	A	X_n			X_{n+}
	B		X_n		
	C			X_n	
Total		X_{n+}			N

Setelah proses pengambilan data melalui *groundcheck* dan *groundtruth* dilakukan tahap selanjutnya adalah *Kappa coefficient* didapatkan melalui penghitungan statistik reliabilitas antar penilai, dan dihitung menggunakan algoritma sebagai berikut:

$$Kappa = \frac{N \sum X - \sum X_i + \sum X_{+i}}{N^2 - \sum X_i + \sum X_{+i}} \times 100 \quad (6)$$

Dimana, N adalah total data (piksel) yang diuji, X adalah nilai diagonal matriks baris ke-n dan kolom ke-l, X_i adalah jumlah piksel dalam baris ke-l, dan X_{+i} adalah jumlah piksel dalam kolom ke-i. Tingkat akurasi mengacu pada standar yang dibuat oleh *United States Geological Survey* (USGS), yakni minimal sebesar 85%.

2.3.5 Pemodelan InVEST

Metode penelitian telah berevolusi dari sekadar inventarisasi lahan sampel menjadi kombinasi canggih antara pemantauan dan pemodelan berbasis penginderaan jauh. Metode inventarisasi lahan sampel yang tradisional dan awal cenderung memerlukan investasi besar dalam hal tenaga kerja, sumber daya material, dan waktu pembaruan yang tinggi, sehingga lebih sesuai untuk skala kecil. Sebaliknya, penginderaan jauh menawarkan kapasitas pemantauan skala luas, dan ketika digabungkan dengan teknik pemodelan, menyediakan solusi yang lebih efisien dan hemat biaya untuk penilaian karbon (Li et al., 2022).

InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) adalah seperangkat model yang dirancang untuk menghitung dan menilai jasa-jasa ekosistem. Model karbon InVEST menggunakan model terrestrial biomassa tanah, biomassa bawah tanah, mati organik, dan bahan organik tanah, yang berguna untuk analisis penyimpanan karbon atau kehilangan karbon pada wilayah tertentu (Raj Kumar & Barik, 2018). Perhitungan stok karbon dalam lanskap, yang dilakukan oleh model InVEST untuk penyimpanan dan penyerapan, bergantung pada tabel referensi yang berisi nilai karbon untuk setiap jenis tutupan lahan. Model InVEST menggunakan data *carbon stock* untuk menghitung densitas simpanan karbon.

Model penyimpanan dan penyerapan karbon yang menggunakan InVEST menghasilkan data melalui input peta distribusi tutupan lahan serta tabel nilai sumber simpanan karbon (*carbon stock*). Adapun Tutupan lahan 2019 merupakan *Baseline* dan Tutupan lahan 2024 sebagai *Alternate* dimana *Baseline* merupakan kondisi awal emisi karbon dan sekuestrasi (penyerapan) karbon yang dihitung dan *Alternate*

merupakan kondisi akhir yang akan digunakan untuk melihat perubahan yang terjadi dalam suatu periode tertentu.

Jumlah simpanan karbon setiap kelas tutupan lahan tersebut dihitung dalam satuan ton C/ha, dengan luasan piksel dalam peta tutupan lahan sebesar 10 m × 10 m. Menurut Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BSILHK) setiap jenis tutupan lahan memiliki nilai kandungan karbon yang berbeda, yang dihitung berdasarkan faktor kandungan karbon per unit luas. Adapun pada tabel 4 merupakan nilai biomassa tiap tutupan lahan yakni *Above Ground Biomass* (AGB) dan *Below Ground Biomass* (BGB) yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2024 yang selanjutnya dihitung nilai *Above Ground Carbon* dan *Below Ground Carbon* berdasarkan faktor konversi karbon sekitar 0,47 atau 47% sesuai dengan SNI 7724:2019 tentang Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon.

Tabel 4. Total AGB dan BGB

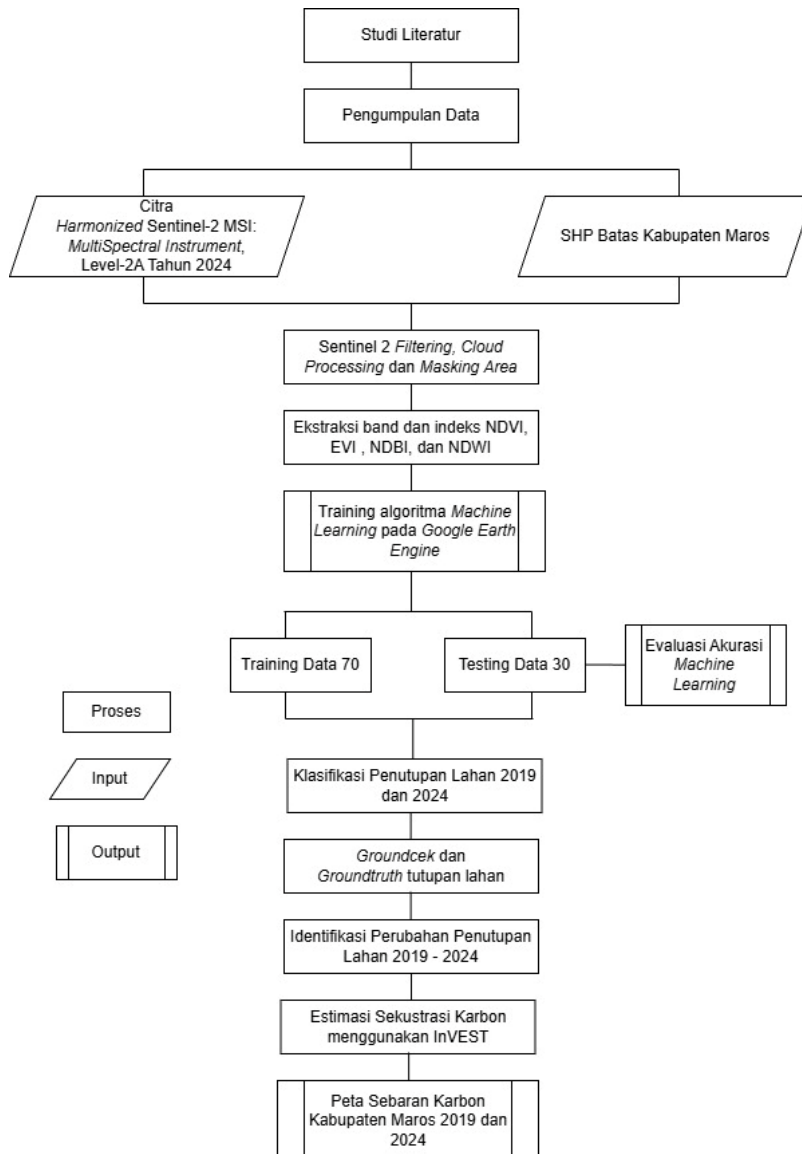
No	Tutupan Lahan	AGB (Mg/ha)	BGB (Mg/ha)	AGC (Ton/ha)	BGC (Ton/ha)
1	Hutan Alam	246,55	72,0	115,87	33,84
2	Hutan Karst	166,2	0,0	78,11	0
3	Pertanian Lahan Kering Campur	14,08	2,8	6,61	1,3
4	Lahan Terbuka	2,4	1,3	30,39	0,6
5	Sawah	10	3,8	4,7	1,8
6	Semak Belukar	23,38	14,0	6,6	6,6
7	Lahan Terbangun	2,17	0,4	1.019	0,2
8	Tambak	0	0,0	0	0
9	Badan Air	0	0,0	0	0

Sumber:

1. *Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2024*
2. *SNI 7724:2019*
3. *Shagir 2016*

2.4 Alur Penelitian

Untuk tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat secara seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian