

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia dengan kontribusi lebih dari setengah produksi global. Pada periode 2023/2024, Indonesia menghasilkan sekitar 44 juta metrik ton minyak sawit mentah atau 57% dari produksi dunia, menjadikannya pemain utama dalam industri ini (Sulaiman et al., 2024; USDA, 2024). Perkebunan kelapa sawit tidak hanya berperan penting dalam perekonomian nasional, tetapi juga menimbulkan persoalan lingkungan dan tata ruang, terutama terkait alih fungsi lahan dan berkurangnya kawasan hutan (Abdul, 2023). Alih fungsi lahan dari kawasan hutan ke perkebunan sawit, telah menjadi fenomena yang meluas di Indonesia. Sebagai contoh, konversi kawasan hutan ke sawit berdampak pada perubahan sosial-ekonomi dan kerusakan ekosistem (Fiqriyah et al., 2025; Syamsul et al., 2021).

Dalam konteks pengelolaan ruang, keberhasilan pelaksanaan kebijakan tata ruang sangat bergantung pada kesesuaian antara penggunaan lahan aktual dan dokumen regulasi seperti Rencana Pola Ruang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ketidaksesuaian penggunaan lahan terhadap pola ruang yang ditetapkan masih cukup signifikan (Mu'ammam dan Amrullah, 2023).

Kabupaten Wajo di Sulawesi Selatan merupakan salah satu wilayah yang menghadapi tantangan tersebut di mana perkembangan kelapa sawit menuntut perhatian lebih. Walaupun luas perkebunan meningkat, belum tentu semua tutupan sawit berada pada zona yang sesuai dengan rencana pola ruang. Keberadaan tutupan sawit di lahan yang seharusnya bukan untuk perkebunan berpotensi menimbulkan dampak ekologis yang signifikan, mulai dari deforestasi, hilangnya keanekaragaman hayati, meningkatnya emisi karbon, serta gangguan hidrologi. Penelitian terhadap konsistensi penggunaan lahan menunjukkan bahwa persentase besar wilayah bisa saja berada di luar peruntukan yang direncanakan (Mu'ammam dan Amrullah, 2023).

Perkembangan kelapa sawit di Kabupaten Wajo terus meningkat seiring dengan nilai ekonomi yang tinggi. Namun, distribusi perkebunan sawit sering kali belum selaras dengan zonasi yang ditetapkan dalam rencana pola ruang, sehingga berpotensi menimbulkan konflik pemanfaatan ruang, misalnya ketika sawit masuk ke kawasan lindung atau non-perkebunan. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang dapat mengidentifikasi tutupan lahan kelapa sawit sekaligus menilai tingkat kesesuaiannya dengan rencana pola ruang sebagai dasar dalam pengelolaan ruang yang lebih tepat (Marzuki et al., 2023).

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh berbasis citra satelit dan *machine learning*, seperti algoritma *Random Forest* pada *platform Google Earth Engine*, untuk pemetaan kelapa sawit dilakukan secara cepat, akurat, dan efisien (Sulaiman et al., 2024; Xu et al., 2021). Dengan pendekatan ini, distribusi lahan sawit tidak hanya memotret kondisi aktual pemanfaatan lahan, tetapi juga menganalisis kesesuaiannya terhadap rencana pola ruang. Penelitian ini tidak hanya memotret kondisi aktual pemanfaatan lahan, tetapi juga menganalisis kebijakan, penertiban penggunaan ruang, peninjauan izin pemanfaatan lahan, dan rencana restorasi pada sawit yang tidak sesuai peruntukan dan zonasi (Sulaiman et al., 2024).



Dengan demikian, penelitian ini dapat berkontribusi mewujudkan tata kelola lahan di Kabupaten Wajo yang lebih seimbang antara aspek ekonomi dan ekologi.

## 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan memetakan tutupan lahan kelapa sawit di Kabupaten Wajo menggunakan algoritma *random forest*.
2. Menganalisis kesesuaian penggunaan lahan kelapa sawit terhadap rencana pola ruang Kabupaten Wajo serta memberikan rekomendasi arah pengelolaan pada areal kelapa sawit yang tidak sesuai peruntukan.

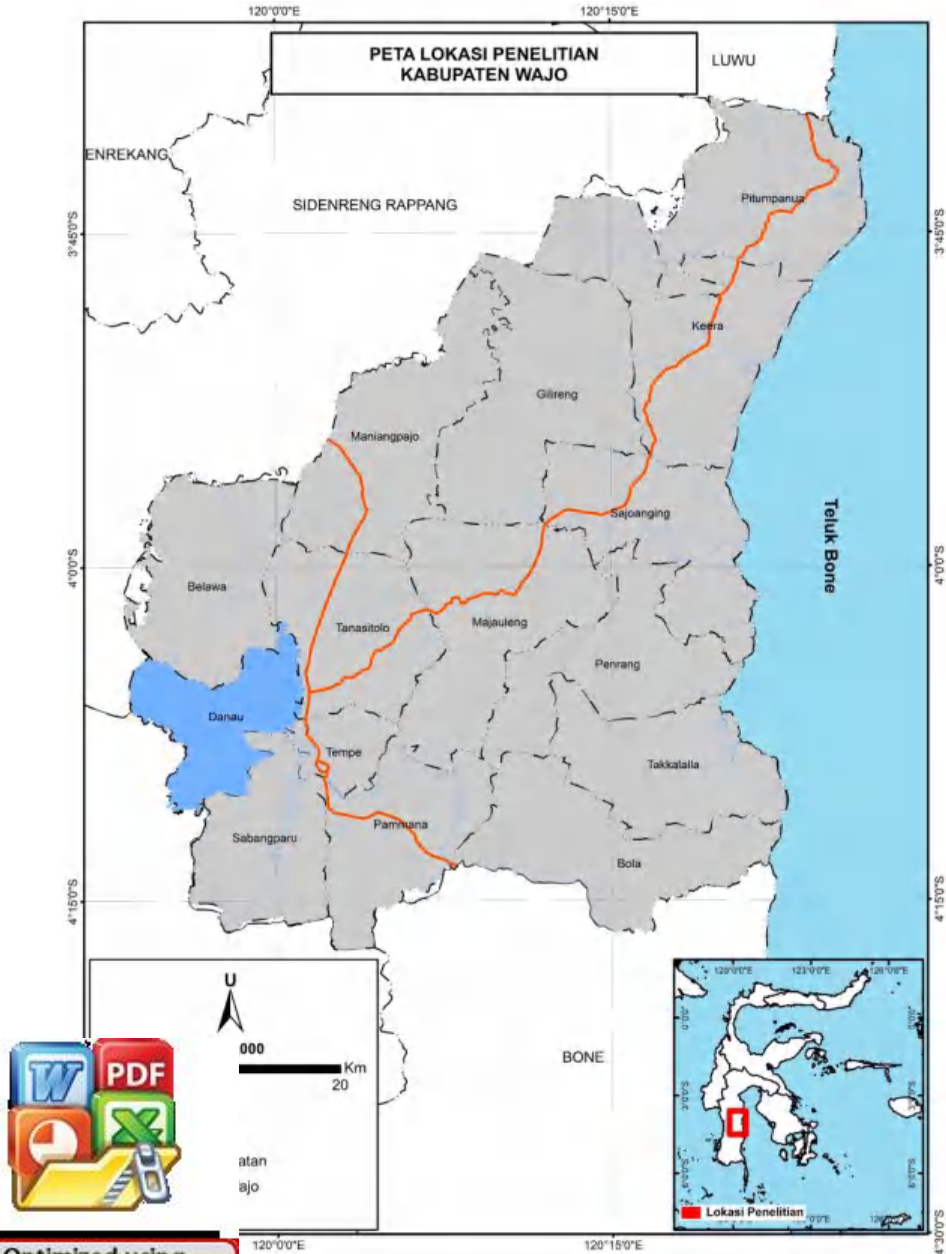
Penelitian ini bermanfaat dalam menyediakan informasi spasial mengenai kesesuaian tutupan lahan kelapa sawit dengan rencana pola ruang Kabupaten Wajo, sehingga dapat menjadi acuan dalam perencanaan tata ruang yang lebih tepat. Hasil penelitian juga membantu mengidentifikasi areal sawit yang tidak sesuai peruntukan, yang dapat diprioritaskan untuk penegakan aturan maupun diarahkan kawasan rehabilitasi atau restorasi.



## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga November 2025. Pengumpulan data dilakukan di Kabupaten Wajo sebagai lokasi kajian, sedangkan pengolahan dan analisis data dilaksanakan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Kabupaten Wajo terletak di bagian tengah Provinsi Sulawesi Selatan dengan luas wilayah sekitar 2.506,19 km<sup>2</sup>. Secara geografis, Kabupaten Wajo berada pada koordinat 3°30'–4°00' Lintang Selatan dan 119°50'–120°27' Bujur Timur, berbatasan dengan Kabupaten Luwu dan Kabupaten Sidrap di utara, Teluk Bone di timur, Kabupaten Bone dan Kabupaten Soppeng di selatan, serta Kabupaten Sidrap di barat. Ibu kota kabupaten, Sengkang, merupakan pusat administrasi dan ekonomi wilayah ini. Kabupaten ini terdiri atas 14 kecamatan dengan kondisi topografi bervariasi mulai dari dataran rendah di bagian barat hingga perbukitan di bagian timur.

Sebagian besar wilayah Kabupaten Wajo didominasi oleh lahan dataran rendah dan dataran rendah bergelombang, dengan elevasi bervariasi dari 0 m sampai sekitar 500 m di atas permukaan laut. Lahan berbukit di wilayah ini sebagian besar dimanfaatkan dalam pembangunan hutan dan tanaman industri, perkebunan coklat, cengkeh, jambu mete serta pengembangan ternak untuk sektor pertanian dan perkebunan. Pada lahan dataran rendah dimanfaatkan sebagai lahan sawah dan perkebunan/tegalan, sedangkan pada area sekitar Danau Tempe dan pesisir Teluk Bone dimanfaatkan dalam pengembangan perikanan dan budidaya tambak. Berdasarkan Peraturan Daerah tentang Rencana Pola Ruang Kabupaten Wajo, struktur ruang wilayah mencakup kawasan lindung, kawasan budidaya, kawasan pertanian, serta kawasan perkebunan. Namun, peningkatan aktivitas perkebunan kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir menimbulkan dinamika baru dalam pemanfaatan ruang dan potensi ketidaksesuaian tata guna lahan. Kondisi tersebut menjadi alasan penting dilaksanakannya penelitian ini.

## 2.2 Alat dan Bahan

### 2.2.1 Alat


Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Laptop dengan spesifikasi mendukung pengolahan data spasial.
2. *Platform Google Earth Engine* (GEE) untuk pengolahan data citra satelit.
3. *Software GIS (ArcGIS)* untuk analisis spasial dan *overlay* rencana pola ruang.
4. *Microsoft Office* untuk pengolahan data tabular dan penyusunan laporan.
5. *Smartphone* untuk dokumentasi lapangan.
6. *Tallysheet* dan alat tulis untuk pencatatan data *ground check*.

### 2.2.2 Bahan

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

**Tabel 1.** Bahan Penelitian

| No | Bahan   | Kegunaan   | Sumber   |
|----|---|--|--|
| 1. | <i>Citra Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar</i>                    | Digunakan untuk ekstraksi tekstur dan <i>backscatter</i> | Diakses langsung pada <i>platform Google Earth Engine</i><br><a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets">https://developers.google.com/earth-engine/datasets</a> |
|    |  | Digunakan untuk analisis spektral dan indeks vegetasi    | Diakses langsung pada <i>platform Google Earth Engine</i><br><a href="https://developers.google.com/earth-engine/datasets">https://developers.google.com/earth-engine/datasets</a> |

| No | Bahan                                  | Kegunaan                          | Sumber                                |
|----|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 3. | Batas Administrasi Kabupaten Wajo      | Sebagai batas areal kajian        | Diperoleh dari BAPPEDA Kabupaten Wajo |
| 4. | Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Wajo | Sebagai dasar analisis kesesuaian | Diperoleh dari BAPPEDA Kabupaten Wajo |

### 2.3 Metode Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan kajian literatur dan telaah referensi dari penelitian sebelumnya yang relevan. Selanjutnya, data yang dikumpulkan meliputi data batas administrasi dan rencana pola ruang Kabupaten Wajo, serta citra Sentinel-1 SAR dan Sentinel-2 Level 2A yang diakses melalui *platform Google Earth Engine* (GEE). Tahap pra-pengolahan citra dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi analisis data. Setelah itu, dilakukan ekstraksi variabel untuk mengidentifikasi tanaman kelapa sawit menggunakan algoritma *Random Forest*. Hasil identifikasi kelapa sawit akan digunakan dalam analisis kesesuaian terhadap rencana pola ruang Kabupaten Wajo.

#### 1. Pra Pengolahan Citra

Pra-pengolahan citra merupakan langkah krusial dalam analisis citra satelit. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra dan menghilangkan *noise* atau gangguan yang dapat membuat informasi penting menjadi bias. Dengan melakukan pra-pengolahan, akan diperoleh citra yang lebih bersih dan akurat. Hal ini memperbesar kemungkinan untuk melakukan analisis yang lebih baik. Tahapan pra-pengelolaan meliputi *cloud masking*, *filtering*, *clipping*, dan *composite* citra untuk menggabungkan citra Sentinel-1 dan Sentinel-2.

**Sentinel-1.** *Script* ini memanfaatkan koleksi citra dari satelit Sentinel-1 untuk memperoleh data radar yang diperlukan dalam penelitian. Dengan menggunakan *ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1\_GRD')*, citra diambil untuk periode antara 1 Januari 2024 hingga 31 Desember 2024. *Filter* diterapkan untuk memilih hanya *band VV* dan *VH* menggunakan *filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))* dan *filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))*. Selain itu, hanya citra mode instrumen *IW* yang dipilih melalui *filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))*. Setelah memilih *band* yang relevan, fungsi *map* digunakan untuk menerapkan *masking*, di mana piksel dengan nilai kurang dari -30 dihapus. Akhirnya, nilai median dari citra yang telah di-*masking* kemudian dihitung menggunakan *.median()*, menghasilkan citra komposit yang siap dianalisis lebih lanjut.

```
// Mengambil koleksi citra Sentinel-1
var sentinel1 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
  .filterDate('2024-01-01', '2024-12-31') // Filter citra berdasarkan tanggal
  .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV')) // Mengambil band VV
  .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH')) // Mengambil band VH
  .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW')) // Mengambil mode instrumen IW
// Memilih band VV dan VH
ee.map(function(image) {
  ee.Mask(image.lt(-30).not()); // Masking difungsikan pada peta
}).median() // Menghitung median citra yang sudah di-masking
```



**Sentinel-2.** *Script* ini berfungsi untuk melakukan pemrosesan citra Sentinel-2 dengan metode *cloud masking* guna menghilangkan pengaruh awan dan awan sirus, serta menghasilkan citra dengan nilai median dari beberapa koleksi citra. Fungsi *maskS2clouds(image)* digunakan untuk menghapus piksel yang mengandung awan dan awan sirus pada citra Sentinel-2. Fungsi ini mengambil *band QA60* yang menyimpan informasi kualitas piksel, termasuk keberadaan awan. Bit ke-10 dan bit ke-11 dalam *band* ini merepresentasikan awan dan awan sirus, sehingga dilakukan operasi *bitwise* untuk mendeteksi keberadaan keduanya. Piksel yang mengandung awan atau awan sirus kemudian di-*masking*, sehingga hanya piksel bebas awan yang tersisa. Selanjutnya, nilai reflektansi citra dinormalisasi dengan membaginya dengan 10.000 agar sesuai dengan skala nilai yang umum digunakan dalam analisis penginderaan jauh. Citra Sentinel-2 diperoleh dari fungsi *dataset COPERNICUS/S2\_SR\_HARMONIZED*. Koleksi ini di-*filter* berdasarkan rentang waktu yang diinginkan, dalam analisis ini antara tanggal 1 Januari 2024 hingga 31 Desember 2024. Selain itu, citra yang memiliki persentase tutupan awan lebih dari 40% disaring menggunakan *filter CLOUDY\_PIXEL\_PERCENTAGE < 40* untuk memastikan kualitas data yang lebih baik. Kemudian, setiap citra dalam koleksi ini diproses menggunakan fungsi *maskS2clouds(image)* agar hanya menyisakan piksel yang bebas awan. Dari setiap citra yang telah di-*masking*, hanya *band* spektral tertentu yang dipilih, yaitu B2 (biru), B3 (hijau), B4 (merah), dan B8 (*near-infrared*), karena *band-band* ini yang akan digunakan dalam analisis selanjutnya. Fungsi *median()* diterapkan pada koleksi citra yang telah di-*masking* untuk menghasilkan citra tunggal dengan nilai median. Median digunakan untuk mengurangi pengaruh piksel dengan anomali atau *noise* akibat awan yang mungkin masih tersisa, sehingga menghasilkan citra yang lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya selama periode waktu yang dipilih.

```
// Fungsi untuk melakukan cloud masking pada citra Sentinel-2
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  var cloudBitMask = 1 << 10; // Bit 10 adalah awan
  var cirrusBitMask = 1 << 11; // Bit 11 adalah awan sirus
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0) // Membuat masking citra
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(10000); // Normalisasi nilai citra
}
// Mengambil koleksi citra Sentinel-2
var dataset = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
  .filterDate('2024-01-01', '2024-12-31') // Filter berdasarkan tanggal
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 40)) // Filter berdasarkan awan
  .map(maskS2clouds) // Menerapkan cloud masking
  .select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8']); // Memilih band yang akan digunakan
// Menghitung median citra yang sudah dimasking
dataset.median();
```



untuk mengambil citra Sentinel-2

## 2. Pengolahan Citra

### 2.3.1 Komposit dan Pemotongan Citra

**Komposit dan Pemotongan Citra.** *Script* ini bertujuan untuk mengintegrasikan data dari dua citra berbeda, yaitu Sentinel-1 dan Sentinel-2, dalam satu citra komposit guna memperoleh informasi yang lebih kaya untuk analisis lebih lanjut. Fungsi *sentinel1.addBands(sentinel2)* digunakan untuk menggabungkan dua citra *raster*, yakni *sentinel1* dan *sentinel2*, ke dalam satu komposit *multi-band*. Sentinel-1 adalah citra radar yang dapat memberikan informasi tentang struktur dan tekstur permukaan, sedangkan Sentinel-2 merupakan citra optik yang merekam informasi spektral dari berbagai panjang gelombang. Kombinasi kedua citra ini dapat meningkatkan akurasi analisis, terutama dalam kondisi cuaca yang beragam, karena data radar dari Sentinel-1 tidak terpengaruh oleh keberadaan awan.

Selanjutnya, proses *clipping* dilakukan menggunakan fungsi *clip(wajo)*. Fungsi ini membatasi area citra hanya pada wilayah yang didefinisikan dalam variabel *wajo*, yang umumnya berupa batas wilayah kajian dalam bentuk poligon. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan piksel di luar area penelitian, sehingga analisis lebih efisien dan hanya berfokus pada lokasi yang relevan.

```
// Komposit Sentinel 1 dan Sentinel 2
var composite = sentinel1.addBands(sentinel2);

// Melakukan clip pada citra menggunakan area kajian
var citra = composite.clip(wajo);
```

**Gambar 4.** *Script* komposit dan pemotongan citra

### 2.3.2 Ekstraksi Fitur

Identifikasi kelapa sawit memerlukan kombinasi beberapa fitur karena tidak ada satu fitur tunggal yang cukup untuk membedakan kelapa sawit dari tutupan lahan lainnya. Oleh karena itu, penggunaan berbagai fitur seperti *band* spektral, indeks vegetasi, SAR, dan fitur tekstur memberikan akurasi yang lebih tinggi. Metode ekstraksi fitur yang digunakan dalam penelitian ini diadaptasi dari penelitian sebelumnya Xu et al. (2021) yang menunjukkan bahwa kombinasi *band* spektral, indeks vegetasi, SAR, dan fitur tekstur mampu meningkatkan akurasi identifikasi kelapa sawit (Xu et al., 2021).

**Tabel 2.** Variabel Fitur dan Formula Perhitungan

| Kelompok Fitur | Variabel Fitur                    | Band Tersedia dan Formula Perhitungan |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
|                | Gelombang VV                      | VV                                    |
|                | Gelombang VH                      | VH                                    |
|                | Selisih Gelombang SAR             | VV – VH                               |
|                | Normalized Difference Index (NDI) | $NDI = (VV - VH)/(VV + VH)$           |
|                | Blue                              | B <sub>2</sub>                        |
|                | Green                             | B <sub>3</sub>                        |
|                | Red                               | B <sub>4</sub>                        |



| Kelompok Fitur  | Variabel Fitur                                | Band Tersedia dan Formula Perhitungan  |
|-----------------|---|--|
|                 | <i>Near Infrared</i>                          | B <sub>8</sub>   |
| Indeks Vegetasi | <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> | NDVI = (B <sub>8</sub> – B <sub>4</sub> ) / (B <sub>8</sub> + B <sub>4</sub> )                             |
|                 | <i>Enhanced Vegetation Index</i>              | EVI = 2.5(B <sub>8</sub> – B <sub>4</sub> ) / (B <sub>8</sub> + 6.0B <sub>4</sub> – 7.5B <sub>2</sub> + 1) |
|                 | <i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i>         | (1 + 0.16)(B <sub>8</sub> – B <sub>4</sub> ) / (B <sub>8</sub> + B <sub>4</sub> + 0.16)                    |
| Fitur Tekstur   | <i>Contrast (CON)</i>                         | $CON = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i - j)^2 \cdot p(i, j, d, \theta)$                               |
|                 | <i>Angular Second Moment (ASM)</i>            | $ASM = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta)^2$   |
|                 | <i>Entropy (ENT)</i>                          | $ENT = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j, d, \theta) \log p(i, j, d, \theta)$                       |
|                 | <i>Correlation (COR)</i>                      | $COR = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (ij)p(i, j, d, \theta) - \mu_1\mu_2}{\sigma_1\sigma_2}$     |

**SAR Backscatter.** Band VV dan VH dari Sentinel-1 sangat membantu dalam mengidentifikasi kelapa sawit. Respon radar terhadap kelapa sawit memberikan keunggulan dalam analisis kelapa sawit, terutama dalam kondisi cuaca berawan atau tertutup kabut, yang sering menjadi kendala dalam penggunaan citra optik. Gelombang VV dan VH digunakan untuk menangkap pola hamburan gelombang radar yang dipantulkan oleh struktur tajuk kelapa sawit. Kelapa sawit memiliki bentuk tajuk yang khas dengan struktur tegak dan daun melingkar, yang menghasilkan pola hamburan yang berbeda dibandingkan dengan vegetasi lain. Oleh karena itu, penggunaan SAR sangat bermanfaat untuk mendeteksi kelapa sawit dengan tingkat tutupan awan yang tinggi (Descals et al., 2024).

**Fitur tekstur** digunakan untuk menangkap pola dan struktur tajuk kelapa sawit yang khas dengan pendekatan analisis *Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM)*. Beberapa fitur tekstur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Contrast*, yang mengukur perbedaan intensitas antar piksel untuk mendeteksi variasi pola tajuk, serta *Entropy*, yang menggambarkan tingkat keacakan atau kompleksitas tekstur suatu objek. Selain itu, *ASM (Angular Second Moment)* digunakan untuk melihat homogenitas suatu area, *n* mengukur keterkaitan antara piksel dalam suatu wilayah. Dengan kelapa sawit dapat dibedakan dari vegetasi lain yang memiliki pola yang tidak seragam.



```

// Ekstraksi Fitur SAR Sentinel-1
var vh = composite.select('VH').rename('VH');
var vv = composite.select('VV').rename('VV');
var vv_vh_diff = vv.subtract(vh).rename('VV_VH_Diff'); // Perbedaan backscatter VV - VH
var ndi_sar = composite.normalizedDifference(['VV', 'VH']).rename('NDI_SAR'); // NDI

// Menghitung GLCM untuk band VH dan VV
var vh_glcm = vh.unitScale(-25, 5).toByte().glcmTexture({size: 3});
var vv_glcm = vv.unitScale(-25, 5).toByte().glcmTexture({size: 3});

// Mengambil variabel dari GLCM untuk band VH
var asm_vh = vh_glcm.select('VH_asm').rename('VH_ASM');
var correlation_vh = vh_glcm.select('VH_corr').rename('VH_Correlation');
var contrast_vh = vh_glcm.select('VH_contrast').rename('VH_Contrast'); // Contrast
var entropy_vh = vh_glcm.select('VH_ent').rename('VH_Entropy'); // Entropy

// Mengambil variabel dari GLCM untuk band VV
var asm_vv = vv_glcm.select('VV_asm').rename('VV_ASM');
var correlation_vv = vv_glcm.select('VV_corr').rename('VV_Correlation');
var contrast_vv = vv_glcm.select('VV_contrast').rename('VV_Contrast'); // Contrast
var entropy_vv = vv_glcm.select('VV_ent').rename('VV_Entropy'); // Entropy

```

**Gambar 5.** Script Ekstraksi Fitur Sentinel-1

**Band Spektral.** Band spektral dalam citra optik yang diekstrak dari Sentinel-2 memainkan peran penting dalam identifikasi kelapa sawit. Band merah (*Red*), Hijau (*Green*), Biru (*Blue*), dan inframerah dekat (NIR) digunakan untuk membedakan kelapa sawit dari tanah kosong, air, dan vegetasi lainnya.

**Indeks Vegetasi.** Indeks vegetasi merupakan fitur tambahan yang digunakan untuk meningkatkan akurasi dalam membedakan kelapa sawit dari jenis vegetasi lain. Indeks seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) mengukur tingkat kehijauan tanaman berdasarkan rasio reflektansi antara NIR dan *Red*, sedangkan EVI (*Enhanced Vegetation Index*) lebih sensitif terhadap variasi struktur kanopi dan efek atmosfer. Selain itu, SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*) membantu dalam kondisi lahan dengan sedikit tutupan vegetasi dengan mengurangi pengaruh pantulan tanah.

```

// Ekstraksi Indeks Vegetasi dari Sentinel-2
var ndvi = composite.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI'); // NDVI
var evi = composite.expression(
  '2.5 * ((B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1))',
  {'B8': composite.select('B8'), 'B4': composite.select('B4'), 'B2': composite.select('B2')}
).rename('EVI'); // EVI
var savi = composite.expression(
  '((1.5 * (B8 - B4)) / (B8 + B4 + 0.5))',
  {'B8': composite.select('B8'), 'B4': composite.select('B4')}
).rename('SAVI'); // SAVI

```



Ekstraksi Fitur Sentinel-2

### 2.3.3 Pemetaan Areal Kelapa Sawit

**Random Forest.** *Random forest* adalah algoritma yang digunakan untuk memetakan areal kelapa sawit di Kabupaten Wajo. Algoritma ini merupakan metode pembelajaran mesin berbasis pohon keputusan yang digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan, termasuk identifikasi kelapa sawit. Algoritma ini bekerja dengan membangun banyak pohon keputusan (*decision trees*) dari berbagai data latih, kemudian menggabungkan hasil prediksi dari setiap pohon menghasilkan klasifikasi akhir yang lebih akurat dan stabil. Algoritma *random forest* lebih sering digunakan karena kemampuannya yang baik dalam menangani *outlier* dan *noise* serta kinerja yang baik dengan kumpulan data berdimensi tinggi (Marzuki et al., 2023; Phan et al., 2020). Dalam implementasinya di GEE, Algoritma *Random Forest* menggunakan *band* spektral, *band* SAR, indeks vegetasi, dan fitur tekstur sebagai variabel input untuk membedakan sawit dari tutupan lahan lainnya.

```
// Menggabungkan Area of Interest (AOI)
var aoi = kelapasawitmuda.merge(kelapasawitdewasa).merge(nonkelapasawit);

// Ekstrak nilai pixel untuk data pelatihan
var training = citra.sampleRegions({
  collection: aoi,
  properties: ['klas'],
  scale: 30,
  geometries: true
});

// Melatih model Random Forest
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(100).train({
  features: training,
  classProperty: 'klas',
  inputProperties: citra.bandNames().slice(0, 5)
});

// Klasifikasi tutupan lahan
var classified = citra.classify(classifier);
// Tampilkan hasil klasifikasi yang ter-clipped di peta
Map.addLayer(classified, {
  min: 0,
  max: 1, // Ganti ini sesuai dengan jumlah kelas yang ada
  palette: [
    '#FFFF00', // Kelapa Sawit Muda (Kuning)
    '#008000', // Kelapa Sawit Dewasa (Hijau Tua)
    '#FFFFFF', // Non Kelapa Sawit (Putih) ]
}, 'Classified');
```



klasifikasi Algoritma *Random Forest*

Untuk melakukan klasifikasi menggunakan algoritma, perlu adanya sampel terhadap kelas tutupan lahan yang akan diklasifikasi. Dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga kelas yaitu kelapa sawit muda, kelapa sawit dewasa, dan non kelapa sawit. Sampel diambil pada tiap kelas, kemudian Area of Interest (AOI) digabungkan menggunakan metode *merge*. Fungsi ini digunakan agar nilai piksel dari citra diekstrak berdasarkan AOI yang

telah digabungkan, dengan mencakup properti kelas (*klas*) untuk membedakan jenis tutupan lahan. Parameter *scale* diatur untuk memastikan konsistensi dengan resolusi citra, sementara *geometries: true* memungkinkan visualisasi titik pelatihan di peta. Selanjutnya, model klasifikasi algoritma *random forest* dilatih dengan 100 pohon keputusan, memanfaatkan data dari nilai piksel yang diekstrak untuk menentukan kelas dari pelatihan yang dilakukan. Dengan menggunakan metode *classify*, model mengklasifikasi citra untuk menunjukkan distribusi tutupan lahan. Hasil klasifikasi kemudian ditampilkan di peta menggunakan *Map.addLayer*, dengan palet warna berbeda.

### 3. Validasi Hasil Klasifikasi

Dalam penelitian ini, validasi data hasil klasifikasi kelapa sawit muda, kelapa sawit dewasa, dan non kelapa sawit akan dilakukan melalui survei langsung di lapangan (*Ground Check*) menggunakan metode *stratified random sampling*. Metode ini memastikan bahwa setiap kelas tutupan lahan terwakili secara proporsional sesuai dengan luasnya dalam area studi. Pendekatan ini sejalan dengan pedoman yang menyarankan penggunaan *stratified random sampling* untuk penilaian akurasi peta, di mana jumlah sampel per kelas sebaiknya proporsional terhadap luas area kelas tersebut (Prawoto, 2019).

Setelah pengumpulan data lapangan, akan disusun *confusion matrix* dan *kappa accuracy* untuk mengevaluasi kinerja klasifikasi dan memberikan informasi tentang tingkat ketepatan dan kesalahan dalam klasifikasi. *Kappa accuracy* dapat menilai tingkat kesepakatan antara hasil klasifikasi dan data lapangan dengan mempertimbangkan kemungkinan kesepakatan yang terjadi secara acak. Menurut Congalton & Green, 2009 dalam Siska et al., (2022), perhitungan akurasi *Kappa* dapat dilakukan setelah menyusun matriks kesalahan. *Kappa accuracy* sering digunakan dalam penilaian akurasi klasifikasi untuk memberikan gambaran yang lebih objektif tentang kinerja model (Siska et al., 2022). *Confusion matrix* disajikan pada Tabel 3 dan persamaan *kappa accuracy* dinyatakan sebagai berikut:

**Tabel 3. Confusion Matrix**

|                              |    | Data Acuan (Pengecekan Lapangan) |   |   | Total Kolom |
|------------------------------|----|----------------------------------|---|---|-------------|
|                              |    | A                                | B | C |             |
| Data Hasil Klasifikasi Citra | A' | X                                |   |   | $\sum +n$   |
|                              | B' |                                  | X |   |             |
|                              | C' |                                  |   | X |             |
| Total Baris                  |    | $\sum +n$                        |   |   | N           |

$$Kappa (K) = \frac{N \sum X - \sum (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum (X_{i+} X_{+i})}$$



ig diklasifikasikan dengan benar dalam confusion matrix  
 k hasil interpretasi untuk kelas ke-l  
 k hasil validasi untuk kelas ke-i  
 mpel validasi  
 curacy

#### 4. Kesesuaian Hasil Identifikasi Kelapa Sawit terhadap Rencana Pola Ruang

Tahapan ini merupakan bagian utama dalam penelitian yang bertujuan untuk menilai tingkat kesesuaian penggunaan lahan kelapa sawit hasil identifikasi dengan rencana pola ruang Kabupaten Wajo. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pemanfaatan ruang aktual di lapangan telah selaras dengan arahan peruntukan ruang yang ditetapkan oleh pemerintah daerah melalui peraturan tata ruang.

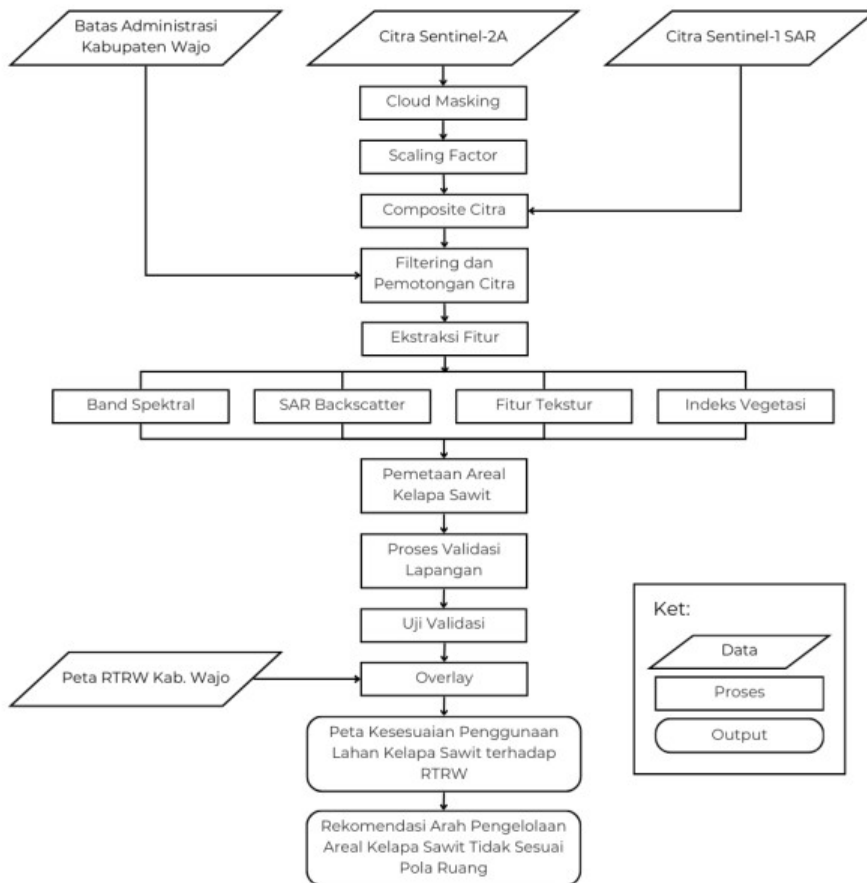
Langkah awal dalam analisis ini adalah melakukan *overlay* spasial antara hasil identifikasi kelapa sawit dengan Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Wajo. Proses *overlay* dilakukan menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*. Hasil *overlay* menghasilkan layer baru yang menunjukkan posisi setiap poligon sawit terhadap zona pola ruang yang menaunginya.

Selanjutnya dilakukan klasifikasi kesesuaian, yang dibedakan menjadi dua kelas utama, yaitu *sesuai* dan *tidak sesuai*. Klasifikasi *sesuai* mencakup areal kelapa sawit yang berada dalam zona perkebunan atau kawasan budidaya pertanian, karena kedua zona ini memang diperuntukkan bagi aktivitas produksi pertanian dan perkebunan. Sementara itu, klasifikasi *tidak sesuai* mencakup areal kelapa sawit yang berada dalam zona kawasan lindung, konservasi, permukiman, atau zona non-budidaya lainnya, karena pemanfaatan lahan pada zona-zona tersebut tidak diperuntukkan bagi kegiatan perkebunan sawit.

Setelah klasifikasi kesesuaian diperoleh, dilakukan penghitungan luas masing-masing kategori baik secara keseluruhan maupun per kecamatan untuk mendapatkan gambaran spasial distribusi kesesuaian lahan. Analisis statistik dilakukan untuk menghitung persentase luasan sawit yang sesuai dan tidak sesuai terhadap total luas areal kelapa sawit hasil klasifikasi.



## 2.4 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 8.** Diagram Alir Penelitian

