

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polusi atmosfer merupakan salah satu masalah lingkungan terpenting di negara-negara industri maju dan berkembang di seluruh dunia. Baik produksi energi berbasis bahan bakar fosil dan lalu lintas jalan raya merupakan faktor kunci yang menimbulkan masalah kesehatan masyarakat yang serius, mulai dari tingkat lokal hingga regional dan nasional. Menurut organisasi kesehatan dunia (WHO), 91% penduduk dunia tinggal di tempat yang tercemar, menghirup udara yang mengandung polutan tingkat tinggi, dan 7 juta kematian terjadi setiap tahun akibat paparan udara sekitar dan asap dari bahan bakar. Berbagai penelitian mengkonfirmasi hubungan langsung antara penyakit dan polusi lalu lintas atau industri, terutama di kota-kota besar yang tidak menghasilkan emisi NO_2 , serbuk (PM_{25} , PM_{10}), CO, ozon, metana, dan gas-gas lainnya menciptakan penyakit kardiovaskular, bahan penyakit kesuburan, yang mempengaruhi semua kelompok umur penduduk termasuk anak-anak (Virgileanu et al. 2020).

Nitrogen Dioksida (NO_2) termasuk salah satu polutan utama, dikategorikan sebagai polutan utama karena perannya sebagai indikator pencemaran dari pembakaran bahan bakar, serta karena dampak kesehatannya yang signifikan terhadap sistem pernapasan manusia. Polutan ini terutama dihasilkan dari aktivitas antropogenik seperti transportasi berbahan bakar fosil, proses industri, pembangkit listrik, serta pembakaran biomassa. Konsentrasi NO_2 yang tinggi di atmosfer dapat memicu berbagai masalah lingkungan, termasuk gangguan saluran pernapasan, peningkatan pembentukan ozon troposferik, serta menyebabkan penurunan produktivitas tanaman akibat stres oksidatif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kota dengan kepadatan bangunan dan volume lalu lintas yang tinggi memiliki konsentrasi NO_2 yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah vegetatif atau pedesaan. Dalam konteks ini, tutupan vegetasi telah terbukti mampu mengurangi konsentrasi polutan udara termasuk NO_2 melalui proses penyerapan dan difusi alami (H. Guo et al. 2019; Huang et al. 2023).

Pemantauan emisi NO_2 semakin krusial di wilayah yang mengalami perkembangan aktivitas ekonomi dan penggunaan energi, seperti Kabupaten Bantaeng, yang dalam beberapa tahun terakhir menghadapi peningkatan aktivitas transportasi, pembangunan kawasan industri, dan ekspansi aktivitas pertambangan nikel yang berpotensi menjadi sumber emisi NO_2 . Dalam hal ini, data satelit Sentinel-5P dengan sensor TROPOMI dapat digunakan untuk mengidentifikasi emisi NO_2 secara spasial dan temporal dengan



akibat kemampuan menyerap berbagai senyawa gas pencemar yang menjadi indikator biofisik yang sensitif terhadap perubahan lingkungan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tingginya kerapatan

vegetasi biasanya berkorelasi dengan menurunnya konsentrasi NO_2 , karena vegetasi mampu menangkap gas polutan melalui stomata serta meningkatkan deposi kering. Oleh karena itu analisis hubungan antara indeks vegetasi dengan konsentrasi NO_2 diperlukan untuk memahami sejauh mana vegetasi di Kabupaten Bantaeng berperan dalam mitigasi polusi udara

Indeks vegetasi atau NDVI adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara band merah dan band *Near-Infrared Radiation* (NIR) yang telah lama digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi vegetasi. Setelah diperoleh citra yang terkoreksi, maka proses perhitungan indeks vegetasi dapat dilakukan. Indeks vegetasi biasanya dibentuk melalui dua atau tiga saluran citra, dimana saluran-saluran tersebut dapat dihitung melalui pembagian, penjumlahan atau perkalian. Indeks vegetasi yang digunakan adalah indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Indeks* (NDVI). Lutfilah et al. (2017) menjelaskan bahwa NDVI merupakan indeks vegetasi yang dapat membandingkan tingkat konsentrasi vegetasi pada data citra satelit yang dapat menggambarkan indikator biomassa, tingkat kehijauan relatif, dan untuk menentukan status kesehatan dan kerapatan vegetasi pada suatu wilayah. Sehingga indeks vegetasi ini dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat keberhasilan pertumbuhan tanaman pada suatu wilayah (Nursaputra et al. 2021).

Jumlah NO_2 di atmosfer dapat diukur menggunakan teknologi penginderaan jauh berbasis satelit. TROPOMI (*Tropospheric Monitoring Instrument*) adalah instrumen utama pada satelit *Sentinel-5 Precursor* (Sentinel-5P) milik Badan Antariksa Eropa (ESA), yang diluncurkan pada Oktober 2017. Instrumen ini dirancang untuk meningkatkan kemampuan pemantauan polusi udara global melalui resolusi spasial yang sangat tinggi. Pada awal misi, resolusi spasial TROPOMI adalah $3,5 \text{ km} \times 7 \text{ km}$, dan sejak 6 Agustus 2019 ditingkatkan menjadi $3,5 \text{ km} \times 5,5 \text{ km}$. Dengan setiap piksel data TROPOMI mewakili area permukaan bumi berukuran $3,5 \text{ km}$ (arah *across-track*) dan $5,5 \text{ km}$ (arah *along-track*). Dengan kata lain, setiap nilai NO_2 yang terekam menggambarkan rata-rata konsentrasi polutan dalam kotak area kecil berukuran $3,5 \times 5,5 \text{ km}^2$ (Henk Eskes et al., 2022).

Kabupaten Bantaeng adalah sebuah kabupaten yang berada di provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia dan ibu kota kabupaten Bantaeng adalah kecamatan Bantaeng. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik kabupaten Bantaeng tahun 2021, penduduk kabupaten ini ditahun 2020 berjumlah 196.716 jiwa, dengan kepadatan 497 jiwa/km². Kondisi demografis tersebut menunjukkan adanya



usia yang cukup tinggi, terutama pada sektor transportasi, penggunaan energi. Aktivitas pertambangan eksplorasi dan menjadi sumber emisi NO_2 dalam setiap tahap penambangan dan alat berbahan diesel, peledakan, dan pengangkutan nikel berat yang menghasilkan emisi NO_2 dari mesin diesel.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengidentifikasi tingkat emisi *Nitrogen Dioxide* (NO_2) dengan menghubungkan indeks vegetasi di Kabupaten Bantaeng
2. Menanalisa hubungan kerapatan vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* dan *Enhanced Vegetation Indeks* terhadap *Nitrogen Dioxide* (NO_2) di Kabupaten Bantaeng

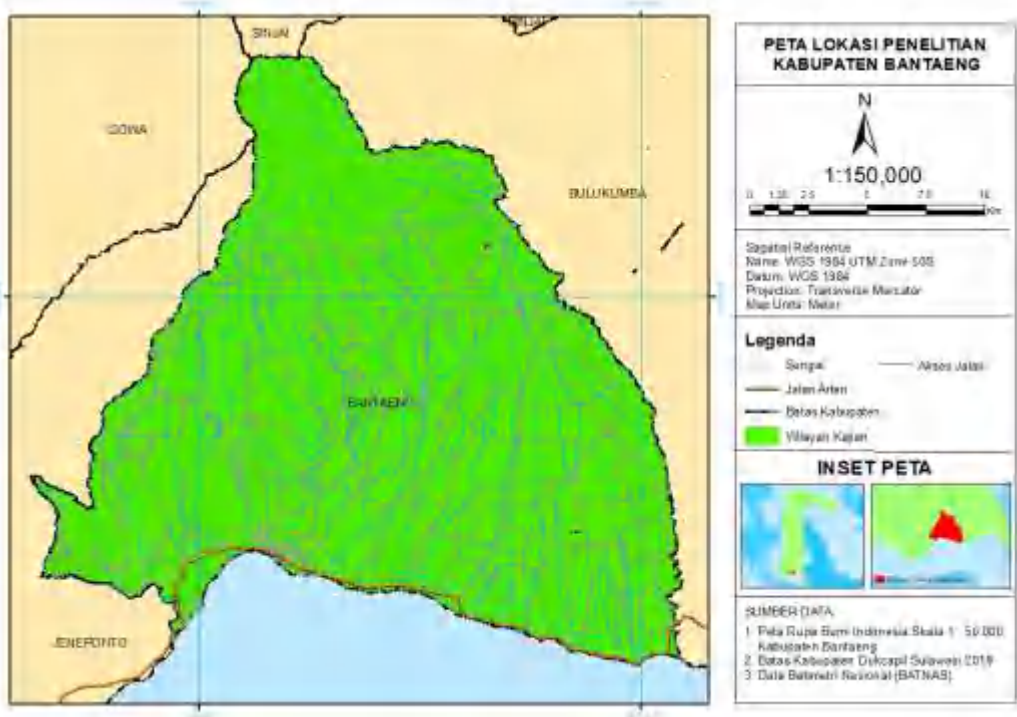
Hasil Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap pengelolaan lingkungan di Kabupaten Bantaeng dengan memanfaatkan data spasial. Melalui analisis kepadatan emisi NO_2 dan diharapkan dapat diperoleh data dan informasi untuk mendasari perumusan kebijakan yang terkait dengan pengendalian pencemaran dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Selain itu, pendekatan ini juga membuka peluang pengembangan model *machine learning* berbasis spasial yang dapat meningkatkan akurasi prediksi dan efektivitas pemantauan lingkungan secara berkelanjutan



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus - November 2025 melalui lima tahapan persiapan, pra pengolahan, pengolahan, analisis dan pelaporan hasil. Tahap persiapan dan pra pengolahan dilaksanakan pada bulan Agustus - November 2025 di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Bantaeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah penelitian ini meliputi seluruh wilayah administrasi Kabupaten Bantaeng dengan luas sebesar 39.672 Ha.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Bahan-Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Tabel 1. Bahan - Bahan yang diperlukan untuk Penelitian

No.	Bahan	Kegunaan	Sumber
1	Citra Satelit Sentinel 5P	Sebagai bahan analisis untuk menganalisa NO ₂	<i>Google Earth Engine</i> (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_NO2?hl=id)
2	Batas administrasi Kabupaten Bantaeng	Sebagai lokasi kajian dalam penelitian	Badan Informasi Geografis
3	Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1	Sebagai bahan kajian untuk mengolah NDVI dan EVI	<i>Google Earth Engine</i> (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2?hl=id)

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laptop, sebagai alat yang digunakan dalam pemrosesan di platform *Google Earth Engine* (GEE) atau *software*
2. *Ms. Office* digunakan untuk membuat isi laporan hasil pemrosesan
3. *Software* pemetaan GIS (Arcgis) digunakan untuk mengolah variable yang tidak tersedia di *Google Earth Engine*
4. *Excel* digunakan untuk mengolah data dalam uji akurasi

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi dengan melakukan pencarian dan penelaahan literatur atau referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan. Kemudian dilakukan pengumpulan data yang mencakup batas administrasi Kabupaten Bantaeng, data citra Landsat 8 tahun 2019-2024 dan data citra satelit Sentinel 5P tahun 2019-2024 platform *Google Earth Engine* (GEE).



tra dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi mencakup koreksi radiometrik, *cloud masking*, dan setelah itu, pemetaan kualitas udara menggunakan algoritma serta analisis korelasi antara indeks vegetasi dari NDVI dan menggunakan metode regresi linear sederhana.

2.3.1 Pra-pengelolaan Citra

Pra-pengelolaan citra dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra agar dapat digunakan dalam proses pengolahan secara lebih lanjut sehingga diperoleh hasil dengan kualitas dan ketelitian yang maksimal. Selain itu, pra-pengelolaan citra dilakukan untuk menyesuaikan cakupan citra yang dianalisis sesuai dengan lokasi penelitian. Pra-pengelolaan citra ini bertujuan untuk mempercepat pemrosesan karena proses akan berjalan cepat di area kecil. Proses yang dilakukan meliputi koreksi radiometrik, *cloud masking*, dan pemotongan citra

Koreksi radiometrik. Digunakan untuk menghilangkan hal-hal yang tidak dibutuhkan akibat distorsi perekaman data citra satelit pada citra satelit Landsat 8. (Supriatna 2002) mengatakan bahwa koreksi radiometrik merupakan koreksi yang dilakukan karena adanya efek atmosferik yang mengakibatkan kenampakan bumi tidak selalu tajam. (Sukojo, 2010) mengatakan bahwa koreksi radiometrik adalah proses mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh gerak sapuan penjelajah dan satelit, gerak perputaran dari bumi dan faktor kelengkungan bumi yang mengakibatkan pergeseran posisi terhadap sistem koordinat referensi. Koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki nilai pixel agar sesuai dengan nilai sebenarnya yang mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Efek atmosfer menyebabkan nilai pantulan objek di permukaan bumi yang terekam oleh sensor menjadi bukan merupakan nilai aslinya, tetapi menjadi lebih besar oleh karena adanya hamburan atau lebih kecil karena proses serapan. Metode-metode yang sering digunakan untuk menghilangkan efek atmosfer antara lain metode pergeseran histogram, metode regresi dan metode kalibrasi bayangan

Cloud Masking. *Cloud Masking* dilakukan untuk menghapus piksel yang di terpengaruhi oleh awan yang ada pada data citra satelit Landsat 8 dan Sentinel 5P guna menghilangkan awan dan bayangannya pada hasil. Pada gambar 3 *script* yang digunakan

```
// Cloud Masking Citra Landsat 8
var masking = function (img) {
  var cloudshadowbitmask = (1 << 3)
  var cloudshadowmask = (1 << 4)
  var qa = img.select ('QA_PIXEL')
  var maskshadow = qa.bitwiseAnd(cloudshadowbitmask).eq(0)
  var maskcloud = qa.bitwiseAnd(cloudshadowmask).eq(0)
  var mask = maskshadow.and(maskcloud)
  return atMask(mask)
}
```



Cloud Masking

Citra (Cropping). Setelah *Cloud Masking* dilakukan merupakan proses untuk memfokuskan citra pada area

penelitian yang dipilih dengan menggunakan shp batas administrasi Kabupaten Bantaeng pada citra Landsat 8 dan sentinel 5P.

```
var L8Clip = L8Clear.clip(table);
var scale = function applyScaleFactors(image) {
var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
var thermalBands =
image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);
return image.addBands(opticalBands, null, true)
.addBands(thermalBands, null, true);}

```

Gambar 3. Cropping

Landsat 8. Penelitian ini menunjukkan penggunaan landsat 8 sebagai salah satu bahan utama untuk mendapatkan NDVI dan EVI. Landsat 8 merupakan misi kelanjutan dari satelit Landsat yang telah menyediakan lebih dari 40 tahun citra untuk penelitian jangka panjang. Namun, sangat penting untuk diketahui bahwa fitur spektral dari Landsat 8 sendiri hampir sama dengan citra Landsat sebelumnya yaitu citra Landsat 7 karena citra Landsat 8 memiliki kanal-kanal yang sempit terutama kanal-kanal yang digunakan pada perhitungan. *Normalized-Difference Vegetation Index* (NDVI) yang mana merupakan metode perhitungan indeks vegetasi yang paling sering digunakan. Pada penelitian ini Nilai NDVI digunakan untuk mengetahui indeks vegetasi guna menghitung perbandingan spektral antara lain NDVI Landsat 7 dan nilai NDVI Landsat 8, dan bisa juga untuk menghitung perubahan tutupan lahan berdasarkan nilai NDVI. Pada tanggal 30 mei 2013 *National Aeronautics and Space* (NASA) menyerahkan satelit Landsat data *Continuity Mission* (LDCM) sebagai pengguna data. Landsat 8 terbang dengan ketinggian 705 kilometer diatas permukaan bumi dan memiliki area scan seluas 170km x 183 km. Satelit Landsat 8 ini memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager* (OLI) data dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) dengan jumlah sebanyak 11 buah

```
// Memanggil Citra Landsat 8
var Landsat8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2");

Map.addLayer(table)
Map.centerObject(table,9)

// Memfilter Citra Landsat 8 Berdasarkan Wilayah
Landsat8.filterBounds(table);

ra Landsat 8 Berdasarkan Waktu
te = L8Bantaeng.filterDate('2019-01-01','2019-12-31')
```



Gambar 4. Memanggil citra Landsat 8

Citra sentinel 5P. Penelitian ini memanfaatkan data citra satelit Sentinel-5P/TROPOMI (*Tropospheric Monitoring Instrument*) L2 dengan tipe produk L2_NO2. Satelit Sentinel 5P diluncurkan oleh ESA tahun 2017 dengan misi untuk pengamatan atmosfer di bumi. Sentinel 5P- memiliki dua level yaitu L1B dan L2. Sentinel 5P dirancang untuk memonitoring kualitas udara dengan mengukur komposisi atmosfer, termasuk konsentrasi gas-gas seperti nitrogen dioksida, ozon, dan partikel-partikel lainnya. Data dari sentinel 5P digunakan untuk memahami polusi udara, perubahan iklim dan kondisi lingkungan lainnya dengan tujuan memantau kesehatan atmosfer dan memberikan informasi yang berharga untuk kebijakan lingkungan

Sentinel 5P adalah satelit observasi bumi yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) pada tahun 2017. Sentinel 5P dirancang untuk memonitor kualitas udara dioksida, ozon dan partikel-partikel lainnya. Data dari sentinel 5P digunakan untuk memahami polusi udara, perubahan iklim dan kondisi lingkungan lainnya dengan tujuan memantau kesehatan atmosfer dan memberikan informasi yang berharga untuk kebijakan lingkungan (Van Geffen et al. 2020)

2.2.1 Pengolahan NDVI dan EVI

Dalam data penginderaan jauh, indeks vegetasi merupakan 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). Indeks vegetasi yang diekstraksi dari data penginderaan jauh telah menjadi alat penting untuk memantau, memetakan, dan mengelola vegetasi darat. Indeks ini memberikan pengukuran radiometrik mengenai kuantitas, struktur, dan kondisi vegetasi, serta berfungsi efektif sebagai indikator variasi musiman dan antar-tahunan (Muhe 2021).

Indeks vegetasi adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi keadaan vegetasi dari suatu wilayah. Indeks tersebut mempunyai berbagai macam variasi algoritma. Sejumlah penurunan dan alternatif NDVI telah diusulkan oleh sejumlah peneliti untuk menyempurnakan berbagai kekurangan parameter.

Normalized-Difference Vegetation Index (NDVI) berbasis kepada perbedaan nilai pantulan band inframerah dengan band merah. Tumbuhan hijau akan menyerap pada spektrum merah untuk proses fotosintesis, dan memantulkannya pada spektrum inframerah. Analisis ini bertujuan untuk mengaitkan dengan penjebaran spektral yang digunakan untuk analisis yang berkaitan dengan vegetasi. Adapun pada kelas NDVI yang telah dilakukan oleh yang dimasukkan dalam proses



pengolahan data citra satelit landsat 8 yang dilakukan dengan menggunakan platform GEE, terdapat beberapa kelas yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Kelas Klasifikasi NDVI

Kelas	Keterangan	Nilai (Indeks)
I	(Tidak Bervegetasi)	<0.1
II	(Tidak Rapat)	0.2 - 0.3
III	(Cukup Rapat)	0.4 - 0.5
IV	(Rapat)	0.6 - 0.7
V	(Sangat Rapat)	0.8 - 1

Sumber: (USGS, 2015)

```
// Calculate Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
var ndvi = image.normalizedDifference(['SR_B5',
'SR_B4']).rename('NDVI');
// Define NDVI Visualization Parameters
var ndviPalette = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['blue', 'white', 'green']
};
Map.addLayer(ndvi, ndviPalette, 'NDVI Kabupaten Bantaeng')
var KelasNDVI = ee.Image(1)
  .where(ndvi.gt(0.2).and(ndvi.lte(0.5)), 2)
  .where(ndvi.gt(0.5).and(ndvi.lte(0.7)), 3)
  .where(ndvi.gt(0.7).and(ndvi.lte(0.8)), 4)
  .where(ndvi.gt(0.8).and(ndvi.lte(1)), 5)
var KelasNDVI = KelasNDVI.clip(table);
//add map layer
Map.addLayer(KelasNDVI,{min: 1, max: 5, palette: ['red', 'orange',
'yellow', 'limegreen', 'green']});
Map.addLayer(ndvi, ndviPalette, 'NDVI Kabupaten Bantaeng')

var KelasNDVI = ee.Image(1)
  .where(ndvi.gt(0.2).and(ndvi.lte(0.5)), 2)
  .where(ndvi.gt(0.5).and(ndvi.lte(0.7)), 3)
  .where(ndvi.gt(0.7).and(ndvi.lte(0.8)), 4)
  .where(ndvi.gt(0.8).and(ndvi.lte(1)), 5)
sNDVI = KelasNDVI.clip(table);
p layer
ayer(KelasNDVI,{min: 1, max: 5, palette: ['red', 'orange',
, 'limegreen', 'green']});
```



EVI (*Enhanced Vegetation Index*) merupakan sebuah indeks vegetasi yang digunakan untuk mengukur kesehatan dan aktivitas fotosintesis vegetasi dengan memanfaatkan reflektansi spektral pada pita merah, near-infrared (NIR), dan biru. EVI memberikan informasi tentang keberadaan dan kesehatan vegetasi, terutama pada wilayah dengan densitas vegetasi tinggi atau wilayah dengan kondisi tanah yang bervariasi. Andana (2015) menyatakan EVI merupakan indeks vegetasi yang dikembangkan untuk meminimalkan pengaruh latar belakang kanopi dan variasi atmosfer yang lebih baik dari NDVI. EVI dihitung dengan menggunakan reflektan dari band biru (*blue*), merah (*red*), dan infra merah dekat (NIR) (Hardianto et al. 2021).

Enhanced Vegetation Index (EVI) adalah pengembangan dari metode penentuan indeks vegetasi untuk mengamati keterbatasan dari NDVI yang mengoptimalkan sensitivitas sinyal vegetasi untuk lebih baik di daerah-daerah yang dengan biomassa tinggi (kelemahan dari NDVI), dapat meningkatkan tingkat kehijauan dari tanaman melalui pengaruh dari latar belakang tanah dan sinyal kanopi, serta mengurangi pengaruh-pengaruh dari kondisi atmosfer pada nilai indeks vegetasi dengan penambahan informasi di kanal biru tersebut. EVI lebih responsif digunakan untuk menentukan variasi struktur kanopi, yaitu termasuk *Leaf Area* (LAI), jenis kanopi, fisiognomi tanaman, serta juga untuk arsitektur kanopi daripada NDVI yang umumnya hanya direspons untuk jumlah klorofil (Sayer 2021). Adapun pada kelas EVI yang dimasukkan dalam proses pengolahan data citra satelit Landsat 8 yang dilakukan dengan menggunakan *platform* GEE, terdapat beberapa kelas yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelas Klasifikasi EVI

Kelas	Keterangan	Nilai (Indeks)
I	(Tidak Bervegetasi)	<0.1
II	(Tidak Rapat)	0.2 - 0.3
III	(Cukup Rapat)	0.4 - 0.5
IV	(Rapat)	0.6 - 0.7
V	(Sangat Rapat)	0.8 - 1

Sumber: (USGS, 2015)



```
// Memanggil EVI
var Landsat = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR");
.filterBounds(geometry)
.filterDate('2019-01-01', '2019-12-31')
.filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 5).median().clip(geometry);
var evi = landsat.expression(2,5 * ((NIR - RED ) / (NIR + 6 * RED - 7.5
* BLUE +1)))', {
  'NIR': landsat.select('B5'),
  'RED': landsat.select('B4'),
  'BLUE': landsat.select('B2')});
var reduced = evi.reduceRegions({
  collection: geometry,
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  scale: 30,
  tileScale: 16
});
```

Gambar 6. Memanggil EVI

Landsat 8 memiliki band blue, red, dan nir-infraread yang diperlukan untuk menghitung EVI dengan akurat, sekaligus menyediakan data reflektansi permukaan beresolusi 30 meter. Sensor OLI pada Landsat 8 memiliki keunggulan berupa kualitas radiometrik yang tinggi serta koreksi atmosfer pada produk surface reflectance, sehingga menghasilkan estimasi EVI yang lebih stabil dan akurat dibandingkan sensor Landsat generasi sebelumnya. Beberapa studi menunjukkan bahwa EVI dari Landsat 8 sangat efektif digunakan pada ekosistem berkepadatan vegetasi tinggi seperti hutan tropis, karena indeks ini lebih sensitif terhadap struktur kanopi dan mampu meminimalkan efek saturasi pada area dengan biomassa besar. Namun, studi perbandingan tentang aplikasi NDVI dan EVI untuk deteksi perubahan tutupan lahan di Indonesia belum banyak dilakukan. Dalam penelitian ini, akan dilakukan deteksi perubahan vegetasi terhadap NO₂ dengan menggunakan metode penginderaan jauh yang menggunakan platform GEE.

2.2.2 Menghitung *Normalized Difference Vegetation Index* dan *Enhanced Vegetation Index*

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Teknik penginderaan jauh digunakan untuk menilai dinamika dan distribusi vegetasi. Indeks ini adalah indeks yang paling populer untuk penilaian vegetasi karena perbandingan pantulan spektral antara *Near-Infrared* (NIR) dan *Red*, yang sangat memantulkan NIR dan menyerap cahaya merah. Persamaannya sebagai berikut:



$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (2.1)$$

dengan,

NDVI : Nilai BV dari *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : Nilai reflektansi dari saluran inframerah dekat (*Near Infrared*)

RED : Nilai reflektansi dari saluran merah

Enhanced Vegetation Index (EVI) merupakan pengembangan dari metode penentuan indeks vegetasi dengan mengoptimalkan sensitivitas sinyal vegetasi yang lebih baik pada daerah-daerah dengan biomassa yang tinggi, meningkatkan kehijauan tanaman melalui pengaruh dari kondisi atmosfer pada nilai indeks vegetasi dari penambahan informasi pada kanal biru. Nilai NDVI yang dihasilkan berkisar antara -1 hingga 1, dimana nilai mendekati 1 menunjukkan vegetasi yang sehat dan padat, sementara nilai mendekati -1 menunjukkan area tanpa vegetasi, seperti badan air atau permukaan keras. EVI mirip dengan NDVI dan dapat digunakan untuk mengukur kehijauan vegetasi. Namun, EVI mengoreksi beberapa kondisi atmosfer, latar belakang tajuk dan lebih sensitif di daerah vegetasi rapat. EVI dapat dihitung menggunakan formula berikut ini (Rahaman et al. 2023):

$$EVI = G \times \frac{(NIR-RED)}{(NIR+C1 \times RED-C2 \times BLUE)} \quad (2.2)$$

dengan,

C1 : Koefisien aerosol bernilai 6.0

C2 : Koefisien aerosol bernilai 7.5

G : *Gain faktor* (bernilai 2.5)

NIR, RED, BLUE : Nilai reflektansi Landsat 8 dari saluran inframerah dekat (band 5), merah(band 4), dan biru (band 2).

2.2.3 Pengecekan Data NO₂

Dalam penelitian ini menggunakan informasi sekunder yang didapat dari hasil laporan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bantaeng, dimana setiap tahunnya melakukan pengambilan NO₂ dengan menggunakan perwakilan setiap titik lokasi sampling. Maka peneliti menggunakan informasi sekunder ini guna memperoleh informasi yang akurat guna menguatkan temuan yang sudah didapatkan pada citra Sentinel 5P. Pada tahap ini diterapkan algoritma NO₂ dengan tujuan untuk memvisualisasikan sebaran gas NO₂ yang ada di lokasi penelitian. Melalui penerapan algoritma dilakukan untuk memperoleh nilai dari parameter NO₂, informasi yang terkandung dalam metadata citra merupakan elemen fundamental nilai estimasi yang akurat.



Tabel 4. Validasi Data NO₂ Tahun 2024

Kode Sampel	Lokasi Sampling	Longitude	Latitude	Citra (µg/Nm ³)	DLH (µg/Nm ³)	Keterangan
1	Transportasi Terminal Sasayya (Depan Kantor Perhubungan)	119°55'33.6"	05°32'28.9"	1.7	3.02	Tidak Sesuai
2	Pa'jukukang (Depan Industri PT. Huady Alloy Indonesia)	120°03'55.9"	05°34'47.1"	1.68	6.08	Tidak Sesuai
3	Pemukiman BTN Arakeke (Kompleks Perumahan Perkantoran)	119°57'36.4"	05°33'01.0"	1.69	1.62	Sesuai
4	Kompleks Kantor Bupati	119°58'01.0"	05°33'11.5"	1.69	2.02	Tidak Sesuai

Waktu Pengambilan Sampel :

Transportasi Waktu Pemaparan Sampel 03 Juli 2024 Pukul 10:25 WITA s/d 17 Juli 2024 Pukul 09:45 WITA. **Industri** : Waktu Pemaparan Sampel 03 Juli 2024 Pukul 11:02 WITA s/d 17 Juli 2024 Pukul 10:56 WITA. **Pemukiman** : Waktu Pemaparan Sampel 03 Juli 2024 Pukul 09:33 WITA s/d 17 Juli 2024 Pukul 09:13 WITA. **Perkantoran** : Waktu Pemaparan Sampel 03 Juli 2024 Pukul 08:26 WITA s/d 17 Juli 2024 Pukul 08:44 WITA

2.2.4 Analisis Statistik

Analisis korelasi dan regresi adalah analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini. Analisis korelasi digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antar variabel, di mana variabel terikat berupa nilai kualitas udara (NO₂) dan variabel bebas berupa data indeks vegetasi yang meliputi NDVI dan EVI. Nilai dari indeks yang dihasilkan dikorelasikan dengan nilai NO₂ yang didapatkan di Dinas Lingkungan Kehutanan Kabupaten Bantaeng. Perhitungan koefisien korelasi. Korelasi antara nilai indeks *Normalized Difference Vegetation Index* dan *Enhanced Vegetation Index*

Dengan nilai NO₂ ditentukan menggunakan koefisien korelasi pearson. Analisis dilakukan dengan menghubungkan nilai indeks vegetasi terhadap NO₂ pada setiap titik sampling pengamatan menggunakan perangkat *microsoft excel*.

Nilai korelasi bertujuan untuk memahami hubungan antara variabel-variabel yang berkaitan dengan perkiraan nilai NO₂. Koefisien korelasi memiliki rentang nilai dari

-1 hingga 1. Nilai negatif menunjukkan bahwa hubungan antara dua variabel berlawanan arah, yaitu jika salah satu variabel menurun, variabel lainnya akan meningkat. Sebaliknya, koefisien korelasi positif menunjukkan hubungan searah, yaitu jika satu variabel meningkat, variabel lainnya juga akan meningkat.



lainnya juga akan meningkat. Jika koefisien korelasi bernilai 0, berarti tidak ada hubungan antara kedua variabel yang diuji

Tingkat kekuatan hubungan tersebut dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai koefisien korelasi. Nilai kurang dari 0,2 mencerminkan hubungan yang sangat lemah dan hampir dapat diabaikan; nilai antara 0,2 hingga 0,4 menunjukkan korelasi rendah, tetapi dengan adanya hubungan yang pasti; nilai 0,4 hingga 0,7 mengindikasikan korelasi sedang dengan tingkat hubungan yang cukup substansial; nilai antara 0,7 hingga 0,9 menunjukkan korelasi yang tinggi dengan hubungan yang kuat; sedangkan nilai lebih dari 0,9 merepresentasikan korelasi yang sangat tinggi dan hubungan yang sangat andal. Uji korelasi dilakukan pada semua indeks vegetasi terhadap nilai NO₂ aktual

Regresi Linear Sederhana. Analisis regresi linear merupakan teknik statistik untuk memperkirakan nilai suatu variabel berdasarkan nilai tersebut. Variabel dependen adalah variabel yang perlu diramalkan. Variabel independen digunakan untuk meramalkan nilai variabel lainnya. Regresi linear digunakan disetiap arah untuk mendapatkan tingkat penurunan dan statistik terkait. Untuk setiap rentang NDVI, tingkat penurunan dan nilai R-kuadrat dihitung menggunakan pendekatan regresi linear yang kuat. Kecuali untuk kondisi permukaan kosong (NDVI 0,20), nilai R-kuadrat sebagian besar konstan sepanjang fluktuasinya (lebih dari 0,50)

Sementara itu, untuk analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa baik variabel bebas dapat menjelaskan variabel terikat, variabel bebas adalah nilai indeks vegetasi yang digunakan dan variabel terikat adalah nilai kualitas udara NO₂ pada setiap sampel (Mardiatmoko 2020). Model regresi yang digunakan dalam penelitian dengan persamaan:

Model regresi yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Linear $Y = a + bX$
 2. Logaritmik $Y = a + b \ln X$
 3. Polinomial $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + \dots b_nX^n$
- (2.3)

dengan,

Y = Variabel terikat/ NO₂ (μmol/m²)

X = Variabel bebas/nilai indeks vegetasi

a = Nilai konstanta



antara indeks vegetasi terhadap NO₂ dilakukan untuk uji indeks vegetasi, yang dimana akan dilakukan uji korelasi antara NO₂ dan EVI kepada NO₂.

Koefisien Determinasi (R^2). Koefisien determinasi merupakan nilai yang menunjukkan sejauh mana variasi atau perubahan pada variabel terikat dapat dijelaskan oleh variasi atau perubahan pada variabel bebas. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, di mana semakin mendekati 1, model dianggap semakin akurat dalam menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan terikat.

Uji-t Statistik. Uji-t digunakan untuk mengetahui apakah model regresi variabel independen secara parsial berpengaruh signifikan terhadap variabel dpenden. Uji normalitas bertujuan untuk menentukan apakah nilai residual terdistribusi secara normal. Model regresi yang baik adalah model dengan nilai residual yang terdistribusi secara normal. Untuk mendeteksinya, dapat dilihat penyebaran data pada garis diagonal di grafik Normal PP *Plot of regression standardized*. Jika data tersebar disekitar garis dan mengikuti garis diagonal, maka model regresi tersebut dianggap normal dan layak digunakan untuk memprediksi variabel bebas, jika tidak, sebaliknya.



Secara sistematis, tahapan-tahapan dalam alur penelitian disajikan secara ringkas pada Gambar 8 berikut

