



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERUBAHAN KONDISI VEGETASI, PEMBANGUNAN, DAN
PERAIRAN DI WILAYAH KABUPATEN MIMIKA, PAPUA TENGAH DARI
TAHUN 2014 HINGGA 2023 DENGAN DATA LANDSAT-8 MENGGUNAKAN
GOOGLE EARTH ENGINE**

**UJIAN AKHIR SEMESTER
METODE PENGUMPULAN DATA DIGITAL**

Dibuat Oleh:

Muhammad Alvero Johansyah

2106726106

**FAKULTAS MIPA
PROGRAM SARJANA**

DEPOK

2024

1. LATAR BELAKANG

Wilayah PT Freeport Indonesia di Kabupaten Mimika, Papua Tengah, merupakan salah satu kawasan pertambangan terbesar di dunia yang memiliki dampak signifikan terhadap kondisi lingkungan sekitarnya. Aktivitas pertambangan yang intensif dan perluasan infrastruktur terkait telah membawa perubahan besar pada lanskap, yang mencakup vegetasi, pembangunan, dan perairan. Pentingnya memahami perubahan ini semakin mendesak mengingat dampak ekologis dan sosial yang dihadapi oleh masyarakat lokal serta keanekaragaman hayati di kawasan tersebut.

Perubahan kondisi vegetasi seringkali menjadi indikator utama dari dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Vegetasi yang hilang atau berubah fungsinya dapat mengarah pada degradasi habitat, penurunan kualitas air, serta perubahan iklim mikro. Selain itu, pembangunan infrastruktur seperti jalan, fasilitas industri, dan perumahan pekerja juga memberikan tekanan tambahan terhadap lingkungan alam. Di sisi lain, kondisi perairan, baik dalam bentuk sungai, danau, maupun sistem drainase buatan, juga mengalami perubahan yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas sumber daya air.

Dalam dekade terakhir, teknologi penginderaan jauh (remote sensing) telah berkembang pesat dan menjadi alat penting dalam pemantauan perubahan lingkungan. Data satelit Landsat-8, yang tersedia sejak tahun 2013, menawarkan resolusi temporal dan spasial yang cukup untuk menganalisis perubahan lingkungan secara rinci. Dengan menggunakan platform Google Earth Engine, analisis data Landsat-8 dapat dilakukan secara efisien dan komprehensif, memungkinkan pemetaan dan evaluasi perubahan vegetasi, pembangunan, dan perairan di wilayah PT Freeport Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kondisi vegetasi, pembangunan, dan perairan di wilayah PT Freeport Indonesia dari tahun 2014 hingga 2023. Dengan memanfaatkan data satelit Landsat-8 dan teknologi Google Earth Engine, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai tren perubahan yang terjadi. Informasi ini sangat penting untuk merumuskan strategi pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dan mitigasi dampak negatif dari aktivitas pertambangan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi para pemangku kepentingan dalam memahami dinamika perubahan lingkungan dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga keseimbangan ekosistem di Kabupaten Mimika.

2. RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana perubahan kondisi vegetasi di wilayah Kabupaten Mimika, Papua Tengah, dari tahun 2014 hingga 2023 berdasarkan data Landsat-8?
2. Bagaimana dinamika perubahan pembangunan infrastruktur wilayah tersebut selama periode waktu 2014-2023 berdasarkan data Landsat-8?
3. Bagaimana perubahan kondisi perairan, termasuk sungai dan danau, di wilayah Kabupaten Mimika, Papua Tengah selama periode waktu 2014-2023?
4. Bagaimana efek dan perubahan yang ditimbulkan dari kegiatan operasional pertambangan pada PT Freeport Indonesia di wilayah Kabupaten Mimika, Papua Tengah?

3. TUJUAN

1. Menganalisis perubahan kondisi vegetasi di wilayah PT Freeport Indonesia Kabupaten Mimika dari tahun 2014 hingga 2023 menggunakan data Landsat-8.
2. Mengidentifikasi dan memetakan dinamika pembangunan infrastruktur di wilayah tersebut dalam periode yang sama.
3. Menilai perubahan kondisi perairan di wilayah PT Freeport Indonesia dengan menggunakan data penginderaan jauh.
4. Mengidentifikasi efek dan perubahan terhadap kegiatan operasional pertambangan pada PT Freeport Indonesia di wilayah Kabupaten Mimika, Papua Tengah.

5. MANFAAT PENELITIAN

1. **Manfaat Akademis:** Penelitian ini dapat memperkaya literatur mengenai penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk analisis perubahan lingkungan di wilayah pertambangan.
2. **Manfaat Sosial:** Penelitian ini dapat memberikan wawasan bagi masyarakat lokal mengenai kondisi lingkungan di sekitar mereka, serta dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas pertambangan.
3. **Manfaat Kebijakan:** Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan yang mendukung pembangunan berkelanjutan. Data dan analisis yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperbaiki regulasi terkait pemanfaatan lahan dan pengelolaan sumber daya alam di Kabupaten Mimika.

5. BATASAN PENELITIAN

1. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang melibatkan pengumpulan dan analisis data numerik.
2. Data citra satelit yang digunakan adalah Landsat-8 dengan pengolahan data menggunakan Google Earth Engine

3. Lokasi penelitian yang dilakukan adalah mencakup seluruh wilayah Kabupaten Mimika, Papua Tengah dengan data penggunaan lahan berasal dari [Shapefile Provinsi Papua Perwilayah](#).
4. Periode waktu penelitian ini adalah dari tahun 2014 hingga 2023
5. Teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis perubahan vegetasi adalah dengan teknik Normalize Difference Vegetation Index (NDVI).
6. Teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis perubahan pembangunan adalah dengan teknik Normalize Difference Built-Up Index (NDBI).
7. Teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis perubahan perairan adalah dengan teknik Normalize Difference Water Index (NDWI).
8. Untuk memvalidasi dan memverifikasi data yang dihasilkan, dilakukan proses cloud masking untuk menghapus efek awan dalam citra satelit, serta penggunaan scaling factors untuk penyesuaian nilai pantulan.

6. TAHAPAN PENELITIAN

1. Pengumpulan data: Mengunduh citra satelit Landsat-8 dari Google Earth Engine untuk periode waktu 2014 sampai 2023.
2. Preprocessing data: melakukan cloud masking untuk menghapus efek awan dan melakukan scaling pada data pantulan.
3. Analisis Data: Menghitung sekaligus mengklasifikasi NDVI, NDBI, dan NDWI dari citra yang telah diproses serta mengidentifikasi perubahan vegetasi, pembangunan, dan perairan di Kabupaten Mimika.
4. Analisis Perubahan NDVI, NDBI, dan NDWI dari tahun 2014 hingga 2023 di Kabupaten Mimika.
5. Analisis Statistik: berupa analisis statistik deskriptif seperti mean dari data NDVI, NDBI, dan NDWI dari tahun 2014 hingga tahun 2023 di Kabupaten Mimika.
6. Analisis Statistik: berupa analisis statistik spasial untuk memetakan dan memvisualisasikan perubahan NDVI, NDBI, dan NDWI di Kabupaten Mimika (misalnya terjadi peningkatan, penurunan, atau tidak ada perubahan).
7. Interpretasi Hasil: menganalisis tren perubahan dan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan tersebut.
8. Kesimpulan penelitian: membuat pembahasan kesimpulan penelitian yang dibuat berdasarkan tujuan penelitian.

7. LANDASAN TEORI

1. Penginderaan Jauh (Remote Sensing)

Remote sensing adalah kegiatan yang merujuk pada teknik-teknik yang telah dikembangkan untuk mengambil atau memperoleh informasi dan analisis mengenai permukaan bumi. Informasi ini biasanya berupa radiasi elektromagnetik, baik yang dipancarkan maupun yang dipantulkan oleh permukaan bumi.



Gambar 7.1 Penginderaan Jauh

Aplikasi penginderaan jauh mencakup manfaat dalam berbagai bidang, termasuk pemetaan lahan, pemantauan perubahan penggunaan lahan, analisis vegetasi, dan pemantauan kualitas air.

2. Citra Satelit Landsat-8

Landsat merupakan program satelit pengamatan bumi yang dikembangkan NASA untuk melakukan pemantauan bumi yang berkelanjutan sejak 1972. Variasi satelit Landsat berupa Landsat-8 satelit observasi bumi yang diluncurkan oleh NASA dan USGS pada tahun 2013. Satelit ini dilengkapi dengan dua instrumen utama: Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS). OLI memiliki sembilan band spektral yang meliputi rentang cahaya tampak hingga inframerah, sementara TIRS memiliki dua band inframerah termal. Landsat-8 menyediakan data dengan resolusi spasial 30 meter, resolusi temporal 16 hari, dan resolusi spektral yang memungkinkan analisis mendetail mengenai kondisi permukaan bumi.



Gambar 7.2 Satelit Landsat-8

3. Google Earth Engine

Google Earth Engine adalah platform komputasi awan yang dirancang untuk analisis dan pemrosesan data penginderaan jauh skala besar. Google Earth Engine memungkinkan peneliti untuk mengakses, memproses, dan menganalisis data satelit secara efisien tanpa memerlukan infrastruktur komputasi lokal yang besar. Platform ini menyediakan berbagai alat

dan pustaka untuk pemrosesan citra, analisis spasial, dan visualisasi data, serta mendukung berbagai bahasa pemrograman seperti JavaScript dan Python.



Gambar 7.3 Google Earth Engine

4. Indeks Vegetasi, Pembangunan, Perairan (NDVI, NDBI, NDWI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah indeks yang digunakan untuk mengukur dan memantau kondisi vegetasi di permukaan bumi. NDVI memanfaatkan perbedaan sifat reflektif dari daun pada panjang gelombang merah (RED) dan inframerah dekat (NIR). Rumus NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai positif yang tinggi menunjukkan vegetasi yang sehat dan lebat.

Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) adalah indeks yang digunakan untuk mengidentifikasi area terbangun seperti bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya. NDBI memanfaatkan perbedaan sifat reflektif pada panjang gelombang inframerah dekat (NIR) dan inframerah pendek (SWIR). Rumus NDBI adalah sebagai berikut:

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

Normalized Difference Water Index (NDWI) adalah indeks yang digunakan untuk mengidentifikasi badan air seperti danau, sungai, dan lahan basah. NDWI memanfaatkan perbedaan sifat reflektif pada panjang gelombang hijau (GREEN) dan inframerah dekat (NIR). Rumus NDWI adalah sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

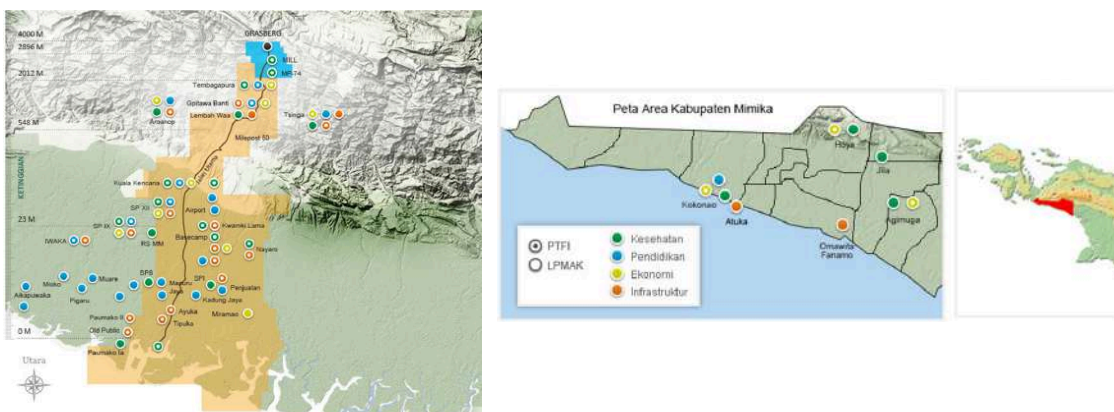
Penelitian ini akan menggunakan NIR = Band 5, RED = Band 4, GREEN = Band 3, dan SWIR = Band 6

5. Dampak Pertambangan pada Lingkungan dan Area CSR PT Freeport Indonesia

Aktivitas pertambangan memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan alam. Dampak-dampak ini mencakup perubahan fisik dan kimiawi pada lingkungan yang dapat mempengaruhi ekosistem dan kesehatan manusia. Berikut beberapa dampak utama pertambangan terhadap lingkungan:

- a. Degradasi Lahan: Pertambangan seringkali menyebabkan kerusakan lahan secara besar-besaran, termasuk deforestasi, erosi tanah, dan hilangnya habitat alami.
- b. Pencemaran Air: Air limbah dari proses penambangan, yang mengandung bahan kimia berbahaya seperti merkuri, arsenik, dan sianida, dapat mencemari sungai, danau, dan sumber air tanah.
- c. Gangguan Ekosistem: Pertambangan dapat menyebabkan gangguan ekosistem yang signifikan, termasuk hilangnya keanekaragaman hayati, perubahan struktur komunitas tumbuhan dan hewan, serta fragmentasi habitat.

Berikut ini merupakan area Corporate Social Responsibility (CSR) dimana perusahaan bertanggung jawab secara sosial kepada pemangku kepentingan dan masyarakat luas sebagai bentuk perhatiannya dalam meningkatkan kesejahteraan dan berdampak positif bagi lingkungan.



Gambar 7.4 Area CSR dari PT Freeport Indonesia

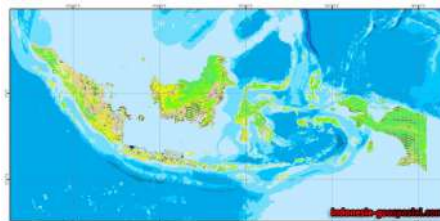
6. Perubahan Penggunaan Lahan dan Tutupan Lahan

Perubahan penggunaan lahan merujuk pada transformasi dalam cara lahan digunakan oleh manusia, seperti perubahan dari hutan menjadi lahan pertanian atau dari lahan alami menjadi area terbangun. Perubahan tutupan lahan merujuk pada perubahan fisik pada permukaan lahan, seperti dari vegetasi alami menjadi lahan terbuka atau terbangun. Perubahan penggunaan dan tutupan lahan disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk:

- **Pertumbuhan Penduduk:** Meningkatnya populasi memerlukan lebih banyak lahan untuk perumahan, pertanian, dan infrastruktur.
- **Ekonomi:** Perubahan ekonomi, seperti peningkatan industri dan urbanisasi, dapat mengubah pola penggunaan lahan.

- **Kebijakan dan Peraturan:** Kebijakan pemerintah dan peraturan penggunaan lahan dapat mendorong atau menghambat perubahan lahan.

Sementara dampak perubahan penggunaan lahan dapat berpengaruh pada lingkungan. Perubahan penggunaan lahan dapat menyebabkan degradasi lingkungan, termasuk hilangnya keanekaragaman hayati, erosi tanah, dan perubahan siklus hidrologi.



Gambar 7.5 Penggunaan Lahan

8. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mendapatkan hasil dan pembahasan, terdapat langkah-langkah metodologi penelitian sekaligus script yang harus dibuat dan diterapkan pada Google Earth Engine. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan Data Citra Satelit Landsat-8 dan Import File



Gambar 8.1 Import File dan Pemilihan Citra Satelit

Data penggunaan lahan berasal dari [Shapefile Provinsi Papua Perwilayah](#). Script ini pertama-tama mengimpor seluruh koleksi citra Landsat 8 Level 2 menggunakan `ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")`.

2. Preprocessing Citra

```
// Cloud Masking Citra Landsat 8
12
13
14 var masking = function(img) {
15   // Bitmask untuk bayangan awan
16   var cloudshadowbitmask = (1 << 3);
17   var cloudshadowmask = (1 << 5);
18
19   // Memilih band QA_PIXEL
20   var qa = img.select('QA_PIXEL');
21
22   // Membuat mask untuk bayangan awan
23   var maskshadow = qa.bitwiseAnd(cloudshadowbitmask).eq(0);
24
25   // Membuat mask untuk awan
26   var maskcloud = qa.bitwiseAnd(cloudshadowmask).eq(0);
27
28   // Menggabungkan mask bayangan awan dan mask awan
29   var mask = maskshadow.and(maskcloud);
30
31   // Memperbarui mask citra dengan mask yang telah dibuat
32   return img.updateMask(mask);
33 };
34
35 // Memuat kumpulan data Landsat 8 yang jernih
36 var l8Clear = l8tabledate.sort('CLOUD_COVER_LAND')
37   .map(masking)
38   .median();

42 // Scaling Factors
43 var scale = function applyScaleFactors(image) {
44   var opticalBands =
45     image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
46   var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);
47
48   return image.addBands(opticalBands, null, true)
49     .addBands(thermalBands, null, true);
50 };
```


Gambar 8.2 Cloud Masking dan Scaling Factor

Dalam proses ini, cloud masking dilakukan dengan tujuan penghilangan awan, serta scaling factor agar koleksi data memiliki nilai yang konsisten dan dapat dibandingkan satu sama lain. Output layer setelah dilakukan cloud masking:



Gambar 8.3 Hasil Cloud Masking

3. Menampilkan Data Citra Satelit

Berikut salah satu tampilan warna nyata untuk Kabupaten Mimika yang didapatkan menggunakan citra satelit Landsat-8 pada Google Earth Engine sepanjang tahun 2023 (1 Januari - 31 Desember):

```
50 //
51 //Clip Citra Landsat 8
52 var l8Clip=l8Clear.clip(table);
53 var l8scale = scale(l8Clip);
54 var composite = l8scale;
55 var composite = composite.toFloat();
56
57 //Display Citra True Color
58 var visualisasi = {bands: ['SR_B4', 'SR_B3', 'SR_B2'], max:0.1};
59 Map.addLayer(composite, visualisasi, 'komposit warna nyata');
60
```



Gambar 8.4 Menampilkan Data Citra Satelit 2023

4. Perhitungan NDVI

```
67 //NDVI
68 var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red));
69 var ndvi = ndvi.clip(table);
70 var ndv1 = ee.Image()
71   .where(ndvi.gt(-0.02).and(ndvi.lte(0.26)), 2)
72   .where(ndvi.gt(0.26).and(ndvi.lte(0.53)), 3)
73   .where(ndvi.gt(0.53).and(ndvi.lte(0.69)), 4)
74   .where(ndvi.gt(0.69).and(ndvi.lte(0.8)), 5)
75   .where(ndvi.gt(0.8), 6);
76 var ndv12 = ndv1.clip(table);
77 Map.addLayer(ndv12, {min:2, max:6, palette:['red', 'orange', 'yellow', 'limegreen']});
78
```



Gambar 8.5 Menampilkan Hasil Klasifikasi NDVI 2023

Penelitian ini menggunakan NIR = Band 5, RED = Band 4, GREEN = Band 3, dan SWIR = Band 6. Script ini menghitung NDVI dari citra satelit, memotong hasilnya agar hanya mencakup area yang diinginkan, mengklasifikasikan nilai NDVI ke dalam beberapa kategori, dengan detail sebagai berikut:

Nilai Indeks NDVI	Keterangan
[-1] - [0.11]	Non-Vegetasi [Merah]
[0.11] - [0.25]	Vegetasi Sangat Rendah [Oranye]
[0.25] - [0.33]	Vegetasi Rendah [Kuning]
[0.33] - [0.45]	Vegetasi Sedang [Limegreen]
[0.45] - [1]	Vegetasi Tinggi [Hijau]

5. Perhitungan NDBI

```

79 //NDBI
80 var ndbi = swir.subtract(nir).divide(swir.add(nir));
81 var ndbi = ndbi.clip(table);
82 var ndbi2 = ee.Image(1)
83   .where(ndbi.gt(-1).and(ndbi.lte(-0.4)), 2)
84   .where(ndbi.gt(-0.4).and(ndbi.lte(-0.3)), 3)
85   .where(ndbi.gt(-0.3).and(ndbi.lte(-0.15)), 4)
86   .where(ndbi.gt(-0.15).and(ndbi.lte(0.37)), 5);
87 var ndbi2 = ndbi2.clip(table);
88 Map.addLayer(ndbi2, {min:2, max:5, palette:['green', 'limegreen', 'orange', 'red', 'darkred']});

```



Gambar 8.6 Menampilkan Hasil Klasifikasi NDBI 2023

Script ini menghitung NDBI dari citra satelit, memotong hasilnya agar hanya mencakup area yang diinginkan, mengklasifikasikan nilai NDBI ke dalam beberapa kategori, dengan detail sebagai berikut:

Nilai Indeks NDBI	Keterangan
[-1] - [-0.4]	Non Pembangunan [Hijau]
[-0.4] - [-0.3]	Pembangunan Jarang [Limegreen]
[-0.3] - [-0.15]	Pembangunan Rapat [Oranye]
[-0.15] - [0.37]	Pembangunan Sangat Rapat [Merah]

6. Perhitungan NDWI

```

89 //NDWI
90 var ndwi = green.subtract(nir).divide(green.add(nir));
91 var ndwi = ndwi.clip(table);
92 var ndwi2 = ee.Image(1)
93   .where(ndwi.gt(-1).and(ndwi.lte(-0.66)), 2)
94   .where(ndwi.gt(-0.66).and(ndwi.lte(-0.33)), 3)
95   .where(ndwi.gt(-0.33).and(ndwi.lte(1)), 4);
96 var ndwi2 = ndwi2.clip(table);
97 Map.addLayer(ndwi2, {min:2, max:4, palette:['cyan', 'darkcyan', 'blue']});

```



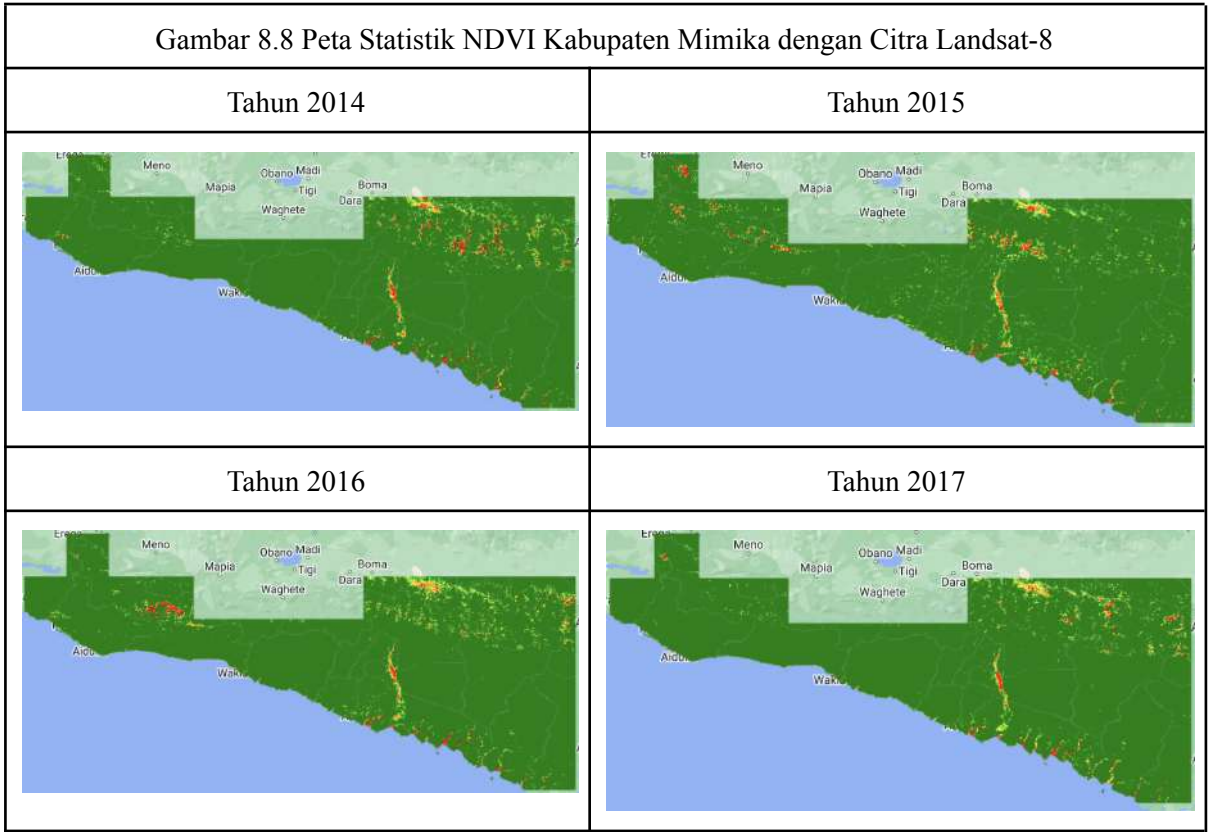
Gambar 8.7 Menampilkan Hasil Klasifikasi NDWI 2023

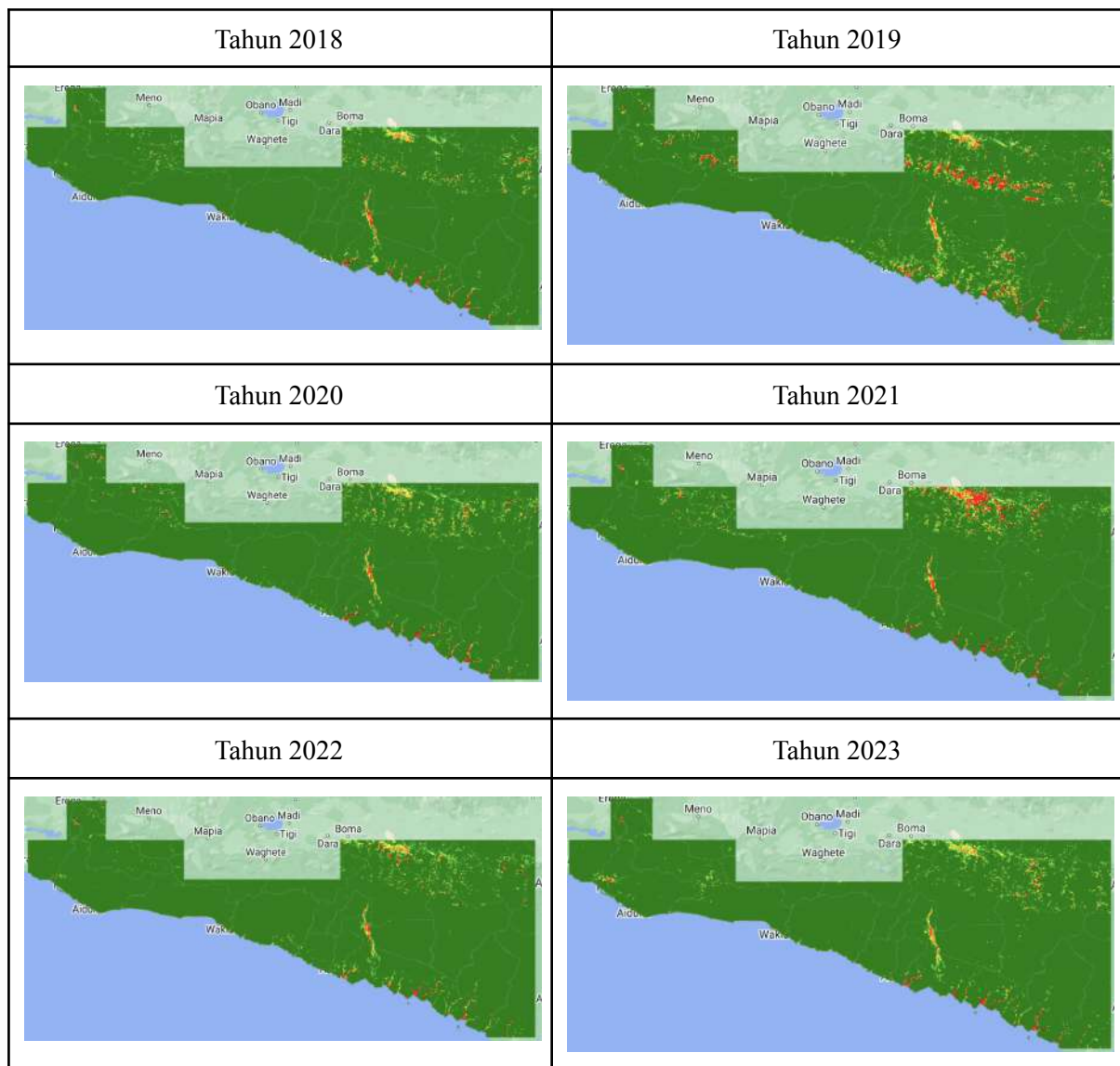
Script ini menghitung NDWI dari citra satelit, memotong hasilnya agar hanya mencakup area yang diinginkan, mengklasifikasikan nilai NDWI ke dalam beberapa kategori, dengan detail sebagai berikut:

Nilai Indeks NDWI	Keterangan
$[-1] - [-0.66]$	Non Badan Air [Cyan]
$[-0.66] - [-0.33]$	Kebasahan Sedang [Darkcyan]
$[-0.33] - [1]$	Kebasahan Tinggi [Blue]

antara lain wilayah non-badan air, kebasahan sedang, dan kebasahan tinggi. Hasilnya adalah peta yang menunjukkan variasi keberadaan air dalam area yang ditentukan berdasarkan nilai NDWI.

Setelah masing-masing perhitungan NDVI, NDBI, dan NDWI dengan penentuan klasifikasinya telah dilakukan, selanjutnya adalah membandingkan hasil citra dari tahun 2014 hingga tahun 2023 dan menghitung nilai luasan untuk setiap kelas pada masing-masing vegetasi, pembangunan, dan perairan yang telah diklasifikasi. Berikut ini hasil yang didapatkan dengan menggunakan Google Earth Engine pada data citra Landsat-8:





Dari gambar diatas, wilayah berwarna hijau merupakan wilayah yang tinggi vegetasinya, wilayah dengan warna lime green merupakan wilayah vegetasi sedang, warna kuning berarti wilayah vegetasi rendah, oranye berarti wilayah vegetasi sangat rendah, serta warna merah berarti wilayah non vegetasi.

Dapat dilihat bahwa sepanjang periode tahun 2014 sampai 2023, wilayah yang memiliki tingkat vegetasi rendah dan sangat rendah dominan di wilayah operasional pertambangan dari PT Freeport Indonesia, khususnya di wilayah Kecamatan Tembagapura, Kabupaten Mimika.

Gambar 8.9 Peta Statistik NDBI Kabupaten Mimika dengan Citra Landsat-8	
Tahun 2014	Tahun 2015



Tahun 2016



Tahun 2017



Tahun 2018



Tahun 2019



Tahun 2020



Tahun 2021



Tahun 2022

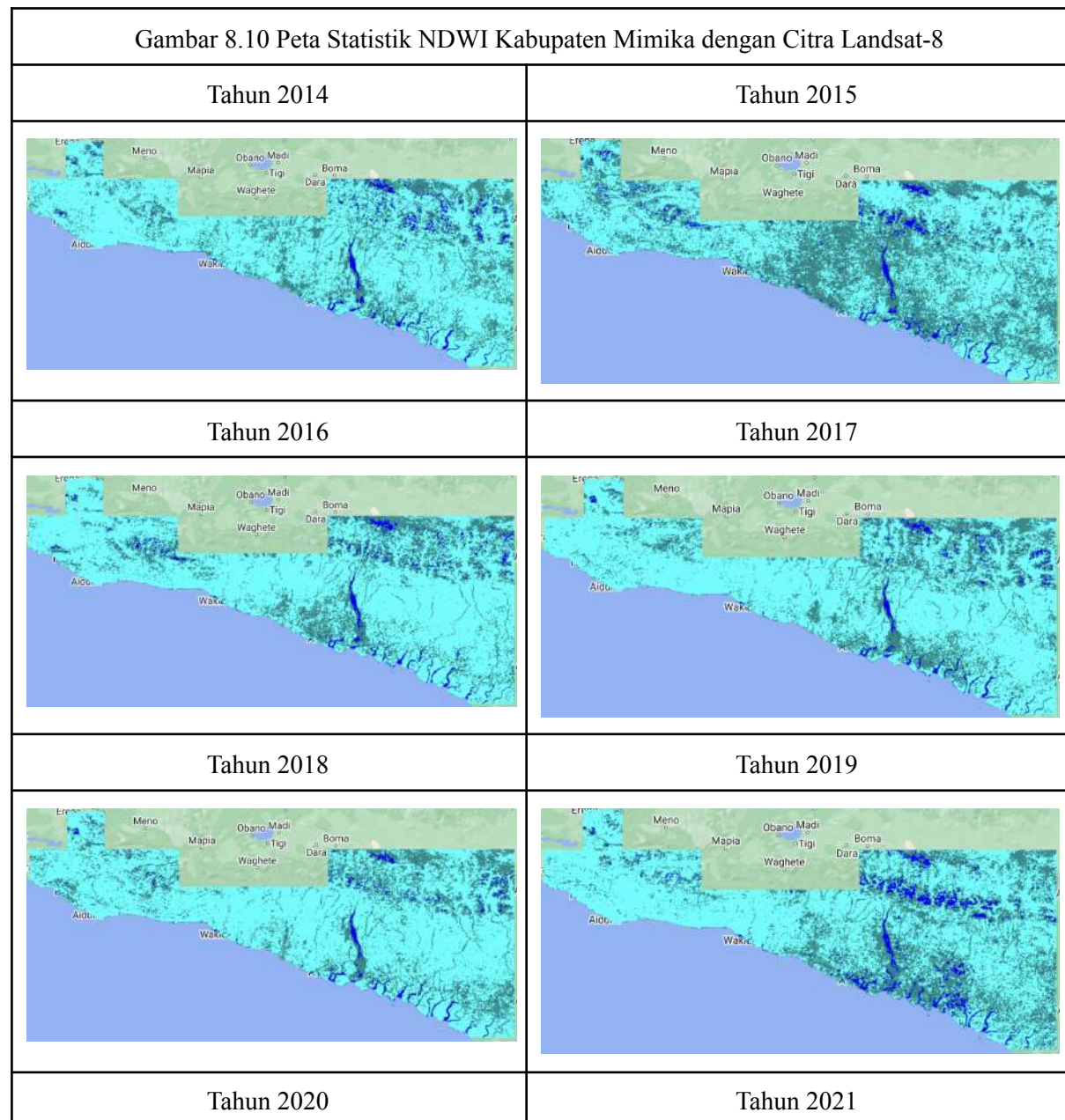


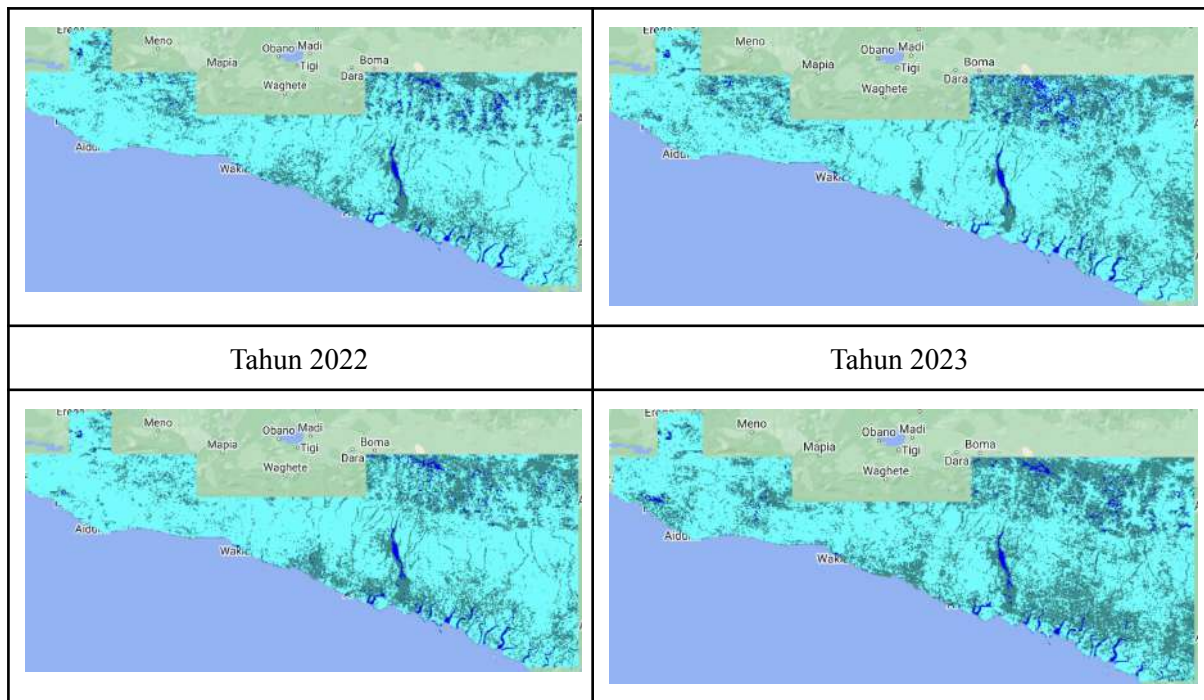
Tahun 2023



Dari gambar diatas, wilayah berwarna hijau merupakan wilayah non pembangunan, wilayah dengan warna lime green merupakan wilayah dengan pembangunan jarang, warna orange berarti wilayah pembangunan rapat, serta warna merah berarti wilayah pembangunan sangat rapat.

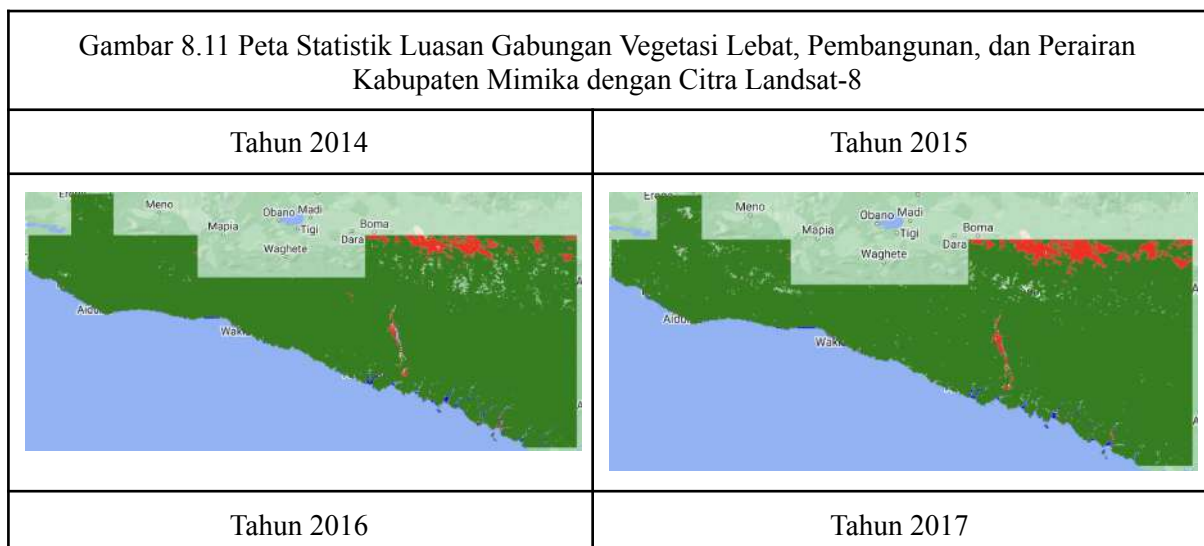
Dapat dilihat bahwa sepanjang periode tahun 2014 sampai 2023, wilayah yang memiliki tingkat pembangunan rapat dan sangat rapat dominan di wilayah operasional pertambangan dari PT Freeport Indonesia, khususnya di wilayah Kecamatan Tembagapura, Kabupaten Mimika.

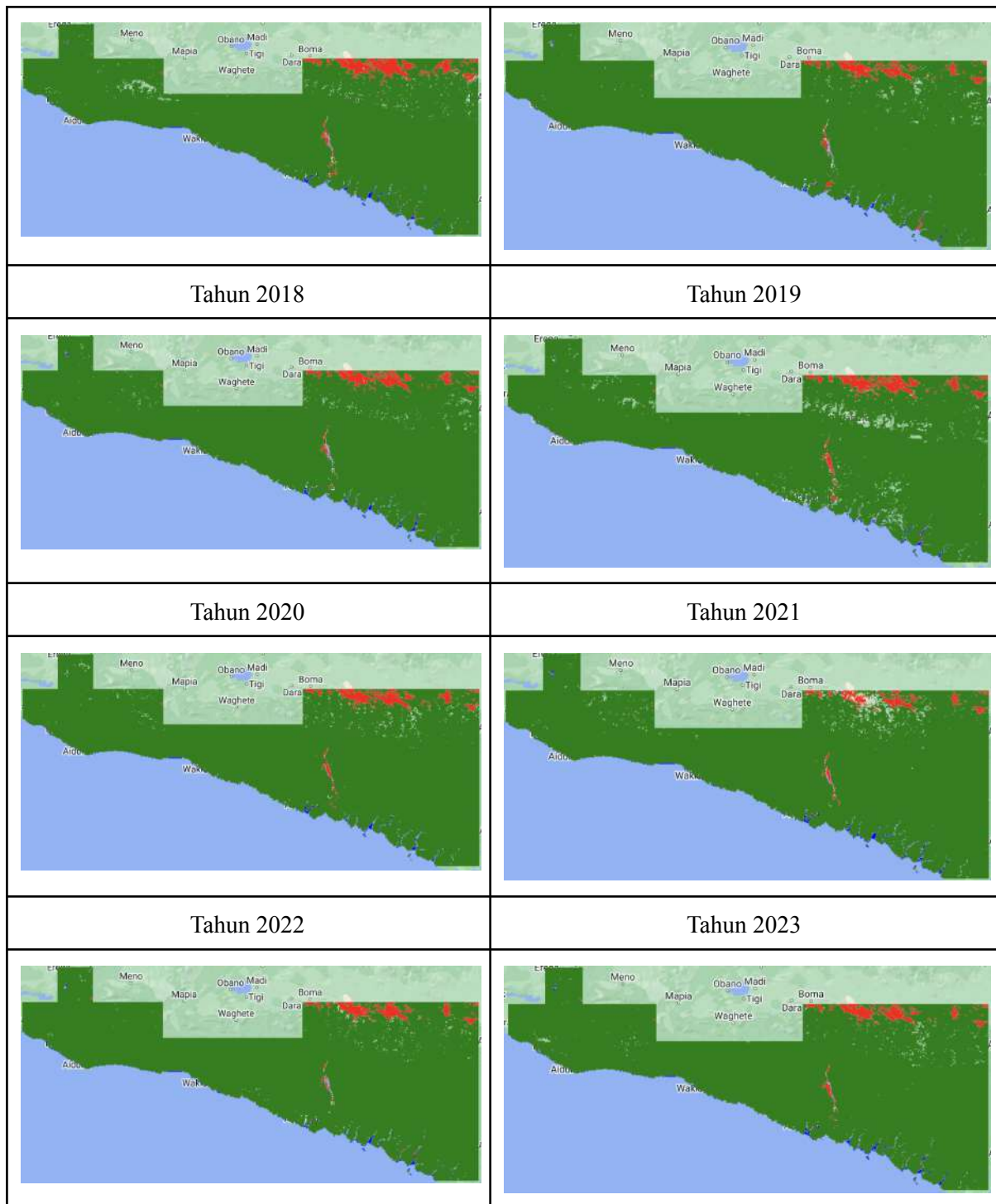




Dari gambar diatas, wilayah berwarna cyan merupakan wilayah non badan air, wilayah dengan warna darkcyan merupakan wilayah dengan kebasahan sedang, serta warna biru berarti wilayah dengan kebasahan tinggi.

Dapat dilihat bahwa sepanjang periode tahun 2014 sampai 2023, wilayah yang memiliki tingkat kebasahan sedang dan kebasahan tinggi dominan di wilayah operasional pertambangan dari PT Freeport Indonesia, khususnya di wilayah Kecamatan Tembagapura, Kabupaten Mimika





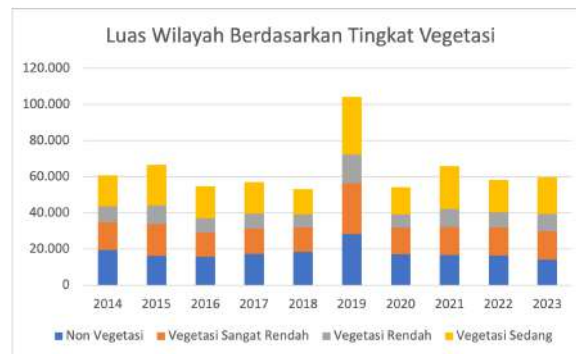
Gambar diatas merupakan visualisasi untuk memunculkan peta statistik gabungan dari vegetasi, bangunan, dan perairan. Untuk wilayah vegetasi diberi warna hijau, wilayah pembangunan diberi warna merah, serta wilayah perairan diberi warna biru.

Dapat dilihat bahwa wilayah vegetasi di kabupaten mimika masih lebih luas dibandingkan pembangunan dan perairannya. Akan tetapi, dapat dilihat juga bahwa wilayah pembangunan cukup dominan di area pertambangan dari PT Freeport Indonesia, khususnya Kecamatan Tembagapura, Kabupaten Mimika, Papua Tengah.

Selanjutnya, didapatkan nilai luasan untuk setiap kelas pada masing-masing vegetasi, pembangunan, dan perairan yang telah diklasifikasi pada Kabupaten Mimika adalah sebagai berikut:

KLASIFIKASI NDVI	LUAS WILAYAH (HEKTAR)										Perubahan 2014-2023
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Non Vegetasi	19.347	16.301	15.732	17.369	18.407	28.431	17.155	16.701	16.453	14.159	-5.188
Vegetasi Sangat Rendah	15.581	17.410	13.422	13.832	13.671	27.858	14.704	15.496	15.621	15.775	194
Vegetasi Rendah	8.737	10.412	7.849	8.491	7.064	15.996	7.396	9.933	8.283	9.439	702
Vegetasi Sedang	17.135	22.396	17.753	17.307	14.097	32.052	14.843	23.619	17.917	20.341	3.206
Vegetasi Tinggi	2.554.333	2.534.277	2.540.988	2.575.731	2.570.900	2.513.156	2.569.905	2.557.257	2.578.417	2.576.999	22.666

Gambar 8.12 Nilai Luasan masing-masing Klasifikasi NDVI dalam Hektar



Gambar 8.13 Visualisasi luas wilayah berdasarkan tingkat vegetasi

Untuk Luasan non vegetasi mengalami peningkatan signifikan pada tahun 2019 (28.431 hektar) dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, tetapi kemudian menurun drastis dan stabil, mencapai 14.159 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi penurunan sebesar 5.188 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Kategori vegetasi sangat rendah ini menunjukkan peningkatan luasan pada tahun 2019 (27.858 hektar), diikuti oleh penurunan dan kemudian stabil pada kisaran 15.775 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 194 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Luasan vegetasi rendah ini menunjukkan penurunan drastis dari tahun 2015 (10.412 hektar) ke 2016 (7.849 hektar) dan kemudian fluktuatif, berakhir dengan 9.439 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 702 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Luasan vegetasi sedang menunjukkan peningkatan signifikan pada tahun 2015 (22.396 hektar), tetapi kemudian mengalami penurunan dan stabil di sekitar 14.843 hektar pada tahun 2020 hingga sedikit meningkat menjadi 13.261 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 3.206 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Terakhir, Kategori vegetasi tinggi ini relatif stabil dengan sedikit fluktuasi, menunjukkan sedikit peningkatan dari 2.554.333 hektar pada tahun 2014 menjadi 2.576.999 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 22.666 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

LUAS WILAYAH (HEKTAR)											
KLASIFIKASI NDBI	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Perubahan 2014-2023
Non Pembangunan	1.742.079	1.451.903	1.830.919	1.828.572	1.803.151	1.820.792	1.837.722	1.840.479	1.909.030	1.739.170	-2.909
Pembangunan Jarak	681.795	923.085	569.522	601.557	623.201	610.134	601.107	583.025	555.087	696.864	15.069
Pembangunan Rapat	163.091	199.926	171.126	173.798	169.617	165.998	160.714	173.971	146.989	171.393	8.303
Pembangunan Sangat Rapat	105.012	124.321	118.156	93.307	99.775	106.225	99.046	79.932	88.465	93.433	-11.580

Gambar 8.14 Nilai Luasan masing-masing Klasifikasi NDBI dalam Hektar



Gambar 8.15 Visualisasi luas wilayah berdasarkan tingkat pembangunan

Kategori non pembangunan menunjukkan peningkatan hingga tahun 2019 (1.820.792 hektar) sebelum sedikit menurun dan kemudian stabil di sekitar 1.739.170 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi penurunan sebesar 2.909 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Untuk Kategori pembangunan jarak menunjukkan fluktuasi dengan peningkatan pada tahun 2015 (923.085 hektar), penurunan pada tahun 2016 (569.522 hektar), dan mencapai 696.864 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 15.069 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Dalam kategori pembangunan rapat, kategori ini relatif stabil dengan sedikit fluktuasi, menunjukkan peningkatan dari 163.091 hektar pada tahun 2014 menjadi 171.393 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 8.303 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Terakhir, kategori pembangunan sangat rapat menunjukkan fluktuasi yang lebih besar, tetapi umumnya stabil dengan penurunan dari 105.012 hektar pada tahun 2014 menjadi 93.433 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi penurunan sebesar 11.580 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

LUAS WILAYAH (HEKTAR)											
KLASIFIKASI NDWI	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Perubahan 2014-2023
Non Badan Air	2.275.407	2.093.136	2.336.501	2.310.468	2.359.688	2.409.926	2.355.827	2.235.630	2.281.931	2.151.652	-123.755
Kebasahan Sedang	346.752	533.981	290.723	326.200	276.812	280.439	282.198	379.246	356.610	488.569	141.818
Kebasahan Tinggi	88.414	85.128	81.138	77.545	81.081	80.951	74.511	79.962	74.087	76.663	-11.752

Gambar 8.16 Nilai Luasan masing-masing Klasifikasi NDWI dalam Hektar



Gambar 8.17 Visualisasi luas wilayah berdasarkan tingkat pembangunan

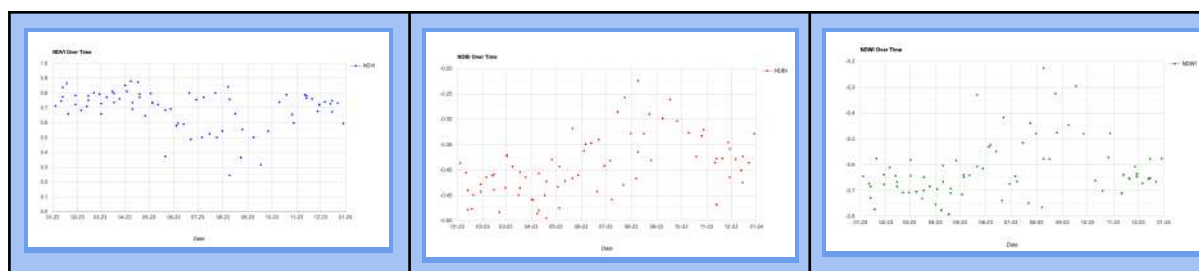
Luasan non badan air ini menunjukkan peningkatan dari 2.275.407 hektar pada tahun 2014 hingga mencapai puncaknya pada tahun 2019 (2.409.926 hektar), sebelum menurun menjadi 2.151.652 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi penurunan sebesar 123.755 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Pada kategori kebasahan sedang terdapat fluktuasi yang signifikan, dengan peningkatan dari 2015 (533.981 hektar) ke 2016 (290.723 hektar), kemudian naik lagi menjadi 488.569 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi peningkatan sebesar 141.818 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

Terakhir, kategori kebasahan tinggi relatif stabil dengan sedikit fluktuasi, menunjukkan penurunan dari 88.414 hektar pada tahun 2014 menjadi 76.663 hektar pada tahun 2023. Secara keseluruhan, terjadi penurunan sebesar 11.752 hektar dari tahun 2014 hingga 2023.

RATA-RATA NILAI INDEX SEPANJANG TAHUN											
Teknik Analisis	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Perubahan 2014-2023
NDVI	0,6785573	0,6854341	0,7116404	0,712225314	0,689870355	0,712998488	0,702090877	0,730116146	0,73315806	0,69440525	0,01584800
NDBI	-0,388896	-0,390447	-0,417001	-0,40754770	-0,402333863	-0,39977523	-0,401735068	-0,41107668	-0,40190905	-0,39298697	-0,00409081
NDWI	-0,604859	-0,602231	-0,631125	-0,632320953	-0,636316867	-0,63607273	-0,626259723	-0,650822739	-0,65007766	-0,61906021	-0,01420072

Gambar 8.18 Nilai Rata-Rata (Mean) Index NDVI, NDBI, dan NDWI dari tahun 2014-2023



Gambar 8.19 Salah Satu Sebaran Nilai Index NDVI, NDBI, dan NDWI, Sepanjang Tahun 2023

Nilai NDVI menunjukkan peningkatan secara keseluruhan dari 0,6785573 pada tahun 2014 menjadi 0,69440525 pada tahun 2023, dengan fluktuasi yang signifikan setiap tahunnya. Peningkatan ini mencerminkan adanya peningkatan tutupan vegetasi selama periode tersebut. Ini memungkinkan terdapat upaya rehabilitasi lahan dan reforestasi di beberapa wilayah setelah kegiatan tambang oleh PT Freeport Indonesia di Kabupaten Mimika, Papua Tengah.

Sedangkan nilai NDBI menunjukkan sedikit penurunan dari -0,388896 pada tahun 2014 menjadi -0,39298697 pada tahun 2023, dengan fluktuasi tahunan. Penurunan ini mengindikasikan bahwa wilayah tersebut mengalami sedikit peningkatan dalam area pembangunan, namun perubahan keseluruhan relatif kecil. Ini memungkinkan bahwa terdapat stabilitas dalam pembangunan infrastruktur yang terkait dengan operasional pertambangan. Hal ini bisa berarti bahwa tidak banyak pembangunan baru yang dilakukan di luar area yang sudah ada.

Terakhir, nilai NDWI menunjukkan penurunan dari -0,604859 pada tahun 2014 menjadi -0,61906021 pada tahun 2023, dengan beberapa fluktuasi selama periode tersebut. Penurunan ini mencerminkan adanya penurunan kelembaban tanah atau tutupan air di wilayah tersebut. Hal ini dapat memungkinkan karena terdapat dampak penambangan terhadap sumber air yang sering kali mengakibatkan perubahan hidrologi lokal, termasuk penurunan permukaan air tanah dan perubahan aliran sungai. Hal ini dapat menjelaskan penurunan nilai NDWI karena aktivitas pertambangan oleh PT Freeport Indonesia yang intensif dapat mengurangi ketersediaan air di permukaan.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Tingkat perubahan wilayah vegetasi yang terjadi di Kabupaten Mimika terdapat penurunan signifikan dalam kategori non vegetasi, sementara vegetasi sedang dan tinggi mengalami peningkatan, menunjukkan adanya pemulihan atau perbaikan kondisi vegetasi di beberapa area. Peningkatan kecil dalam nilai NDVI dari tahun 2014 ke 2023 menunjukkan bahwa ada sedikit peningkatan dalam tutupan vegetasi di wilayah Kabupaten Mimika. Fluktuasi tahunan yang signifikan dapat disebabkan oleh berbagai faktor termasuk kondisi cuaca dan kegiatan manusia.
2. Tingkat perubahan wilayah pembangunan yang terjadi di Kabupaten Mimika menghasilkan Area pemukiman jarang dan rapat yang menunjukkan peningkatan, sementara non pemukiman dan pemukiman sangat rapat mengalami penurunan. Ini dapat menunjukkan adanya pergeseran dalam pola pembangunan dan urbanisasi. Penurunan yang sangat kecil dalam nilai NDBI mengindikasikan bahwa perubahan dalam area pembangunan tidak terlalu signifikan selama periode tersebut, meskipun ada beberapa peningkatan dan penurunan tahunan.
3. Tingkat perubahan perairan di Kabupaten Mimika Terjadi penurunan signifikan dalam kategori non badan air, sementara kebasahan sedang mengalami peningkatan yang signifikan. Ini mungkin menunjukkan adanya perubahan dalam kondisi hidrologi atau dampak dari aktivitas manusia yang mempengaruhi area perairan. Penurunan nilai NDWI menunjukkan adanya penurunan dalam kelembapan atau tutupan air, yang mungkin disebabkan oleh perubahan iklim, kegiatan pertambangan, atau penggunaan lahan lainnya.
4. Kegiatan operasional pertambangan PT Freeport Indonesia telah mempengaruhi vegetasi, pembangunan, dan perairan di Kabupaten Mimika. Upaya rehabilitasi dan pengelolaan lingkungan yang dilakukan oleh perusahaan bisa menjelaskan peningkatan kecil dalam NDVI. Sementara itu, stabilitas dalam pembangunan infrastruktur dan peningkatan efisiensi operasional dapat menjelaskan sedikitnya perubahan dalam nilai NDBI. Penurunan NDWI mengindikasikan adanya dampak negatif terhadap kelembapan tanah dan tutupan air, yang kemungkinan besar disebabkan oleh aktivitas penambangan.

Berikut ini merupakan saran dari penelitian ini:

1. Peningkatan Resolusi Data

Peningkatan resolusi data yang lebih tinggi untuk memperoleh akurasi yang akurat disertai dengan preprocessing data yang lebih komprehensif akan memberikan detail yang lebih baik mengenai perubahan vegetasi, pembangunan, dan perairan.

2. Pemantauan Jangka Panjang

Studi pemantauan jangka panjang dapat diterapkan lebih dalam agar terlihat tren yang lebih jelas dan untuk mengidentifikasi dampak kumulatif dari kegiatan tambang dan intervensi mitigasi yang diterapkan.

3. Analisis Dampak Lingkungan

Disarankan untuk lakukan analisis dampak lingkungan yang lebih mendalam untuk mengidentifikasi dan mengukur dampak spesifik dari kegiatan pertambangan agar memberikan panduan yang lebih komprehensif untuk mitigasi dampak negatif.

9. DAFTAR PUSTAKA

- Chuvieco, E., & Huete, A. (2010). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing*. CRC Press.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall.
- Wulder, M. A., White, J. C., Goward, S. N., Masek, J. G., Irons, J. R., Herold, M., ... & Cohen, W. B. (2008). Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 955-969.