



POLA SPASIAL PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN/PENGGUNAAN LAHAN MENGGUNAKAN *GOOGLE EARTH ENGINE* DI KABUPATEN MAJALENGKA

SPATIAL PATTERN OF LAND COVER/LAND USE CHANGE USING GOOGLE EARTH ENGINE AT MAJALENGKA REGENCY

Adrian^{1,2*}, Widiatmaka³, Khursatul Munibah³, Irman Firmansyah⁴

¹Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor; Bogor

²Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Islam 45 Bekasi; Bekasi

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor; Bogor

⁴System Dynamics Center; Bogor

*Korespondensi: ophunkpetrucci@gmail.com

Info Artikel:

- Artikel Masuk: 18 Mei 2022
- Artikel diterima: 13 Desember 2023
- Tersedia Online: 31 Desember 2023

ABSTRAK

Pembangunan fisik di suatu wilayah memerlukan lahan, seperti sektor perumahan, pertanian, industri, pertambangan, serta transportasi. Pertambahan jumlah penduduk akan berimplikasi terhadap meningkatkan kebutuhan akan ruang yang menyebabkan perubahan Land Use Land Cover (LULC) di suatu wilayah. Kabupaten Majalengka merupakan bagian dari pengembangan Kawasan Segitiga Rebana (Cirebon-Patimban-Kertajati) yang telah direncanakan dan ditetapkan menjadi kawasan ekonomi khusus (KEK). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis LULC perubahan di Kabupaten Majalengka (2011-2021) menggunakan data citra Sentinel 2A selama 10 tahun (2011-2021) diperoleh dari Google Earth Engine (GEE). Klasifikasi LULC menggunakan machine learning dengan pendekatan random forest dipadu dengan analisa Normalized Difference Built-Up Index (NDBI), Normalized Difference Water Index (NDWI), dan peta lahan baku sawah untuk menghasilkan petautupan lahan. Hasil pengolahan citra yang menghasilkan peta penggunaan lahan menggunakan algoritma smile-Random Forest pada platform GEE dipadu dengan Analisa NDWI dan NDBI menghasilkan petautupan lahan yang akurat dengan nilai OA sebesar 98.81% dan kappa sebesar 95.91%. Penurunan luasan lahan pertanian (sawah, ladang) di Kabupaten Majalengka mengalami penyusutan seluas 4457,36 ha dalam kurun waktu sepuluh tahun (2011-2021). Kelebihan Platform GEE dimana menyediakan akses cepat dan mudah ke berbagai data citra satelit tanpa harus mengunduh atau menyimpan data secara lokal.

Kata Kunci: Google Earth Engine, Land Use Changes, KEK Rebana, Sawah

ABSTRACT

Physical development in an area requires land, such as the housing, agriculture, industry, mining, and transportation sectors. The increase in population will have implications for increasing the need for space, which will cause changes in an area's Land Use Land Cover (LULC). Majalengka Regency is part of the development of the Rebana Triangle Area (Cirebon-Patimban-Kertajati), which has been planned and designated as a special economic zone (KEK). This research aims to analyze LULC changes in Majalengka Regency (2011-2021) using Sentinel 2A image data for ten years (2011-2021) obtained from Google Earth Engine (GEE). LULC classification uses machine learning with a random forest approach combined with Normalized Difference Built-Up Index (NDBI), Normalized Difference Water Index (NDWI) analysis, and raw rice field maps to produce land cover maps. The results of image processing, which produces a land use map using the smile-Random Forest algorithm on the GEE platform combined with NDWI and NDBI analysis, produces an accurate land cover map with an OA value of 98.81% and a kappa of 95.91%. The decline in agricultural land (rice fields, fields) in Majalengka Regency has decreased by 4457.36 ha in the ten years (2011-2021). The advantage of the GEE platform is that it provides fast and easy access to various satellite imagery data without downloading or storing it locally.

Keyword: Google Earth Engine, Land Use Changes, Special Economic Zone Rebana, Paddy Field

1. PENDAHULUAN

Citra satelit menjadi salah satu sumber data penting untuk menghasilkan peta penggunaan lahan serta untuk menganalisis perubahan secara temporal (Kempfer & Mathews, 2017; Yang et al., 2017). Data penginderaan jauh optik seperti Landsat serta Sentinel adalah data yang paling umum dan sering digunakan untuk menganalisis perubahan lahan/tutupan lahan (*Land Use and Land Cover*). Munculnya generasi baru sensor multispektral di Landsat 8 dan Sentinel-2 memberikan peluang untuk analisis multi-temporal lokasi dengan masalah tutupan awan yang sering terjadi (Mandanici & Bitelli, 2016).

Pada umumnya dalam proses pengolahan citra satelit, pengguna perlu mengunduh data satelit melalui portal data, memproses data menggunakan perangkat lunak mandiri, serta mengirimkannya ke pengguna akhir. Dengan berkembangnya *Google Earth Engine* (GEE) data satelit bahkan pemrosesan dapat dilakukan dengan mudah melalui platform *online* dan berbasis *cloud* (Gorelick et al., 2017). Munculnya platform *cloud GEE* memberikan dukungan yang baik untuk memecahkan masalah bagaimana pengguna penginderaan jauh dapat secara efisien memilih data yang menarik, dari sejumlah besar data penginderaan jauh. GEE mencakup database multi-sumber, kemampuan komputasi kinerja tinggi, serta antarmuka pemrograman aplikasi *online* dan lingkungan pengembangan interaktif berbasis jaringan untuk pengembang, sehingga memiliki kemampuan hasil simulasi dan perhitungan yang kuat (Amani et al., 2020). Pengolahan dengan *Google Earth Engine* (GEE), Data-data citra tersedia pada *cloud environment* sehingga pengguna tidak perlu mengunduh data serta dapat mengunggah data spasial.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh fakta bahwa bidang pertanian masih menjadi bagian penting dalam perkembangan kesejahteraan serta ekonomi bagi masyarakat Kabupaten Majalengka, dimana pendapatan PDRB sektor pertanian masih menjadi urutan pertama (BPS Kabupaten Majalengka 2010 - 2015). Sumber daya alam vital yang dibutuhkan bagi pembangunan adalah lahan yang tersedia bagi perumahan, industri, pertambangan, transportasi dan sektor pertanian. Lahan pertanian merupakan bidang lahan yang digunakan untuk usaha pertanian, tersedianya lahan pertanian sangat diperlukan karena penduduk yang semakin meningkat menyebabkan kebutuhan pangan ikut meningkat (Gomiero, 2016). Mengacu pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 2009 terkait proteksi lahan pertanian pangan berkelanjutan (LP2B), Tidak tersedianya lahan pertanian yang potensial maupun berkurangnya lahan pertanian akan berakibat fatal pada kedaulatan pangan (Undang Undang Republik Indonesia No. 41 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan, 2009).

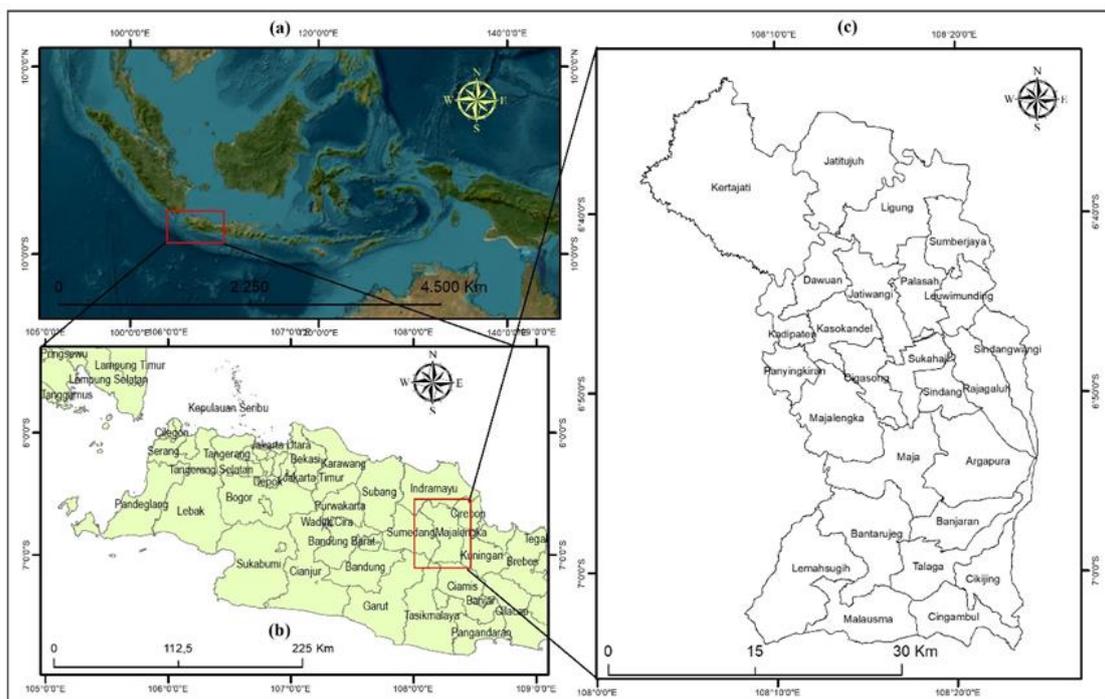
Ekspansi area perkotaan yang tidak terkendali akibat fenomena urbanisasi dapat berdampak buruk pada lahan pertanian (Gandharum et al., 2022). Lahan pertanian sawah mempunyai tingkat kerentanan tinggi untuk berubah menjadi penggunaan lahan dalam bentuk lain (Somantri et al., 2021; Widiatmaka et al., 2014; Xie et al., 2005). Situasi ini dialami oleh Kabupaten Majalengka yang memiliki potensi lahan pertanian yang tinggi di Jawa Barat. Di sisi lain, Kabupaten Majalengka merupakan bagian dari pengembangan Kawasan Segitiga Rebana (Cirebon-Patimban-Kertajati) yang telah direncanakan serta disahkan menjadi Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) (Bappenas, 2018). Hal ini berpotensi terhadap tingginya perubahan lahan pertanian menjadi non pertanian.

Penelitian yg dilakukan oleh Sari & Kushardono (2019), terjadi perubahan penggunaan lahan di Majalengka terkait dengan pembangunan infrastruktur Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) yang menjadi bagian dari KEK Rebana. Luas bandara Internasional Jawa Barat pada tahun 2013 adalah 10,10 Ha, meningkat menjadi seluas 546,70 Ha pada tahun 2018. Hal ini menyebabkan luasan sawah mengalami konversi sebesar 413,30 Ha. Dengan demikian, kawasan KEK Rebana di Kabupaten Majalengka diasumsikan dapat berimbas negatif secara fisik terhadap peralihan penggunaan lahan, terutama lahan pertanian dalam skala besar. Oleh sebab itu, tujuan makalah ini adalah menganalisis pola spasial perubahan tutupan lahan sawah menjadi lahan terbangun menggunakan platform *cloud Google Earth Engine* (GEE), sehingga dapat menjadi informasi spasial yang berkelanjutan di Kabupaten Majalengka.

2. DATA DAN METODE

2.1 Lokasi

Lokasi penelitian dilakukan di Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat pada tahun 2022. Secara geografis Kabupaten Majalengka terletak antara $108^{\circ} 03' - 108^{\circ} 25'$ Bujur Timur dan $6^{\circ} 36' - 6^{\circ} 58'$ Lintang Selatan, terdiri dari 26 Kecamatan. Kabupaten Majalengka di sebelah Utara berbatasan terhadap Kabupaten Indramayu, disebelah Selatan dengan Kabupaten Garut, Kabupaten Tasikmalaya, dan Kabupaten Ciamis, disebelah Barat dengan Kabupaten Sumedang, dan disebelah Timur dengan Kabupaten Cirebon dan Kabupaten Kuningan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh fakta bahwa sektor pertanian masih memegang peranan penting dalam perkembangan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat Kabupaten Majalengka, dimana pendapatan PDRB sektor pertanian masih menjadi urutan pertama dan ikuti oleh sektor industri pada peringkat kedua dan konstruksi peringkat ketiga (BPS, 2018).



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 1. Peta Kabupaten Majalengka

2.2 Data

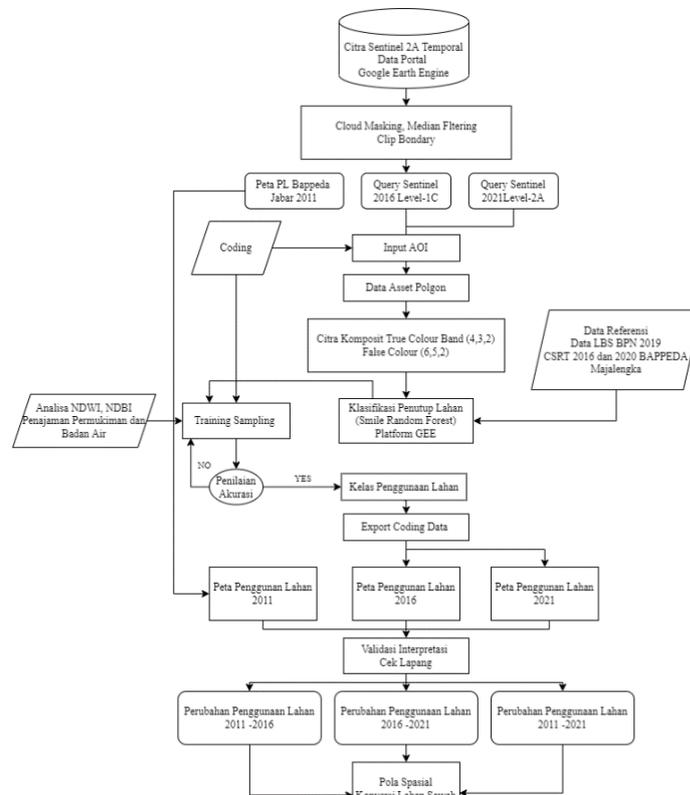
Beberapa Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder, data primer yang diaplikasikan adalah hasil survey berupa pengecekan interpretasi citra di lapangan. Data sekunder berupa peta tata guna lahan tahun 2011, peta administrasi, dan peta lahan baku sawah. Selain itu, digunakan juga citra satelit yang diolah sehingga menghasilkan peta penggunaan lahan menggunakan perangkat lunak aplikasi *Google Earth Engine (GEE)* (<https://code.earthengine.google.com/>) dan *ArcMap 10.8*. Peta yang dihasilkan meliputi peta penggunaan lahan tahun 2011, 2016, dan 2021. Data tersebut kemudian dikonfirmasi dengan data perencanaan wilayah serta Tata Ruang Wilayah Kabupaten Majalengka Tahun 2011-2031 yang bersumber dari Bappeda Kabupaten Majalengka. Secara umum jenis data, sumber data, teknik pengumpulan data, metode analisis, dan keluaran yang diharapkan tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Sumber dan Data yang Digunakan Dalam Penelitian

No	Tahun	Jenis Data	Sumber	Teknik Analisis	Output Penelitian
1	2011	Peta tata guna lahan	Bappeda	Analisis Klasifikasi tutupan lahan	Pola spasial konversi lahan sawah
2	2021	Peta administrasi	Bappeda	(Terbimbing) menjadi 9 kelas	
3	2022	Peta RTRW revisi	Bappeda	Coding Google Earth Engine dan	
4	2016	Citra Sentinel 2A	GEE	Kalibrasi dengan CSRT	
5	2021	Citra Sentinel 2A	GEE	Random Forest Analysis	
6	2019	Peta Lahan Baku Sawah 2019	BPN		

2.3 Teknik Analisis

Fokus penelitian adalah perubahan penggunaan lahan sawah di Kabupaten Majalengka. Tahapan analisis penggunaan/tutupan lahan yang dilakukan adalah: (1) penyusunan mosaik data citra Sentinel-2 MSI (*MultiSpectral Instrument*) Level-1C dan Level-2A dengan menggabungkan beberapa scene dengan analisis *tool filter date* dalam rentang waktu satu tahun, dengan menyertakan properti koleksi Sentinel Level-2A *orthorectified atmospherically corrected surface reflectance* (2) mengambil rerata nilai tengah (median) dari mosaik citra pada periode tersebut; (3) mengolah serta memotong mosaik citra menggunakan poligon batas administrasi wilayah penelitian; (4) menampilkan visualisasi citra; (5) menentukan sampling penggunaan/tutupan lahan (6) melakukan analisis klasifikasi terbimbing (*supervised*) dengan pendekatan *machine learning* *Smile-Random Forest*; (7) menguji serta menghitung *Overall Accuracy* (OA) dan *Kappa Accuracy*; (8) menambahkan analisis NDBI dan NDWI untuk peningkatan akurasi (9) mengunduh hasil analisis (10) pengolahan peta tutupan/penggunaan lahan di *arcgis* untuk menghitung pola spasial perubahan lahan. Kerangka analisis penggunaan lahan disajikan pada Gambar 2.



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 2. Kerangka Analisis

Validasi yang digunakan adalah pendekatan verifikasi data lapangan dan uji titik sampel di lokasi studi. Dalam melakukan pengujian ketelitian tahapan ini mengikuti pendekatan serta metode penilaian *stratified random sampling* untuk *remote sensing* (Sutanto, 1987) sebagai berikut:

1. Inspeksi lapangan pada sejumlah titik sampling terpilih pada setiap jenis penggunaan lahan, dimana untuk lahan persawahan dilakukan inspeksi lebih dalam. Setiap jenis tutupan/penggunaan lahan dikaitkan dengan sejumlah daerah pengambilan sampel berdasarkan homogenitas titik pengambilan sampel.
2. Membandingkan kesesuaian hasil analisis klasifikasi citra dengan kondisi lapangan yang sebenarnya.
3. Hasil dari analisis data citra digital dilakukan perhitungan matriks (confusion matrix) terhadap jenis tutupan/penggunaan lahan dimana akan diketahui tingkat akurasi. Titik sampling diperoleh dengan menggunakan pendekatan analisis slovin (Roziqin & Kusumawati, 2017).

$$n = N/N(d)^2 + 1$$

Dimana :

n = sampel;

N = populasi;

D = nilai presisi 90% atau sig. = 0,1

Survei primer atau verifikasi lokasi melibatkan pemantauan langsung pada area studi dan mengambil dokumentasi kondisi lapangan terkait penggunaan lahan untuk memverifikasi penggunaan lahan yang ada serta ukuran sampel untuk setiap jenis penggunaan lahan, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Validasi Sample Penggunaan Lahan di Lapangan

	SNI 7645-2014	Jumlah Cell (10x10) m	Jumlah Sample
1.	Sawah	4826671	145
2.	Ladang	3140747	94
3.	Kebun campuran	3023493	91
4.	Semak belukar/Tanah Kosong	28748	1
5.	Hutan primer/hutan sekunder/RTH	365871	11
6.	permukiman	1689374	51
7.	Badan air	144720	4
8.	Industri/Perkantoran/pergudangan	33457	1
9.	Bandara	71652	2
Jumlah		13324733	400

Sumber: Penulis, 2022

Klasifikasi tutupan/penggunaan lahan dalam riset ini dirangkum atas peraturan SNI 7645-2014 terkait klasifikasi penutupan lahan dan penggunaan lahan. Penggabungan ini menghasilkan klasifikasi penggunaan lahan yang terdiri 9 kelas penggunaan lahan. Uji validasi tutupan/penggunaan 2021 mengikuti prosedur *remote sensing* dengan metode estimasi *stratified random sampling* (Sutanto, 1987). Uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan tahun 2020 menggunakan 400 titik uji dengan metode sebaran *stratified random sampling*. Titik sampel didapatkan dengan pendekatan rumus Slovin berdasarkan jumlah pixel hasil klasifikasi seperti pada tabel diatas. *Script google earth engine* untuk menghitung perubahan tahunan tutupan/penggunaan pada periode tahun 2016 dan 2021 dapat dilihat pada Gambar 3.

```

var S2A = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")
    .filterDate('2018-10-01', '2019-12-01')
    .filter(ee.Filter.lt("CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE", 90))
    .map(maskS2clouds)
    .median()
    .clip(boundary);

function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select("QA60");
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(1);
}

//clip by roi
var landsat_2010 = landsat_3.clip(majalengka)

//display the clipped image with visual parameters bands and RGB
Map.addLayer(landsat_2010, {bands: ['B7', 'B5', 'B2'], min: 0, max:
0.3}, 'majalengka_2010'); //run

//merge sampel points together into one featureColi
var landcover =
sawah.merge(badan_air).merge(pemukiman).merge(sawah)
.merge(hutan).merge(ladang).merge(sawah).merge(sawah)
.merge(sawah);

print(landcover);

//select bands from mosaic image for training
var bands = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B7'];

//sample the input imagery to get a FeatureColi of training data
var training = Sentinel_2021.select(bands).sampleRegions({
  collection: landcover,
  properties: ['lc'],
  scale: 10
});

//train the classifier
var classifier = ee.Classifier.smileCart(), train({
  features: training,
  classProperty: 'lc',
  inputProperties: bands
});

//classify the input imagery
var classified = sentinel_2021.select(bands).classify(classifier);

//define color palette
var palette = [ffffbf, '0c2c84', 'ef3b2c', 'b2df8a', '33a02c', '8c3d04'];

//display the classified result
Map.addLayer(classified, {min: 0, max: 5, palette: palette}, 'LULC_2021');
//run

//optimally, do some accuracy assesment, First, add a colom of random
uniform to the training data
var withRandom = training.randomColumn("random");

//we want to reserve some of the data testing, to avoid overfitting the
model,
var split = 0.7; //roughly 70% training, 30% testing
var trainingPartition = withRandom.filter(ee.Filter.lt("random", split));
var testingPartition = withRandom.filter(ee.Filter.gte("random", split));

//trained with 70% of our data
var trainedClassifier = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
  features: trainingPartition,
  classProperty: 'lc',
  inputProperties: bands
});

var test = testingPartition.classify(trainedClassifier);

// the confusion matrix
var confusionMatrix_2021 = test.errorMatrix('lc', 'classified_2021')
print("Confusion Matrix 2021", confusionMatrix_2021);

//Membuat akurasi
var confMatrix = classifier.confusionMatrix();
var OA = confMatrix.accuracy();
var Kappa = confMatrix.kappa();
print("OA: ", OA);
print("Kappa: ", Kappa);

// Tetapkan ukuran dan letak legenda
var legend = ui.Panel({
  style: {
    position: 'bottom-left',
    padding: '8px 15px'
  }
});

// Membuat judul
var legendTitle = ui.Label({
  value: 'Legenda',
  style: {
    fontWeight: 'bold',
    fontSize: '18px',
    margin: '0 0 4px 0',
    padding: '0'
  }
});

// Menampilkan judul ke panel
legend.add(legendTitle);

// Membuat style
var makeRow = function(color, name) {

  // Mewarnai box
  var colorBox = ui.Label({
    style: {
      backgroundColor: '#f + color,
      // Use padding to give the box height and width.
      padding: '8px',
      margin: '0 0 4px 0'
    }
  });

  // Membuat label
  var description = ui.Label({
    value: name,
    style: {margin: '0 0 4px 6px'}
  });

  // Mengembalikan panel
  return ui.Panel({
    widgets: [colorBox, description],
    layout: ui.Panel.Layout.Flow("horizontal")
  });
};

// Menambahkan warna dan nama
for (var i = 0; i < 6; i++) {
  legend.add(makeRow(palette[i], names[i]));
}

var RGBTrue = S2A.select(['B4', 'B3', 'B2']);
var RGBParam = {min: 0, max: 3000};
Map.addLayer(RGBTrue, RGBParam, 'Sentinel RGB 432');

var test = testingPartition.classify(trainedClassifier);
// the confusion matrix
var confusionMatrix_2010 = test.errorMatrix('lc', 'classified_2010')
print("Confusion Matrix 2010", confusionMatrix_2010);
//Membuat akurasi
var confMatrix = classifier.confusionMatrix();
var OA = confMatrix.accuracy();
var Kappa = confMatrix.kappa();
print("OA: ", OA);
print("Kappa: ", Kappa);

//-----ekspor-----
Export.image.toDrive({
  image: RGBTrue,
  description: 'DATA Sentinel 2A JAWA 2017',
  scale: 30,
  maxPixels: 600000000,
  region: geometry
});
    
```

Sumber: Penulis, 2022

Gambar 3. Script Google Earth Engine Analisis Tutupan Lahan 2016 dan 2021

2.3.1 Algoritma NDBI

Normalized Difference Built-up Index (NDBI) adalah pendekatan algoritma yang digunakan untuk memperkirakan tingkat area terbangun (Vigneshwaran & Vasantha Kumar, 2018). Prinsip dari pendekatan algoritma ini adalah untuk mempertajam objek bangunan terhadap nilai rasio antara pita *mid-infrared* (MIR) dan *near-infrared* (NIR) band. Berdasarkan karakteristiknya, objek kawasan terbangun mencerminkan pita MIR lebih tinggi daripada pita NIR. Dalam beberapa kasus, tanah kering dan daerah terbangun memiliki pola serta karakteristik yang sama dimana nilai reflektansi MIR jauh lebih tinggi daripada gelombang NIR (Gao, 1996). Rumus untuk menghitung NDBI dapat dilihat pada Tabel 3 (Gómez et al., 2020). Indeks yang umum digunakan adalah *Normalized Difference Built-up Index* atau dikenal dengan NDBI. NDBI banyak digunakan dalam analisis pemetaan keberadaan kawasan terbangun dengan menggunakan citra penginderaan jauh. Algoritma ini dapat meningkatkan akurasi terhadap lahan terbangun untuk tutupan lahan permukiman.

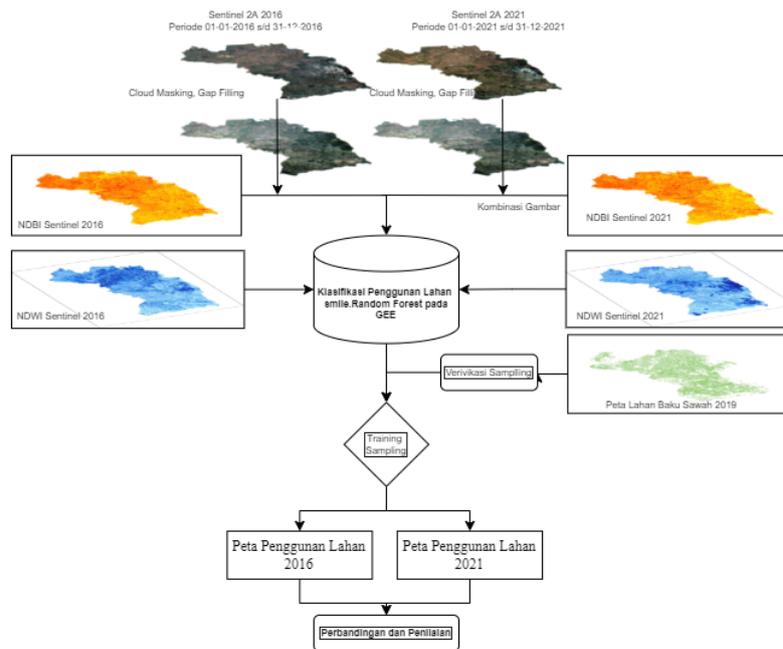
2.3.2 Algoritma NDWI

Normalized Difference Water Index (NDWI) adalah algoritma yang digunakan untuk mengidentifikasi objek air. Algoritma menggunakan pita hijau dan pita inframerah karena objek air memiliki tinggi karakteristik reflektansi dalam spektrum hijau (GREEN) dan tingkat penyerapan yang tinggi di dekat inframerah spektrum (RED). Dengan membandingkan nilai kedua pita, benda yang mengandung air akan bertambah radiometrik jika dibandingkan dengan objek lain (Gao, 1996; Sellars et al., 2013). NDWI mengekstrak lebih banyak badan air dalam konteks bangunan, seperti badan air di kota, informasi badan air yang diekstraksi akan meningkat, yang sangat menyimpang dari informasi badan air yang sebenarnya. Dengan penambahan algoritma ini dapat meningkatkan akurasi terhadap tutupan lahan badan air dan

lahan pertanian, rumus menghitung NDWI dapat dilihat pada Tabel 3. Alur penggabungan platform NDBI dan NDWI dengan klasifikasi tutupan/penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 3. Rumus Indeks Spektral

No.	Indeks	Rumus
1	NDBI	$NDVI = (NIR - MERAH) / (NIR + MERAH)$
2	NDWI	$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 4. Penggabungan Metode NDBI, NDWI dengan Analisis Tutupan Lahan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Tutupan/Penggunaan Lahan

Hasil analisis klasifikasi tutupan/penggunaan lahan dihitung dengan menggunakan matriks konfusi. Berdasarkan data matriks konfusi, dihasilkan *user's accuracy*, *overall accuracy*, dan *producer's accuracy*, yang dapat dilihat pada Tabel 4; dimana *Overall accuracy* merupakan presentase piksel-piksel yang tepat dikelaskan dalam penggunaan lahan; sedangkan *Producer's accuracy* menunjukkan ketepatan piksel dikelaskan pada berbagai kategori; untuk *user's accuracy* menunjukkan kesalahan dalam mengelaskan piksel pada kategori penggunaan lahan yang seharusnya (Duan et al., 2019).

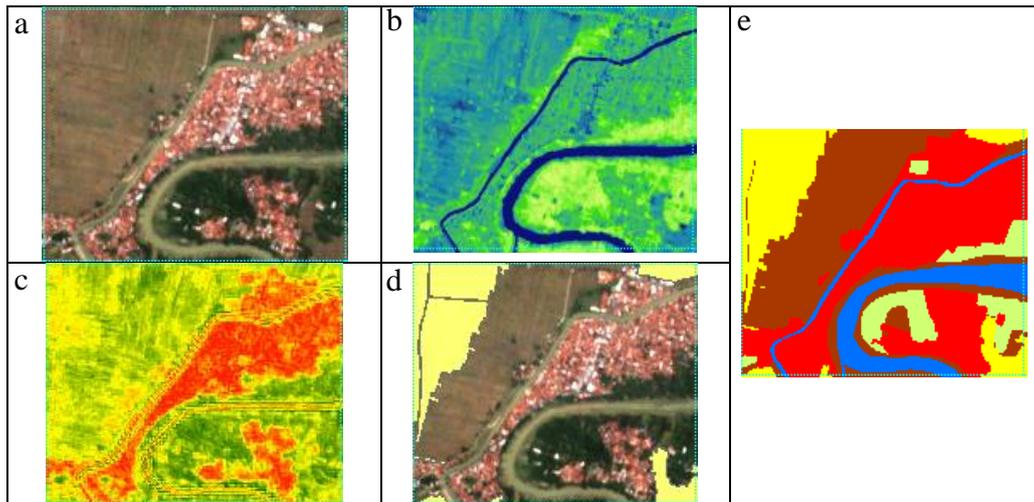
Tabel 4. Hasil Akurasi Penggunaan lahan 2016 dan 2021

Penggunaan Lahan	2016		2021	
	Users's Accuracy	Producer's Accuracy	Users's Accuracy	Producer's Accuracy
1. Sawah	98,62	96,55	97,93	97,24
2. Ladang	97,87	90,32	95,74	93,62
3. Kebun campuran	96,70	93,48	95,6	95,6
4. Semak belukar/tanah kosong	100	100	100	100
5. Hutan primer/hutan sekunder/RTH	100	100	100	100
6. Permukiman	100	100	100	100
7. Badan Air	100	100	100	100
8. Industri/perkantoran/pergudangan	100	100	100	100
9. Bandara	100	100	100	100
<i>Overall accuracy</i>	99,24%	97,81	98,81	98,49

Hasil uji akurasi dilakukan dengan menggunakan perhitungan matriks konfusi dan penilaian koefisien Kappa. Pemeriksaan akurasi ini dilakukan untuk melihat hasil optimal dari setiap algoritma pembelajaran mesin yang diterapkan dalam (*Google Earth Engine*) serta untuk melihat hasil pemetaan penggunaan/tutupan lahan. *Confusion matrix* merupakan metode dan pendekatan pengujian akurasi untuk menentukan nilai akurasi keseluruhan dari hasil perhitungan dan pengolahan klasifikasi dengan membandingkan kelas yang diperoleh dari klasifikasi dengan kelas yang digunakan pada data latih pada pengambilan sampel citra.

Berdasarkan Tabel 4, penggunaan lahan dengan *user's accuracy* tertinggi dicapai di tahun 2016 dan 2021 pada kelas semak, hutan, permukiman, badan air, industry, dan bandara dengan hasil 100%. Adapun *user's accuracy* terendah di tahun 2016 adalah lahan ladang sebesar 90,32 %, dan pada tahun 2021 sebesar 93,62%. Akurasi lahan sawah pada tahun 2016 adalah 96,55% sedangkan pada tahun 2021 dipadu dengan survey lapangan memiliki akurasi sebesar 97,24%, Kekurangsesuaian ini disebabkan ladang sering berganti fungsi menjadi sawah terkait pergiliran pola tanam oleh petani di wilayah penelitian. Dengan relatif kecilnya tingkat kesalahan klasifikasi, *overall accuracy* secara umum mampu menunjukkan bahwa RF yang digunakan dalam platform GEE menghasilkan model yang tangguh (*robust*) untuk memetakan penggunaan lahan pada dua titik waktu yaitu 2016 dan 2021 dengan rentang 97,81% hingga 98,81%. Mengacu pada penelitian Rana & Venkata Suryanarayana (2020), akurasi minimum untuk peta tutupan lahan/penggunaan lahan adalah 85% maka hasil penelitian ini relatif akurat sebagai input untuk proses analisis selanjutnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Gandharum et al., 2022; Piao et al., 2021; Singha et al., 2019) menunjukkan hasil penelitian bahwa penggunaan RF pada platform GEE dalam pemetaan penggunaan lahan dapat menghasilkan peta dengan akurasi tinggi dengan OA mencapai 92.6%. Hasil penelitian ini memiliki konsistensi dengan penelitian lain di mana gambar dan indeks gabungan dapat mencapai kurasi klasifikasi yang lebih tinggi daripada penggunaan hasil dari klasifikasi tunggal (Carrasco et al., 2019). Penggabungan analisis NDBI dan NDWI terhadap peta tutupan lahan pada platform GEE menghasilkan akurasi yang sangat baik terhadap hasil analisis klasifikasi tutupan lahan, ditambah dengan koreksi peta lahan baku sawah yang bersumber dari data BPN sehingga menghasilkan tutupan lahan yang akurat terhadap lahan pertanian, khususnya penggunaan lahan sawah. Hasil dari pemrosesan dan pengolahan data yang menghasilkan peta penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 5.



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 5. Indeks variabel prediktor: (a) Citra Sentinel, (b) NDWI, (c) NDBI, (d) Peta LBS, dan (e) Hasil Tutupan Lahan

Salah satu bagian yang paling sulit dari penelitian ini adalah mengklasifikasikan penggunaan lahan berupa sawah, faktor ini terkait fakta bahwa dinamika perubahannya yang tinggi serta dalam kenampakan secara *time-series* diselingi oleh penggunaan lahan untuk lahan pertanian tanaman semusim seperti jagung, kedelai, dan palawija lainnya. Dalam Melakukan suatu pendekatan prediksi perubahan tutupan/penggunaan lahan dimana membutuhkan data situasi eksisting lapangan (Halmy et al., 2015). Oleh karena itu dilakukan tehnik validasi sample eksisting penggunaan lahan 2021 yang diperoleh dari data citra spot 2020 dipadukan dengan hasil survey lapang di tahun 2022. Populasi sampling dalam penelitian ini dihitung dari jumlah *training sampling cell* pada penggunaan lahan 2021 berdasarkan Tabel 2, sedangkan pengambilan sampling dengan nilai presisi 98% dilihat dari kemampuan peneliti dilihat dari kebutuhan waktu, tenaga dan luasan pada wilayah penelitian (Arikunto, 2010). Peta lahan baku sawah yang digunakan sebagai variabel independen dibuat dalam format raster. Untuk menghasilkan peta ini, data vektor diubah ke dalam format raster dengan resolusi spasial 10 m. Resolusi ini spasial sesuai dengan citra *Sentinel 2A*, yang juga memiliki resolusi sama, perhitungan akurasi terkait hasil klasifikasi tutupan/penggunaan lahan dihitung dari perbandingan sampel yang sesuai terhadap jumlah sampel yang dibuktikan pada saat dilapangan. Hasil perhitungan akurasi setiap jenis kelas penggunaan lahan dijelaskan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Akurasi Hasil Klasifikasi Penggunaan Lahan 2021

		Validasi Lapangan											Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total			
Klasifikasi Tutupan Lahan Citra	1	142	3									145	3	97,93%
	2		90	2	2							94	4	95,74%
	3	1	3	87								91	4	95,60%
	4				1							1	-	100,00%
	5					11						11	-	100,00%
	6						51					51	-	100,00%
	7							4				4	-	100,00%
	8								1			1	-	100,00%
	9									2		2	-	100,00%
Total											400	11	98,81%	

Sumber: Penulis, 2022

Keterangan: 1. Sawah 4. Semak belukar/Tanah Kosong 7. Badan air
 2. Ladang 5. Hutan primer/hutan sekunder/ RTH 8. Industri/ Perkantoran/ pergudangan
 3. Kebun campuran 6. permukiman 9. Bandara

3.2 Penggunaan Lahan Periode Tahun 2011 – 2016 dan 2016 – 2021

Tutupan/penggunaan lahan Kabupaten Majalengka 2011, 2016, dan 2021 yang selesai divalidasi sebelumnya kemudian dihitung untuk setiap luasan jenis tutupan/penggunaan lahannya dan dilakukan tumpang tindih (*overlay*) antar rentang waktu 2011, 2016, dan 2021. *Overlay* antar peta dilakukan menggunakan perangkat *Arcgis* agar dapat dihitung perubahan penggunaan lahannya. Hasil dari perhitungan secara statistik perubahan tutupan/penggunaan lahan menunjukkan dinamika serta proses dari adanya penggunaan lahan yang ada. Perhitungan perubahan tutupan/penggunaan lahan dilakukan pada dua hasil klasifikasi independen dengan periode waktu yang berbeda, yang merupakan hasil klasifikasi citra *Sentinel 2A* tahun 2016 dan 2021.

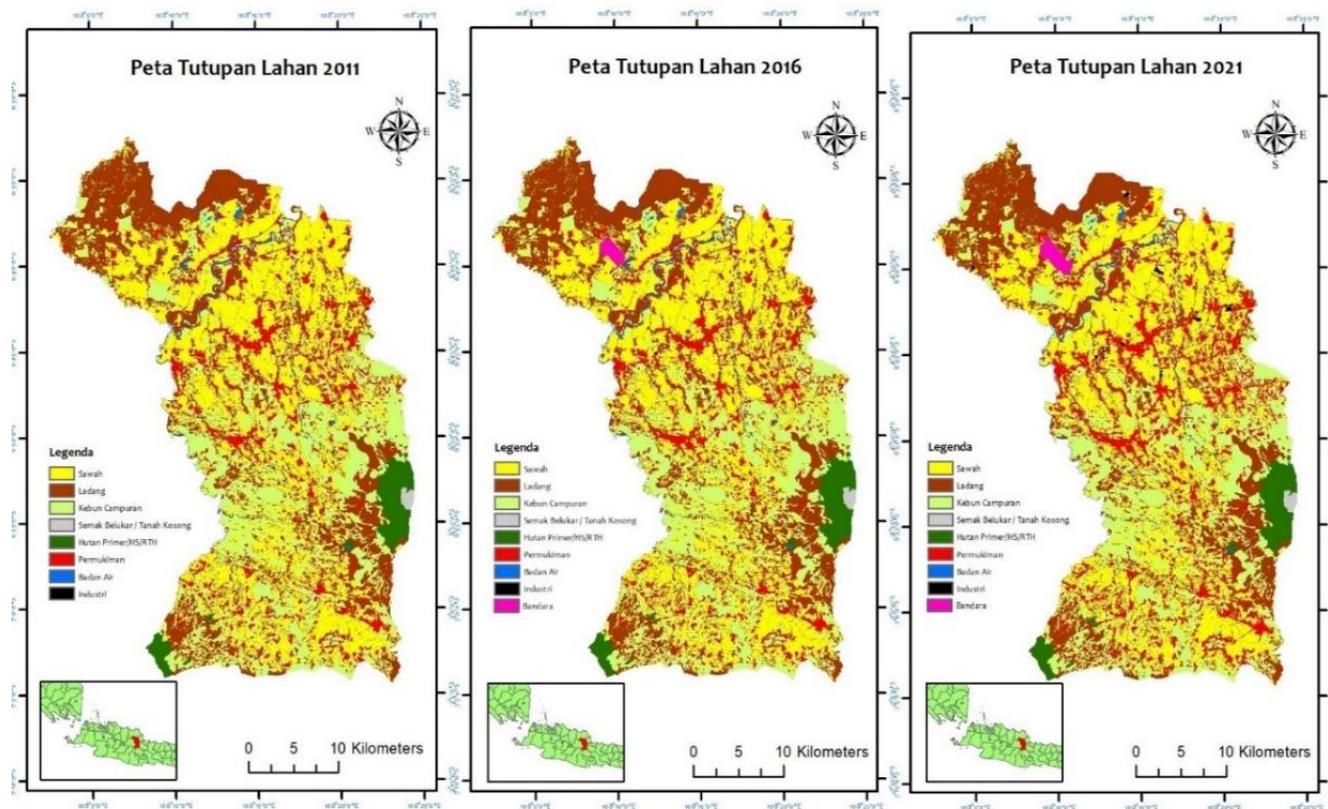
Penggunaan lahan yang dianalisis dalam meliputi tutupan/penggunaan lahan tahun 2011, 2016, dan tutupan/penggunaan lahan tahun 2021. Dalam analisis spasial ini untuk mendapatkan sebaran objek wilayah industri, permukiman dan perubahan luasan tiap tutupan/penggunaan lahan sawah pada periode tersebut, berdasarkan hasil analisis dan perhitungan dapat diketahui luas penggunaan lahan pada tahun 2011, 2016, dan 2021. Perhitungan perubahan tutupan/penggunaan lahan dimanfaatkan untuk mengidentifikasi perubahan lahan dan mengukur tingkatan yang berbeda dan besarnya perubahan lahan yang terjadi. Luas dan persentase perubahan penggunaan lahan pada ketiga titik tahun dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Luas Penggunaan lahan tahun 2011, 2016 dan 2021

Penggunaan Lahan	L 2011 (Ha)	%	L 2016 (Ha)	%	L 2021 (Ha)	%
1. Sawah	59.899,62	33,23	59.450,63	32,98	58.339,46	32,36
2. Ladang	46.993,92	26,07	46.527,01	25,81	44.096,72	24,46
3. Kebun campuran	45.104,24	25,02	44.957,62	24,94	43.183,78	23,95
4. Semak belukar/tanah kosong	1.537,67	0,85	1.537,67	0,85	1.537,67	0,85
5. Hutan primer/hutan sekunder/RTH	8.917,99	4,95	8.917,99	4,95	8.917,96	4,95
6. Permukiman	13.561,73	7,52	14.072,77	7,81	18.951,46	10,51
7. Badan Air	2.247,76	1,25	2.247,45	1,25	2.182,44	1,21
8. Industri/Perkantoran/pegudangan	9,66	0,01	82,07	0,05	346,60	0,19
9. Bandara	-	-	479,39	0,27	716,49	0,40
Jumlah	178.272,60	100	178.272,60	100	178.272,60	100

Sumber: Penulis, 2022

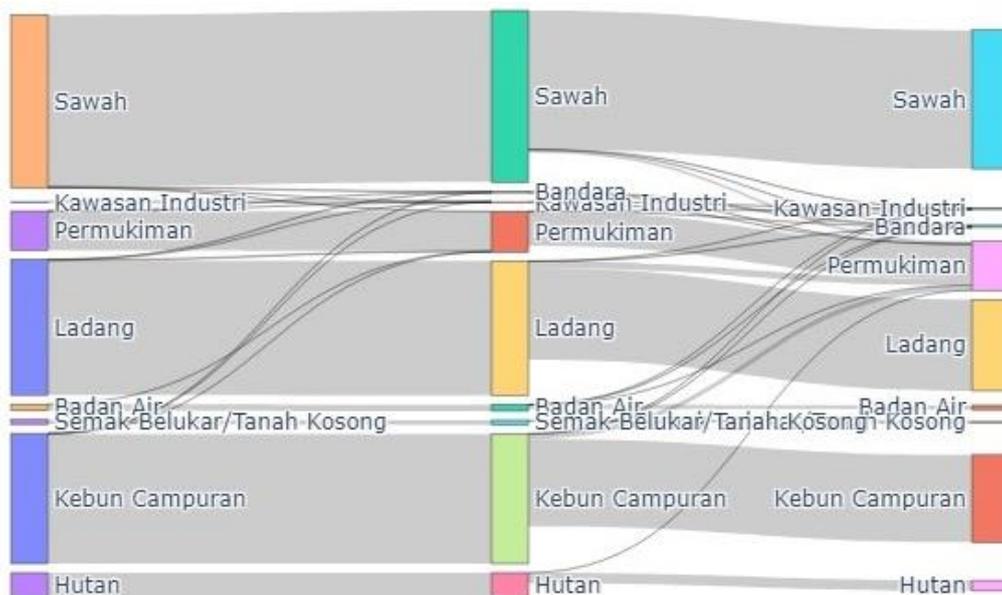
Penggunaan lahan di Kabupaten Majalengka tahun 2011, 2016, dan 2021 jika dilihat penggunaannya Sebagian besar merupakan lahan sawah, berdasarkan hasil analisis pada Tabel 6, diketahui dinamika spasial tutupan/penggunaan lahan di Kabupaten Majalengka. penggunaan lahan yang ada di Kabupaten Majalengka mengalami perubahan terkait penambahan luas atau pengurangan luas penggunaan lahan. Perubahan tutupan/penggunaan lahan didominasi oleh penurunan luasan lahan pertanian sawah. Lahan sawah mengalami penurunan yang sangat signifikan selama periode tahun 2016 – 2021 sejumlah 1560,17 Ha. Dikuti oleh penurunan luasan lahan ladang sebesar 2897,19 ha dan luasan lahan kebun campuran sebesar 1920,47 ha. Penurunan luas lahan pertanian diikuti dengan bertambahnya luasan penggunaan lahan lain pada periode yang tahun tersebut. Pertambahan luasan tutupan/penggunaan lahan meliputi luasan permukiman, bandara, dan industri selama periode kurun waktu tahun 2016 – 2021. Tahun 2016, penggunaan lahan permukiman dihitung memiliki luasan 14.072,77 Ha, sedangkan pada tahun 2021 penggunaan lahan permukiman terjadi pertambahan luasan menjadi 18.951,46 Ha. Penggunaan lahan industri pada tahun 2016 seluas 82,07 Ha sedangkan pada tahun 2021 menjadi seluas 346,60 Ha. Penggunaan lahan untuk fasilitas bandara (BIJB) mengalami pertambahan luasan sebesar 479,39 Ha pada periode tahun 2016 dan semakin bertambah luasannya menjadi 716,49 Ha pada tahun 2021. Adapun penggunaan lahan pada tahun 2011, 2016, dan 2021 digambarkan dengan peta pada Gambar 6.



Sumber: Penulis 2022

Gambar 6. Peta Perubahan Penggunaan Lahan Kabupaten Majalengka Tahun 2011-2016 dan 2021

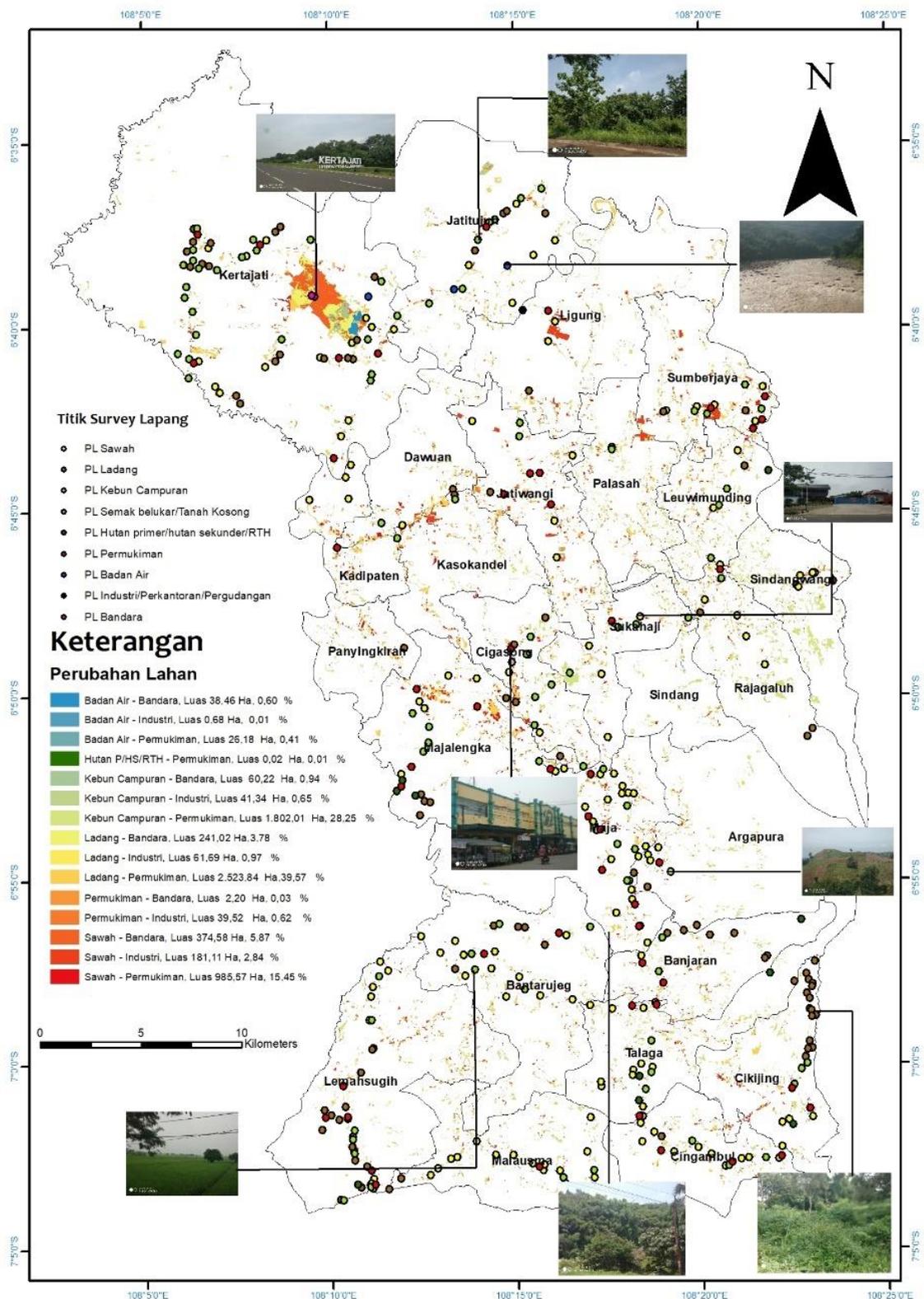
Perubahan tutupan/penggunaan lahan dianalisis dengan menggunakan software ArcGIS. Pada proses analisis ini pendekatan metode teknik *overlay* serta perhitungan *table matrix* untuk mendapatkan perubahan tiap-tiap jenis penggunaan lahan. Peta penggunaan lahan tahun 2011, 2016, dan 2021 digunakan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan pada periode tahun 2011-2016 dan 2016-2021. Selanjutnya, peta tutupan/penggunaan lahan tahun 2011 dilakukan tumpang susun dengan peta tutupan/penggunaan lahan tahun 2016 untuk menganalisis dan mendapatkan perubahan penggunaan lahan pada periode rentang tahun 2011 – 2016. Selanjutnya kedua peta perubahan tutupan/penggunaan lahan periode rentang tahun 2011 – 2016 dan 2016 – 2021 diperoleh, kedua peta ini di-*overlay* untuk mendapatkan hasil perubahan penggunaan lahan dalam rentang waktu tahun 2011 – 2021.



Gambar 7. Matrix Perubahan Penggunaan Lahan Kabupaten Majalengka 2011-2021.

Setelah diperoleh hasil dari analisis perubahan tutupan/penggunaan lahan tersebut, selanjutnya diklasifikasikan ke dalam Tabel 6 dengan menghitung matriks konversi dari perubahan penggunaan lahan (*Land Use Land Cover Changes Conversion Matrix*) yang ditampilkan pada Gambar 6. Proses alih fungsi lahan yang juga dikenal sebagai konversi lahan, selalu terjadi seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pola pembangunan wilayah. Ini terjadi baik di daerah perkotaan (urban) maupun daerah perdesaan (*suburban*), di mana pola pembangunan berfokus pada penggunaan lahan yang memiliki nilai ekonomi tinggi, seperti pabrik, pusat perbelanjaan, perumahan, dan lainnya. Perubahan lahan pertanian di Kabupaten Majalengka secara signifikan terlihat di wilayah utara tepatnya di Kecamatan Kertajati, Kecamatan Dawuan, Kecamatan Jatitujuh, dan Kecamatan Jatiwangi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi sawah telah berubah menjadi bandara, permukiman, dan lahan industri. Di Kabupaten Majalengka, ini terutama terjadi di daerah dengan kelerengan datar dan landai dan dekat dengan jalan raya.

Pengembangan pusat pertumbuhan industri dapat mempercepat konversi lahan pertanian; menurut (Jetz et al., 2005; Lichtenberg & Ding, 2008) dimana dalam penelitian ini menemukan bahwa pertumbuhan industri cenderung ditingkatkan oleh kebijakan pembangunan ekonomi, yang secara tidak langsung mendorong konversi intensif lahan di negara berkembang, khususnya di daerah pedesaan (*suburban*). Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) adalah proyek infrastruktur besar yang dapat memengaruhi pertanian dan lingkungan sekitarnya secara signifikan. konversi yang terjadi dengan adanya pembangunan bandara dapat memerlukan konversi lahan pertanian menjadi lahan bandara dan infrastruktur pendukungnya, sehingga hal ini dapat mengurangi luas lahan yang dapat digunakan untuk pertanian dan berpotensi mengurangi produktivitas pertanian di wilayah tersebut. Sebaran spasial perubahan luasan penggunaan lahan disertai validasi dengan data lapangan dilihat pada Gambar 8.



Sumber: Penulis 2022

Gambar 8. Peta Pola Spasial Perubahan Luas Penggunaan Lahan dan Validasi Lapangan

3.3 Perubahan Lahan Sawah Menjadi Lahan Terbangun Periode Tahun 2011– 2021

Alih fungsi terkait konversi lahan adalah suatu proses yang bersifat dinamis dan terus-menerus, akan terjadi seiring mengikuti perkembangan, pertumbuhan penduduk ataupun pola pembangunan wilayah. Konversi yang terjadi pada lahan sawah ini akan lebih sering berlangsung dibandingkan dengan lahan pertanian lainnya disebabkan lahan sawah umumnya terletak pada daerah yang relatif strategis. Hasil perhitungan dan analisis pada Tabel 7, menunjukkan perubahan lahan didominasi oleh peralihan lahan pertanian dimana sawah menjadi permukiman, atau lahan ladang menjadi permukiman, dan kebun campuran menjadi lahan permukiman.

Perubahan lahan pertanian sawah menjadi permukiman jika dilihat secara spasial terbesar terjadi di Kecamatan Majalengka yang merupakan ibu kota dan pusat pemerintahan yaitu sebesar 83,96 ha dalam kurun waktu 10 tahun. Posisi berikutnya terjadi di Kecamatan Kertajati yaitu sebesar 62,33 ha dikarenakan alih fungsi pembangunan bandara. Perubahan lahan pertanian ladang menjadi permukiman jika dilihat secara spasial terjadi di kecamatan Kertajati sebesar 248,76 ha disebabkan oleh alih fungsi pembangunan bandara. Posisi ketiga berada di Kecamatan Sumberjaya sebesar 144,48 ha, dimana pada wilayah tersebut merupakan wilayah industri sehingga berkolerasi terhadap tempat tinggal permukiman.

Hal ini mengindikasikan terdapat peningkatan kebutuhan akan lahan permukiman di Kabupaten Majalengka yang telah menjadi pusat pertumbuhan industri dan imbas dari penetapan Kawasan Ekonomi Khusus Rebana (KEK Rebana). Perubahan tersebut untuk mengakomodir kebutuhan tempat tinggal pekerja industri dimana membutuhkan lahan untuk permukiman. Berdasarkan hasil analisis dan survey lapangan dapat diketahui kenaikan yang signifikan pada penggunaan lahan menjadi lahan industri. Perubahan tutupan/penggunaan lahan sawah menjadi lahan industri dimana mengalami kenaikan sebesar 181,11 Ha; lahan ladang menjadi penggunaan lahan industri sebesar 61,69 Ha dan kebun campuran menjadi penggunaan lahan industri sebesar 41,34 Ha, wilayah sebaran industri jika dilihat dari hasil diatas lebih banyak tersebar di area wilayah utara dan tengah Kabupaten Majalengka.

Hasil fakta di lapangan bahwa perubahan kondisi tutupan/penggunaan lahan pertanian di Kabupaten Majalengka yaitu Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) Kertajati dan sekitarnya mengalami perubahan akibat adanya pembangunan, dimana terjadi dominan pada wilayah administratif Kecamatan Kertajati. Untuk pembangunan Bandara, lahan pertanian telah mengalami perubahan karena alih fungsi lahan seluas 374,58 Ha untuk lahan sawah, 241,02 ha untuk lahan ladang serta 60,22 ha untuk lahan kebun campuran dan di antaranya habis terkonversi untuk *run way* (landasan pacu) dan pengembangan wilayah kawasan bandara. Pembangunan dan perluasan kawasan BIJB berdampak baik dalam bentuk positif atau negatif yang akan terjadi di masyarakat sekitar lokasi bandara tersebut. Dampak negatif yang terjadi akibat konversi lahan pertanian dimana akan terjadi berkurangnya produksi komoditi pertanian terutama komoditas padi yang merupakan makanan pokok. Adanya alih fungsi lahan pertanian yang terjadi, kapasitas produksi komoditas pertanian akan berkurang bahkan hilang. Konversi lahan juga berimplikasi terjadinya pengurangan kesempatan kerja petani di wilayah perdesaan di Kabupaten Majalengka yang merupakan sumber pendapatan PDRB teratas bagi Kabupaten Majalengka dan berbagai prasarana (investasi) pertanian yang telah di bangun.

Konversi lahan dan transformasi fungsinya merupakan proses yang dinamis dan akan selalu terjadi tergantung pada pola pertumbuhan penduduk dan perkembangannya suatu wilayah. Di wilayah padat penduduk (perkotaan) dan sekitarnya, alih fungsi lahan berorientasi pembangunan terjadi di tempat-tempat yang bernilai ekonomi tinggi, seperti sarana dan prasarana ekonomi seperti pabrik, permukiman, pusat perbelanjaan, terutama kawasan ekonomi di Kabupaten Majalengka. Untuk daerah yang jarang penduduknya (pedesaan), model pembangunan yang berfokus pada sektor pertanian justru cenderung melakukan alih fungsi lahan pertanian, khususnya penggunaan lahan sawah. Alih fungsi penggunaan lahan untuk budidaya padi sering terjadi dibandingkan dan lebih sering terjadi pada lahan pertanian lain karena lokasi persawahan yang subur dan subur, yang seringkali berada di kawasan strategis.

4. KESIMPULAN

Dari hasil sudi ini dapat disimpulkan klasifikasi penggunaan lahan menggunakan algoritma *smile-Random Forest* pada platform GEE dipadu dengan analisis NDWI dan NDBI menghasilkan peta tutupan lahan yang akurat dengan nilai OA sebesar 98.81% dan kappa sebesar 95.91%. Penurunan luasan lahan pertanian (sawah, ladang) di Kabupaten Majalengka mengalami penyusutan seluas 4457,36 ha dalam kurun waktu sepuluh tahun (2011-2021). Perlu dilakukan upaya/strategi perencanaan ke depan untuk mengantisipasi perubahan lahan pertanian yang terjadi secara masif di Kabupaten Majalengka. Hasil penelitian ini juga menyimpulkan bahwa klasifikasi penggunaan lahan menggunakan algoritma *smile-Random Forest* pada platform GEE dapat menghasilkan peta dengan akurasi tinggi yakni >98%, serta dapat mempersingkat proses serta waktu analisis. Oleh karenanya, klasifikasi penggunaan lahan sawah menggunakan RF di platform GEE dapat menjadi platform pemetaan secara berkala terhadap penggunaan lahan sawah di Kabupaten Majalengka Khususnya serta wilayah lainnya.

5. PERNYATAAN RESMI

Artikel ini menjadi bagian dari disertasi berjudul “Model Dinamika Spasial Kecukupan Pangan dan Arah Penetapan Lahan Sawah Berkelanjutan di Kabupaten Majalengka”, yang didanai oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP).

6. REFERENSI

- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Arikunto. (200). Teknik Sampel. In *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik-Revisi ke X*.
- Bappenas. (2018). *Pedoman Pelaksanaan Intervensi Penurunan Stunting Terintegrasi di Kabupaten/Kota. Rencana Aksi Nasional Dalam Rangka Penurunan Stunting: Rembuk Stunting*.
- BPS. (2018). Kabupaten Majalengka dalam angka tahun 2018. In BPS Kabupaten Majalengka. Badan Pusat Statistik.
- Carrasco, L., O'Neil, A. W., Daniel Morton, R., & Rowland, C. S. (2019). Evaluating Combinations of Temporally Aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 for Land Cover Mapping with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/rs11030288>
- Duan, Q., Tan, M., Guo, Y., Wang, X., & Xin, L. (2019). Understanding the Spatial Distribution of Urban Forests in China Using Sentinel-2 images with Google Earth Engine. *Forests*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/f10090729>
- Gandharum, L., Hartono, D. M., Karsidi, A., & Ahmad, M. (2022). Monitoring Urban Expansion and Loss of Agriculture on the North Coast of West Java Province, Indonesia, Using Google Earth Engine and Intensity Analysis. *Scientific World Journal*, 2022(Sdg 2). <https://doi.org/10.1155/2022/3123788>
- Gao, B. C. (1996). NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gómez, J. A., Patiño, J. E., Duque, J. C., & Passos, S. (2020). Spatiotemporal Modeling of Urban Growth Using Machine Learning. *Remote Sensing*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/rs12010109>
- Gomiero, T. (2016). Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Reviewing a Complex Challenge. In *Sustainability (Switzerland)*. 8(3). <https://doi.org/10.3390/su8030281>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). Land Use/Land Cover Change Detection and Prediction in the North-Western Coastal Desert of Egypt Using Markov-CA. *Applied Geography*, 63, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.015>
- Undang Undang Republik Indonesia No. 41 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan, Pub. L. No. 41, 49 (2009). <https://peraturan.go.id/id/uu-no-41-tahun-2009>

- Jetz, W., Rahbek, C., & Lichstein, J. W. (2005). Local and Global Approaches to Spatial Data Analysis in Ecology. In *Global Ecology and Biogeography*. 14(1). pp. 97–98. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2004.00129.x>
- Kempler, S., & Mathews, T. (2017). Earth Science Data Analytics: Definitions, Techniques and Skills. *Data Science Journal*. <https://doi.org/10.5334/dsj-2017-006>
- Lichtenberg, E., & Ding, C. (2008). Assessing farmland protection policy in China. *Land Use Policy*, 25(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.01.005>
- Piao, Y., Jeong, S., Park, S., & Lee, D. (2021). Analysis of Land Use and Land Cover Change Using Time-Series Data and Random Forest in North Korea. *Remote Sensing*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/rs13173501>
- Rana, V. K., & Venkata Suryanarayana, T. M. (2020). Performance Evaluation of MLE, RF and SVM Classification Algorithms for Watershed Scale Land Use/Land Cover Mapping Using Sentinel 2 Bands. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100351>
- Roziqin, A., & Kusumawati, I. (2017). Analisis Pola Permukiman Menggunakan Data Penginderaan Jauh di Pulau Batam. IRONS: 8th Industrial Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung, 52–58.
- Sari, N. M., & Kushardono, D. (2019). Analisis Dampak Pembangunan Infrastruktur Bandara Internasional Jawa Barat Terhadap Alih Fungsi Lahan Pertanian Melalui Citra Satelit Resolusi Tinggi. *Jurnal Geografi*, 11(2), 146–162. <https://doi.org/10.24114/jg.v11i2.13470>
- Sellers, S., Nguyen, P., Chu, W., Gao, X., Hsu, K. L., & Sorooshian, S. (2013). Computational Earth Science: Big Data Transformed Into Insight. *Eos (United States)*. <https://doi.org/10.1002/2013EO320001>
- Singha, M., Dong, J., Zhang, G., & Xiao, X. (2019). High Resolution Paddy Rice Maps in Cloud-Prone Bangladesh and Northeast India Using Sentinel-1 Data. *Scientific Data*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0036-3>
- Somantri, L., Ridwana, R., & Himayah, S. (2021). Land Value Analysis in the Suburban of Bandung and Agricultural Land Availability Impact. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 683(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/683/1/012088>
- Sutanto. (1987). Prinsip Dasar Penginderaan Jauh. Panduan Aplikasi Penginderaan Jauh Tingkat Dasar.
- Vigneshwaran, S., & Vasantha Kumar, S. (2018). Extraction of Built-Up Area Using High Resolution Sentinel-2A and Google Satellite Imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W9), 165–169. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-165-2018>
- Widiatmaka, W., Ambarwulan, W. A., Tambunan, R. P., Nugroho, Y. A., Suprajaka, S., Nurwadjadi, N., & Santoso, P. B. K. (2014). Land Use Planning of Paddy Field Using Geographic Information System and Land evaluation in West Lombok, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*. <https://doi.org/10.22146/ijg.5004>
- Xie, Y., Mei, Y., Guangjin, T., & Xuerong, X. (2005). Socio-Economic Driving Forces of Arable Land Conversion: A Case Study of Wuxian City, China. *Global Environmental Change*, 15(3), 238–252. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.03.002>
- Yang, C., Huang, Q., Li, Z., Liu, K., & Hu, F. (2017). Big Data and Cloud Computing: Innovation Opportunities and Challenges. In *International Journal of Digital Earth*. 10(1), pp. 13–53. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1239771>