

Analisis Spasial Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung berbasis *Google Earth Engine*

Alvian Aji Purboyo^{1*}, Andri Kurniawan¹, Luthfi Muta'ali¹

¹Universitas Gadjah Mada, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 February 2024
Accepted 29 May 2024
Available online 31 August 2024

Kata Kunci:

KPCB,
Tutupan Lahan,
Analisis Spasial,
Google Earth Engine,
Random Forest Classifier

Keywords:

KPCB,
Land Cover,
Spatial Analysis,
Google Earth Engine,
Random Forest Classifier

ABSTRAK

Isu strategis terkait perubahan tutupan lahan menjadi sangat penting di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung (KPCB). Penelitian ini, tujuan penelitian yang dicapai berupa teridentifikasi perubahan tutupan lahan tahun 2003, 2013, dan 2023 di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian berupa penginderaan jauh dengan pendekatan *spatial process analysis*. *Google Earth Engine* merupakan *platform* yang digunakan untuk mengklasifikasi tutupan lahan. Adapun algoritma yang digunakan berupa *Random Forest Classifier* (RFC). Hasil klasifikasi dari RFC dapat menghasilkan klasifikasi yang sangat baik. Uji akurasi yang dihasilkan berdasarkan *overall accuracy* dan kappa, tahun 2003 sebesar 0.99:0.98, tahun 2013 sebesar 0.97:0.96, dan tahun 2023 sebesar 0.98:0.97. Selama 20 tahun terakhir, terlihat bahwa kebutuhan lahan terbangun, khususnya untuk tempat tinggal terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah kebutuhan manusia. Perlu perhatian lebih lanjut dalam perencanaan dan pengembangan wilayah guna menjaga keseimbangan antara pertumbuhan perkotaan dan pelestarian lingkungan.

ABSTRACT

Strategic issues related to changes in land cover are crucial in the Bandung Basin Urban Area (KPCB). This research aimed to identify land cover changes in 2003, 2013, and 2023 in the Bandung Basin Urban Area, using remote sensing and a spatial process analysis approach. *Google Earth Engine* served as the platform for land cover classification, employing a *Random Forest Classifier* (RFC) algorithm. The RFC yielded highly accurate classification results, as demonstrated by overall accuracy and kappa values: 0.99:0.98 in 2003, 0.97:0.96 in 2013, and 0.98:0.97 in 2023. Over the past two decades, there has been a noticeable increase in the demand for built-up land, particularly for housing, aligning with the growing needs of the population. It is imperative to pay closer attention to regional planning and development to strike a balance between urban expansion and environmental preservation.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2024 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.



* Corresponding author.

E-mail addresses: alvianajipurboyo@mail.ugm.ac.id, andri.kurniawan@ugm.ac.id, luthfimutaali@ugm.ac.id

1. Pendahuluan

Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung (KPCB) merupakan bagian dari Bandung Raya dan telah diakui sebagai kawasan metropolitan melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2018. Statusnya sebagai kawasan strategis nasional (KSN) ditetapkan dengan tujuan mengembangkan kepentingan ekonomi, yang melibatkan kawasan perkotaan inti seperti Kota Bandung dan Kota Cimahi, serta kawasan perkotaan di sekitarnya yang membentuk kawasan metropolitan. Kawasan perkotaan di sekitarnya mencakup tujuh kawasan perkotaan di Kabupaten Bandung Barat dan tujuh kawasan perkotaan di Kabupaten Bandung (Gubernur Jawa Barat 2020; Presiden Republik Indonesia 2018).

Meskipun memiliki peran strategis sebagai KSN, KPCB menghadapi beberapa isu permasalahan terkait penataan ruang dan lingkungan hidup. Isu penataan ruang melibatkan alih fungsi lahan di kawasan fungsi lindung, peningkatan lahan kritis, dan pengendalian kawasan tempat tinggal. Dari segi lingkungan hidup, isu tersebut muncul dari sektor sumber daya air, termasuk keterbatasan pasokan air baku, keterbatasan pembiayaan pengadaan air minum, dan konflik penggunaan sumber daya air (Badan Pengelola Cekungan Bandung 2021; Fuadina, Rustiadi, and Pravitasari 2021; Presiden Republik Indonesia 2018).

Isu strategis terkait perubahan tutupan lahan menjadi sangat penting di KPCB untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Kawasan ini unik karena secara aspek fisik dikelilingi oleh gunung dan pegunungan, sehingga informasi yang akurat tentang tutupan lahan sangat dibutuhkan untuk memahami fenomena proses kejadian di permukaan bumi. Informasi ini juga berperan penting dalam kajian pembangunan wilayah dan pengambilan keputusan. Pertumbuhan fisik di KPCB ditandai oleh ekspansi kawasan perkotaan dari pusat ke pinggiran, yang dikenal dengan istilah *urban sprawl*. Secara spasial, wilayah pembangunan KPCB terbentang dari pusat kota hingga pinggiran kota, sesuai dengan pola jaringan dan sebaran acak (Derajat et al. 2020; Gong et al. 2013; Kustiwan and Ladimananda 2016; Latue and Rakuasa 2023)

Dampak dari perubahan tutupan lahan yang ekspansif di KPCB termasuk pengendalian pemanfaatan pola ruang yang semakin tidak terkendali. Firman (2009) mencatat perubahan lahan pertanian menjadi lahan terbangun pada periode tahun 1994 hingga 2001, sementara pada tahun 2016, sebagian besar tutupan lahan di KPCB adalah lahan terbangun hasil konversi dari lahan pertanian dan hutan (Sugandi, Setiawan, and Sugito 2016). Terjadi konversi lahan hutan di pegunungan, termasuk kawasan hutan lindung yang seharusnya dipertahankan sesuai dengan fungsinya. Hal ini menunjukkan ketidaksesuaian pola pemanfaatan ruang yang direncanakan dengan perkembangan kondisi di lapangan (Wajdi 2021; Yulianto, Suwarsono, and Sulma 2019).

Geographic Information System (GIS) berbasis komputasi awan seperti Google Earth Engine (GEE) menjadi *platform* pengolahan data geospasial yang dapat mengatasi kekurangan pemrosesan data konvensional berbasis aplikasi (Gorelick et al. 2017; Tiwari et al. 2020), yakni ukuran, penyimpanan, dan ketersediaan data (DeVries et al. 2020; Kumar and Mutanga 2018). Ketersediaan data-data satelit yang berukuran besar dan kapabilitas di komputasi dengan lebih mudah, menjadi keuntungan dalam pemanfaatan GEE dalam analisis tutupan lahan (Hansen et al. 2021; Tang et al. 2016).

Informasi tutupan lahan memiliki peran krusial dalam pengelolaan sumber daya alam dan menjadi elemen vital dalam pengambilan keputusan serta perencanaan pembangunan wilayah. Analisis tutupan lahan dan tutupan lahan (*Land Use Land Cover - LULC*) dilakukan dengan merinci sebaran dan karakteristik tutupan lahan yang beragam, serta mengelompokkannya ke dalam kategori-kategori yang berbeda berdasarkan hasil komputasi (Mondal et al. 2019; Thakur, Maity, et al. 2021; Thakur, Mondal, et al. 2021). Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah: 1) Bagaimana perubahan tutupan lahan tahun 2003, 2013, dan 2023 di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung.

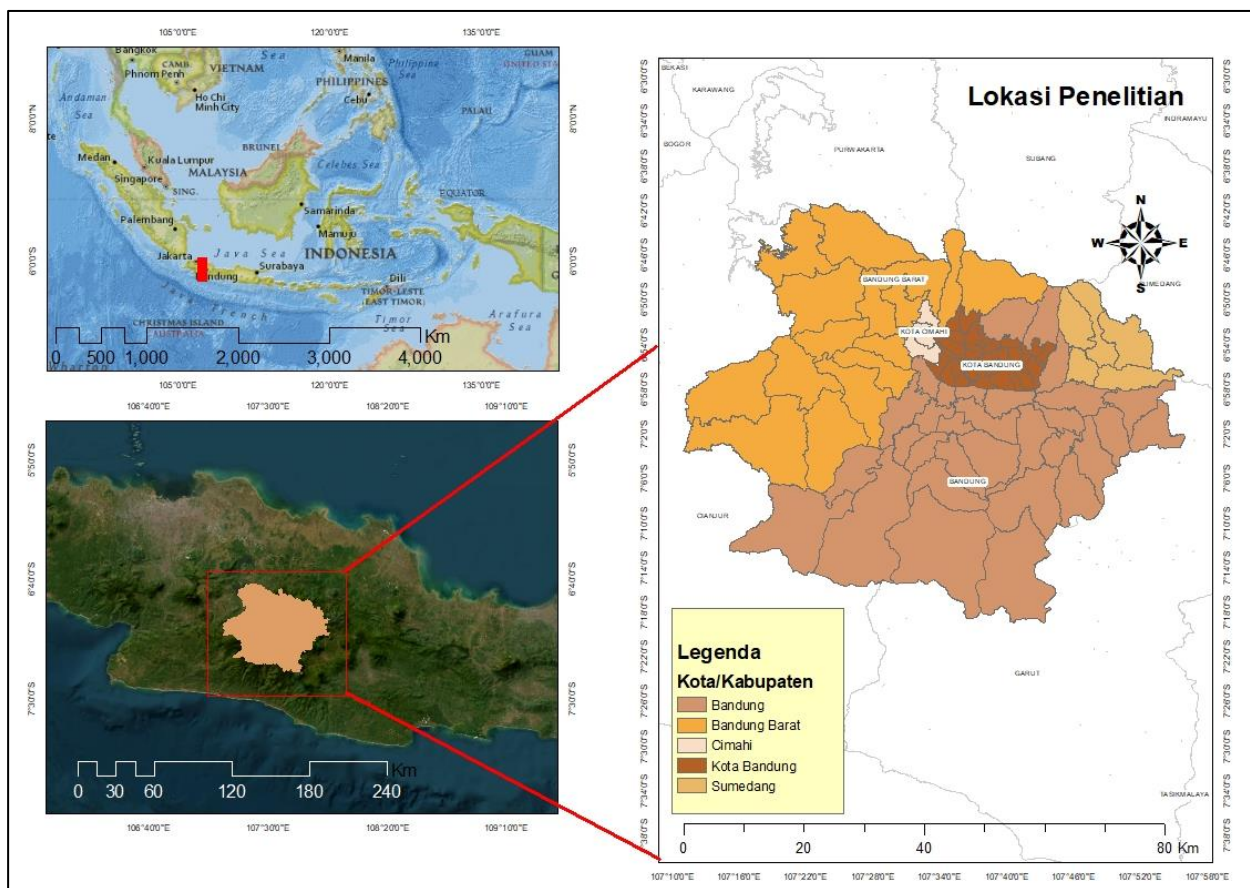
2. Metode

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung (lihat gambar 1). KPCB adalah sebuah daerah topografi yang membentuk cekungan dengan luas sekitar 349.750 hektar. Bagian terendah dari kawasan ini adalah dataran seluas sekitar 75.000 hektar, dengan ketinggian antara +650 m hingga +700 m di atas permukaan laut. Wilayah ini dikelilingi oleh pegunungan yang mencapai elevasi lebih dari +2.000 m di atas permukaan laut. Secara administratif, Cekungan Bandung terbagi menjadi 5 kabupaten dan/atau kota, yang mencakup 85 kecamatan. Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung sendiri terdiri dari Kawasan Perkotaan Inti dan Kawasan Perkotaan di sekitarnya (Badan Pengelola Cekungan Bandung 2021; Presiden Republik Indonesia 2018). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian berupa penginderaan jauh kuantitatif dengan pendekatan *spatial process analysis* (Danoedoro 2012; Yunus 2010). *Spatial process analysis* yang dimaksud berupa perubahan luasan jenis tutupan lahan di tiap tahunnya. Unit analisis dalam penelitian ini berupa batas administrasi Kabupaten/Kota. Untuk menjawab perubahan tutupan lahan di analisis berdasarkan trend perubahan tahun 2003, 2013, dan 2023.

Dalam penelitian ini, metode untuk memperoleh informasi tutupan lahan yang digunakan berupa algoritma *random forest*, algoritma ini telah umum digunakan dalam analisis tutupan lahan dengan menggunakan Landsat 5 dan 8 (Ghimire, Rogan, and Miller 2010; Guo et al. 2011). Metode ini dapat disesuaikan dengan parameter yang beragam dengan memanfaatkan data citra satelit multi saluran, *hyperspectral*, dan *light and detecting ranging (LIDAR)* (Billah et al. 2023; Shao et al. 2015). Sebuah rangkaian algoritma *Random Forest Classifier (RFC)* digunakan yang memanfaatkan *multiple decision trees* dengan menggunakan *subset input* sebagai sampel *training* dan variabel yang ditentukan secara acak. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya untuk mengolah data dengan jumlah variabel yang besar, mengidentifikasi data yang hilang, dan menyeleksi *outliers* dalam sampel *training*, yang dapat mengurangi bias dalam klasifikasi. Metode ini juga mampu mengukur keterkaitan lokasi dengan basis *proximity* dan mengoptimalkan cakupan fitur dengan memanfaatkan fungsi kepentingan masing-masing variabel. Berdasarkan fungsi-fungsi tersebut, metode RFC memiliki keunggulan dalam mereduksi *outlier* dan *noise*, sehingga dianggap sebagai pendekatan yang sangat efektif dalam analisis tutupan lahan (Belgiu and Drăguț 2016; Corcoran, Knight, and Gallant 2013; Peerbhay, Mutanga, and Ismail 2015).

Klasifikasi tutupan lahan akan diklasifikasi sebanyak 6 jenis tutupan lahan. Diantara jenis tutupan lahan yang diklasifikasi berupa badan air, hutan, lahan terbangun, sawah, perkebunan, dan tegalan. Setelah itu akan dibuat *Region Of Interest (ROI)* pada setiap jenis tutupan lahan. ROI tersebut akan digunakan dalam klasifikasi RFC di citra landsat. Namun, citra landsat yang digunakan akan di seleksi dan di *cloud masking* untuk memperoleh data citra yang bebas dari tutupan awan. Kombinasi saluran yang digunakan berupa saluran *red, green, dan blue* untuk menghasilkan warna sesungguhnya (*true color*). Berikut

Tabel 1 merupakan data yang digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Tabel 1. Data Penelitian

NO	Data	Sumber
1	Citra Landsat 5 Tahun 2003	Google Earth Engine
2	Citra Landsat 8 Tahun 2013 dan 2023	
3	Batas Administrasi Cekungan Bandung	Badan Informasi Geospasial

Setelah memperoleh data citra yang digunakan, langkah berikutnya berupa *clip* batas area kajian penelitian dengan *kml/kmz* KPCB. Selanjutnya membuat ROI di daerah penelitian yang akan mewakili tiap jenis tutupan lahan. ROI ini akan digunakan sebagai dasar pertimbangan RFC dalam melakukan klasifikasi tutupan lahan. Kemudian setelah memperoleh hasil klasifikasi tutupan lahan di tiap tahunnya, maka dilakukan uji akurasi *confusion matrix* dan indeks kappa agar dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Menurut Lillesand, et.al., (2015) *confusion matrix* merupakan suatu materi yang berbentuk bujur sangkar yang berguna untuk melakukan perbandingan antara data hasil data *training* dengan data *testing*. Adapun tingkat akurasi yang ingin dihasilkan >85% (Danoedoro 2012), kemudian dilakukan perhitungan indeks Kappa. Adapun perhitungan *overall accuracy* dari *confusion matrix* dan indeks kappa dapat dilihat persamaan 1 sampai 4.

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\text{Jumlah data sesuai}}{\text{Jumlah total sampel}} \times 100\% \tag{1}$$

$$\text{Producer Accuracy} = \frac{\text{Total Jumlah yang diklasifikasikan dengan benar}}{\text{Jumlah total sampel (Kolom)}} \tag{2}$$

$$\text{Users Accuracy} = \frac{\text{Total jumlah kesalahan klasifikasi}}{\text{Jumlah total sampel (Baris)}} \times 100\% \tag{3}$$

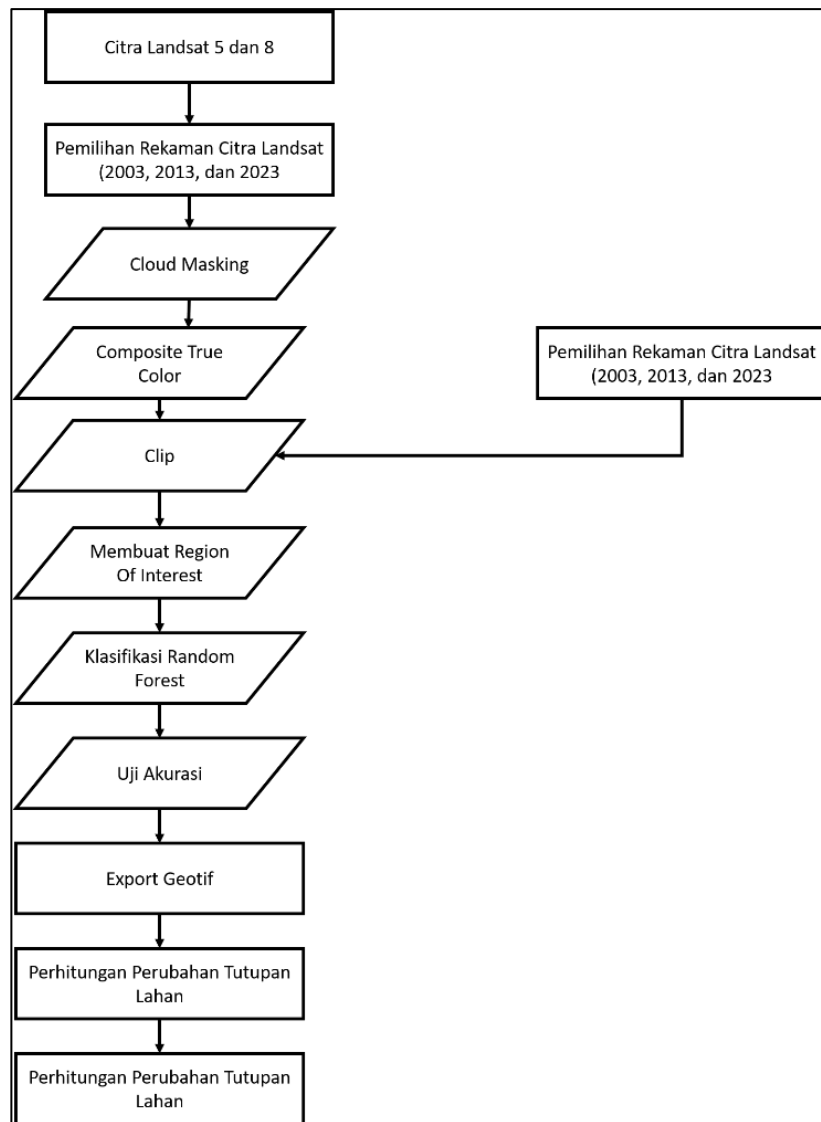
$$\text{Kappa} = \frac{N \times [\sum_i^k \text{Nilai data benar} \times \sum_i^k (\text{Baris} \times \text{Kolom})]}{N^2 - \sum_i^k (\text{Baris} \times \text{Kolom})} \tag{4}$$

Tabel 2.
Interpretasi Indeks Kappa

Nilai indeks	Interpretasi
<20	Sangat Rendah
20,1 - 40	Rendah
40,1 - 60	Sedang
60,1 - 80	Tinggi
80,1 - 100	Sangat Tinggi

Sumber: Jaya (2002)

Ketika uji akurasi sudah diperoleh dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, langkah berikutnya berupa perhitungan perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan membandingkan jenis tutupan lahan di tiap tahunnya. Data yang dihasilkan berupa grafik dan peta untuk dapat dianalisis lebih lanjut. Agar lebih mudah memahami alur metode penelitian ini, maka lihatlah Gambar 2.



Gambar 2 Alur Penelitian

3. Hasil dan pembahasan

Berdasarkan pengolahan data citra landsat 5 dan 8 di Google Earth Engine dapat menghasilkan informasi tutupan lahan di KPCB. RFC pada klasifikasi tutupan lahan dapat menghasilkan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Perlakuan klasifikasi tutupan lahan pada tiap tahunnya dilakukan intervensi yang sama, seperti jumlah ROI, sebaran ROI, iterasi yang digunakan dalam proses klasifikasi, hingga uji akurasi. Iterasi yang digunakan dalam klasifikasi penutup lahan sebanyak 50 kali percobaan. Hasil klasifikasi penutup lahan dapat digunakan setelah melakukan uji akurasi. Dalam hal ini uji akurasi dapat dilihat tingkat *overall accuracy* dan kappa yang diperoleh pada tutupan lahan di tiap tahunnya (lihat Tabel 3). Selanjutnya untuk melihat akurasi di tiap jenis tutupan lahan, dapat dihitung melalui *producer accuracy* dan *user accuracy* di tiap tahunnya. Akurasi yang dihasilkan sangat baik (lihat Tabel 4). Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil observasi lapangan dengan hasil klasifikasi tahun 2023. Teruntuk tahun 2003 dan 2013 uji akurasinya membandingkan data interpretasi *google earth* dengan hasil klasifikasi. Jumlah sampel yang digunakan dalam uji akurasi sebanyak 70 sampel yang tersebar di dalam wilayah penelitian. Hasil klasifikasi *machine learning* RFC sangatlah baik untuk mengidentifikasi tutupan lahan berdasarkan *dataset* dan *data training* sesuai dengan instruksi pengguna. Beberapa penelitian yang serupa terkait identifikasi tutupan lahan kawasan pesisir lahan basah (Farda 2017), tutupan mangrove (Kamal et al. 2019), lahan terbangun (Rudiastuti, Farda, and Ramdani 2021), dan kebencanaan (Billah et al. 2023; Ismanto et al. 2023) Setelah mengetahui hasil uji akurasi yang diperoleh sangat tinggi, data klasifikasi tutupan lahan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut untuk menghitung luasan dan perubahan tutupan lahan di tahun 2003, 2013, dan 2023 (Lihat Tabel 5 dan

Tabel 6).

Tabel 3.

Overall Accuracy dan Indeks Kappa

No	Tahun	Overall Accuracy	%	Kappa
1	2003	0.99	99	0.98
2	2013	0.97	97	0.96
3	2023	0.98	98	0.97

Tabel 4.

Producer Accuracy dan *User Accuracy*

Jenis Lahan	Tahun 2003		Tahun 2013		Tahun 2023	
	<i>Producer Accuracy</i>	<i>User Accuracy</i>	<i>Producer Accuracy</i>	<i>User Accuracy</i>	<i>Producer Accuracy</i>	<i>User Accuracy</i>
Badan Air	0.93	0.98	1	0.99	1	1
Hutan	0.99	0.99	0.95	0.97	0.99	0.99
Lahan Terbangun	0.99	1	0.97	0.97	0.95	0.97
Sawah	0.93	0.85	0.99	0.98	0.99	0.96
Perkebunan	0.99	1	0.86	0.87	0.94	0.98
Tegalan	1	0.96	0.97	0.96	0.97	0.96

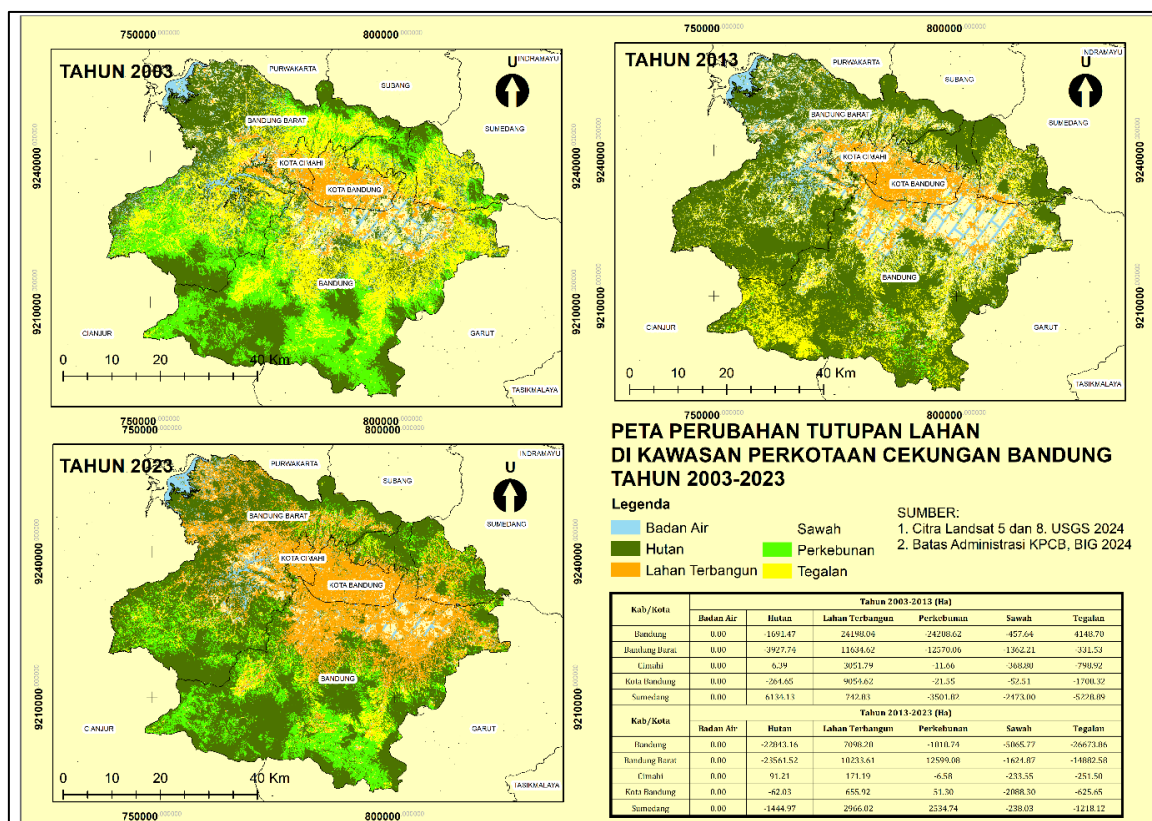
Tabel 5.

Luasan Tutupan Lahan Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung

Kab/Kota	Tahun 2003						Jumlah Total (Ha)
	Jenis Tutupan Lahan						
	Badan Air	Hutan	Lahan Terbangun	Perkebunan	Sawah	Tegalan	
Bandung	3242.66	80000.4	7040.12	27626.39	17269.66	35346.42	170525.75
Bandung Barat	2703.27	79300.9	4347.13	12625.27	12020.05	20063.52	131060.18
Cimahi	2.74	300.23	1948.72	51.66	1022.86	1084.60	4410.82
Kota Bandung	16.81	1301.34	9143.00	62.55	3811.34	2467.64	16802.69
5 Kecamatan Sumedang	13.77	6038.72	812.00	3506.04	3401.78	8269.90	22042.21
Jumlah Total (Ha)							344841.65
	Tahun 2013						Jumlah Total (Ha)
	Jenis Tutupan Lahan						
	Badan Air	Hutan	Lahan Terbangun	Perkebunan	Sawah	Tegalan	
Bandung	3242.66	78309.03	31238.16	3417.77	16812.02	39495.12	172514.77
Bandung Barat	2703.27	75373.19	15981.75	55.21	10657.84	19731.99	124503.25
Cimahi	2.74	306.62	5000.52	40.00	654.06	285.68	6289.62
Kota Bandung	16.81	1036.69	18197.62	41.00	3758.82	767.33	23818.28
5 Kecamatan Sumedang	13.77	12172.85	1554.83	4.22	928.78	3041.01	17715.47
Jumlah Total (Ha)							344841.38
	Tahun 2023						Jumlah Total (Ha)
	Jenis Tutupan Lahan						
	Badan Air	Hutan	Lahan Terbangun	Perkebunan	Sawah	Tegalan	
Bandung	3242.66	55465.87	38336.36	2407.04	11746.25	12821.26	175490.79
Bandung Barat	2703.27	51811.67	26215.36	12654.29	9032.98	4849.41	127885.65
Cimahi	2.74	397.83	5171.71	33.42	420.51	34.18	4074.23
Kota Bandung	16.81	974.66	18853.53	92.30	1670.52	141.68	16829.79
5 Kecamatan Sumedang	13.77	10727.89	4520.85	2538.97	690.75	1822.89	20561.06
Jumlah Total (Ha)							344841.53

Tabel 6.
Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung

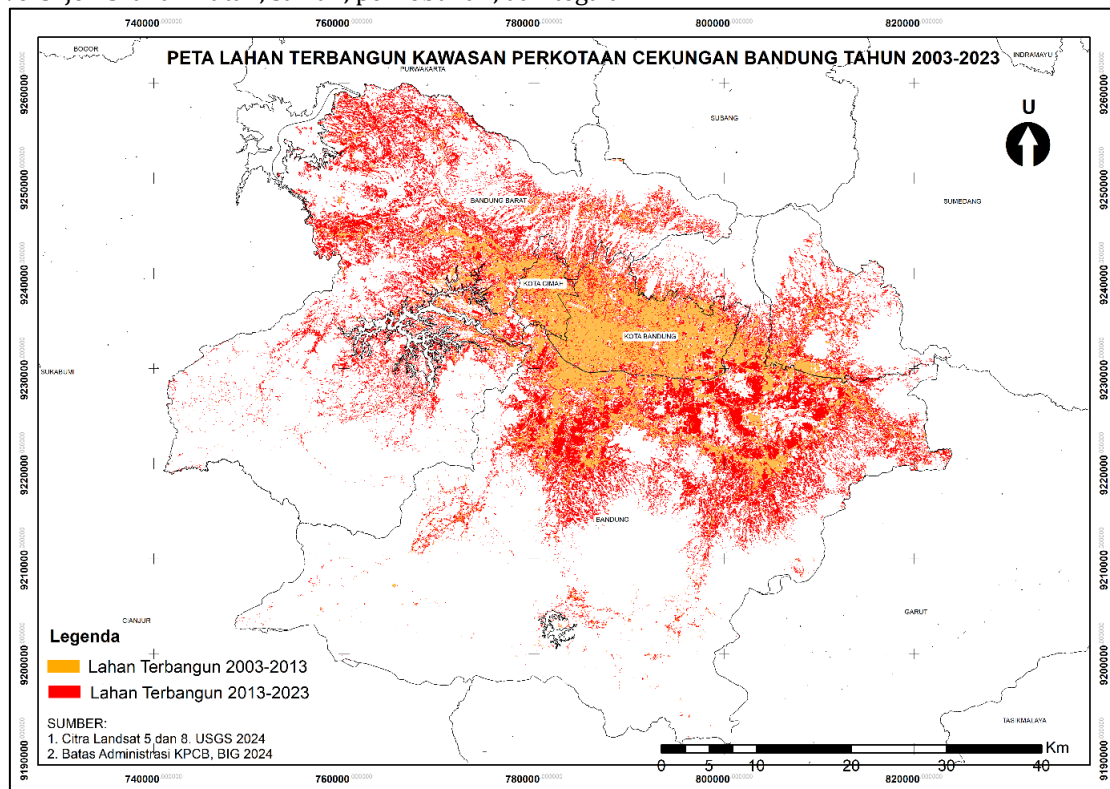
Kab/Kota	Tahun 2003-2013 (Ha)					
	Badan Air	Hutan	Lahan Terbangun	Perkebunan	Sawah	Tegalan
Bandung	0.00	-1691.47	24198.04	-24208.62	-457.64	4148.70
Bandung Barat	0.00	-3927.74	11634.62	-12570.06	-1362.21	-331.53
Cimahi	0.00	6.39	3051.79	-11.66	-368.80	-798.92
Kota Bandung	0.00	-264.65	9054.62	-21.55	-52.51	-1700.32
Sumedang	0.00	6134.13	742.83	-3501.82	-2473.00	-5228.89
Kab/Kota	Tahun 2013-2023 (Ha)					
	Badan Air	Hutan	Lahan Terbangun	Perkebunan	Sawah	Tegalan
Bandung	0.00	-22843.16	7098.20	-1010.74	-5065.77	-26673.86
Bandung Barat	0.00	-23561.52	10233.61	12599.08	-1624.87	-14882.58
Cimahi	0.00	91.21	171.19	-6.58	-233.55	-251.50
Kota Bandung	0.00	-62.03	655.92	51.30	-2088.30	-625.65
5 Kecamatan Sumedang	0.00	-1444.97	2966.02	2534.74	-238.03	-1218.12



Gambar 3 Peta Perubahan Tutupan Lahan di Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung

Berdasarkan hasil perhitungan perubahan tutupan lahan terdapat perubahan yang signifikan dalam tutupan lahan dari tahun 2003-2013 dan 2013-2023. Berkurangnya lahan hutan, perkebunan, tegalan, dan sawah menjadi lahan terbangun mengindikasikan perubahan dalam penutup lahan untuk perkembangan KPCB. Tahun 2003-2013 selama 10 tahun terjadi pengurangan area hutan (-), sawah (-), dan tegalan (-) untuk dijadikan lahan terbangun (+). Trend yang sama terjadi selama periode tahun 2013-2023 yang mana tutupan lahan terbangun terus mengalami ekspansif penambahan bangunan, baik berupa bangunan perumahan, hotel, maupun industri. Periode tahun 2003-2013 luasan tutupan lahan terbangun berubah sebesar 24198.04 Ha di Kabupaten Bandung, 11634.62 Ha di Kabupaten Bandung Barat, 3051.79 Ha di Kota Cimahi, 655.92 Ha di Kota Bandung, dan 2966.02 Ha di 5 Kecamatan Kabupaten Sumedang. Sedangkan periode 2013-2023 juga mengalami penambahan luasan lahan terbangun di tiap Kabupaten dan Kota. Periode tahun 2013-2023 luasan tutupan lahan terbangun berubah sebesar 7098.20 Ha di Kabupaten Bandung, 10233.61 Ha di Kabupaten Bandung Barat, 171.19 Ha di Kota Cimahi, 9054.62 Ha di Kota Bandung, dan 742.83 Ha di 5 Kecamatan Kabupaten Sumedang. Berdasarkan trend selama 20 tahun

kebelakang, kebutuhan lahan terbangun khususnya tempat tinggal meningkat seiring dengan terjadinya konversi jenis lahan hutan, sawah, perkebunan, dan tegalan.



Gambar 4 Peta Lahan Terbangun Kawasan Perkotaan Periode Tahun 2003-2023

Secara spasial perubahan tutupan lahan di KPCB selama 20 tahun terlihat banyak konversi lahan yang terjadi (Lihat Gambar 3 dan **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.**). Perkembangan KPCB cenderung mengarah ke arah selatan dibandingkan ke arah utara. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor kondisi fisik geografis yang dimiliki oleh KPCB. Kawasan di Bandung Utara cenderung memiliki tingkat topografi dan kemiringan lereng yang cukup tinggi, seperti keberadaan Sesar Lembang dan Gunung aktif Tangkuban Parahu. Sehingga kawasan Bandung Utara cenderung dijadikan kawasan lindung berdasarkan pemanfaatan pola ruang KPCB. Perubahan lahan di KPCB juga mengindikasikan bahwa sudah terjadi fenomena *urban sprawl*. *Urban sprawl* atau penyebaran perkotaan mencerminkan situasi di mana pertumbuhan atau ekspansi suatu wilayah perkotaan terjadi tanpa pengendalian yang memadai, melibatkan pembangunan perumahan atau industri. Terlebih lagi KPCB merupakan kawasan strategis nasional yang berfokus pada kegiatan ekonomi. Akibat dari kegiatan ekonomi di KPCB menjadi faktor penarik bagi peningkatan jumlah penduduk di Kota Bandung dan sekitarnya. Dampak dari peningkatan penduduk di KPCB salah satunya berupa konversi lahan menjadi lahan terbangun, khususnya keperluan tempat tinggal. Dampak ini tercermin dalam perubahan tata guna lahan yang semula digunakan untuk pertanian, hutan, atau area hijau menjadi area pemukiman atau infrastruktur perkotaan. Peningkatan lahan terbangun juga dapat menyebabkan tantangan lingkungan, seperti peningkatan suhu permukaan kota, perubahan pola aliran air, dan peningkatan risiko banjir. Infrastruktur yang tidak sesuai atau tidak berkelanjutan dapat meningkatkan dampak negatif terhadap lingkungan.

4. Simpulan dan saran

Klasifikasi penutup lahan menggunakan Google Earth Engine khususnya algoritma Random Forest Classifier dapat menghasilkan klasifikasi yang sangat baik. Uji akurasi yang dihasilkan berdasarkan *overall accuracy* dan *kappa*, tahun 2003 sebesar 0.99:0.98, tahun 2013 sebesar 0.97:0.96, dan tahun 2023 sebesar 0.98:0.97. Dalam periode 2013-2023, terjadi trend peningkatan signifikan dalam tutupan lahan terbangun di Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Kota Cimahi, Kota Bandung, dan 5 kecamatan di Kabupaten Sumedang. Peningkatan tersebut mencakup berbagai jenis bangunan, seperti perumahan, hotel, dan industri. Selama 20 tahun terakhir, terlihat bahwa kebutuhan lahan terbangun, khususnya untuk tempat tinggal, terus meningkat seiring dengan konversi lahan hutan, sawah, perkebunan, dan tegalan. Hal ini mencerminkan adanya perkembangan perkotaan yang tidak terkontrol dan dapat memiliki dampak terhadap lingkungan serta pemanfaatan sumber daya alam. Perlu perhatian lebih lanjut dalam perencanaan

dan pengembangan wilayah guna menjaga keseimbangan antara pertumbuhan perkotaan dan pelestarian lingkungan.

Ucapan terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan dan kontribusi terkait penelitian ini.

Daftar Rujukan

- Badan Pengelola Cekungan Bandung. 2021. *Laporan Tahunan Badan Pengelola Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung-Tahun 2021. Laporan*. Bandung.
- Belgiu, Mariana, and Lucian Drăguț. 2016. "Random Forest in Remote Sensing: A Review of Applications and Future Directions." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114:24–31.
- Billah, Maruf, AKM Saiful Islam, Wasif Bin Mamoon, and Mohammad Rezaur Rahman. 2023. "Random Forest Classifications for Landuse Mapping to Assess Rapid Flood Damage Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data." *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 30:100947.
- Corcoran, Jennifer M., Joseph F. Knight, and Alisa L. Gallant. 2013. "Influence of Multi-Source and Multi-Temporal Remotely Sensed and Ancillary Data on the Accuracy of Random Forest Classification of Wetlands in Northern Minnesota." *Remote Sensing* 5(7):3212–38.
- Danoedoro, Projo. 2012. "Pengantar Penginderaan Jauh Digital." *Penerbit Andi, Yogyakarta*.
- Derajat, Roihan Muhammad, Yesi Sopariah, Syifa Aprilianti, Aditya Candra Taruna, Hangga Aria Rahmawan Tisna, Riki Ridwana, and Dede Sugandi. 2020. "Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Di Kecamatan Pangandaran." *Jurnal Samudra Geografi* 3(1):1–10.
- DeVries, Ben, Chengquan Huang, John Armston, Wenli Huang, John W. Jones, and Megan W. Lang. 2020. "Rapid and Robust Monitoring of Flood Events Using Sentinel-1 and Landsat Data on the Google Earth Engine." *Remote Sensing of Environment* 240:111664.
- Farda, N. M. 2017. "Multi-Temporal Land Use Mapping of Coastal Wetlands Area Using Machine Learning in Google Earth Engine." P. 012042 in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 98. IOP Publishing.
- Firman, Tommy. 2009. "The Continuity and Change in Mega-Urbanization in Indonesia: A Survey of Jakarta–Bandung Region (JBR) Development." *Habitat International* 33(4):327–39.
- Fuadina, Lutfia Nursetya, Ernani Rustiadi, and Andrea Emma Pravitasari. 2021. "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Urban Sprawl Di Kawasan Cekungan Bandung." *TATALOKA* 23(1):105–14.
- Ghimire, B., J. Rogan, and J. Miller. 2010. "Contextual Land-Cover Classification: Incorporating Spatial Dependence in Land-Cover Classification Models Using Random Forests and the Getis Statistic." *Remote Sensing Letters* 1(1):45–54. doi: 10.1080/01431160903252327.
- Gong, Peng, Jie Wang, Le Yu, Yongchao Zhao, Yuanyuan Zhao, Lu Liang, Zhenguo Niu, Xiaomeng Huang, Haohuan Fu, Shuang Liu, Congcong Li, Xueyan Li, Wei Fu, Caixia Liu, Yue Xu, Xiaoyi Wang, Qu Cheng, Luanyun Hu, Wenbo Yao, Han Zhang, Peng Zhu, Ziyang Zhao, Haiying Zhang, Yaomin Zheng, Luyan Ji, Yawen Zhang, Han Chen, An Yan, Jianhong Guo, Liang Yu, Lei Wang, Xiaojun Liu, Tingting Shi, Menghua Zhu, Yanlei Chen, Guangwen Yang, Ping Tang, Bing Xu, Chandra Giri, Nicholas Clinton, Zhiliang Zhu, Jin Chen, and Jun Chen. 2013. "Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover: First Mapping Results with Landsat TM and ETM+ Data." *International Journal of Remote Sensing* 34(7):2607–54. doi: 10.1080/01431161.2012.748992.
- Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. 2017. "Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone." *Remote Sensing of Environment* 202:18–27.
- Gubernur Jawa Barat. 2020. "PERGUB Prov. Jawa Barat No. 86 Tahun 2020."
- Guo, Li, Nesrine Chehata, Clément Mallet, and Samia Boukir. 2011. "Relevance of Airborne Lidar and Multispectral Image Data for Urban Scene Classification Using Random Forests." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(1):56–66.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, and T. R. Loveland. 2021. "High-Resolution Global Maps."
- Ismanto, Rido Dwi, Hana Listi Fitriana, Johannes Manalu, Alvian Aji Purboyo, and Indah Prasasti. 2023. "Development of Flood-Hazard-Mapping Model Using Random Forest and Frequency Ratio in Sumedang Regency, West Java, Indonesia." *Geomatics & Environmental Engineering* 17(6).
- Jaya, INS. 2002. *Penginderaan Jauh Satelit Untuk Kehutanan Jurusan Manajemen Hutan*. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.

- Kamal, Muhammad, Ilham Jamaluddin, Artha Parela, and Nur Mohammad Farda. 2019. "Comparison of Google Earth Engine (GEE)-Based Machine Learning Classifiers for Mangrove Mapping." Pp. 1–8 in *Proceedings of the 40th Asian Conference Remote Sensing, ACRS*.
- Kumar, Lalit, and Onesimo Mutanga. 2018. "Google Earth Engine Applications since Inception: Usage, Trends, and Potential." *Remote Sensing* 10(10):1509.
- Kustiwan, Iwan, and Almira Ladimananda. 2016. "Pemodelan Dinamika Perkembangan Perkotaan Dan Daya Dukung Lahan Di Kawasan Cekungan Bandung." *TATALOKA* 14(2):98–112. doi: 10.14710/tataloka.14.2.98-112.
- Latue, Philia Christi, and Heinrich Rakuasa. 2023. "Analisis Spasial Daya Dukung Lahan Permukiman Di Kota Ternate." *Jurnal Ilmiah Multidisiplin* 2(03):12–16. doi: 10.56127/jukim.v2i03.601.
- Lillesand, T., R. W. Kiefer, and J. Chipman. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons.
- Mondal, Ismail, Sandeep Thakur, Phanibhusan Ghosh, Tarun Kumar De, and Jatisankar Bandyopadhyay. 2019. "Land Use/Land Cover Modeling of Sagar Island, India Using Remote Sensing and GIS Techniques." Pp. 771–85 in *Emerging Technologies in Data Mining and Information Security: Proceedings of IEMIS 2018, Volume 1*. Springer.
- Peerbhay, Kabir Yunus, Onesimo Mutanga, and Riyad Ismail. 2015. "Random Forests Unsupervised Classification: The Detection and Mapping of Solanum Mauritianum Infestations in Plantation Forestry Using Hyperspectral Data." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 8(6):3107–22.
- Presiden Republik Indonesia. 2018. "Peraturan Preseiden Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2018 Tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung."
- Rudiastuti, Aninda Wisaksanti, Nur Mohammad Farda, and Dadan Ramdani. 2021. "Mapping Built-up Land and Settlements: A Comparison of Machine Learning Algorithms in Google Earth Engine." Pp. 42–52 in *Seventh Geoinformation Science Symposium 2021*. Vol. 12082. SPIE.
- Shao, Yang, James B. Campbell, Gregory N. Taff, and Baojuan Zheng. 2015. "An Analysis of Cropland Mask Choice and Ancillary Data for Annual Corn Yield Forecasting Using MODIS Data." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 38:78–87.
- Sugandi, Dede, Iwan Setiawan, and Nanin Trianawati Sugito. 2016. "Application Remote Sensing To Analysis Bandung Basin Landuse." *PONTE International Scientific Researchs Journal* 72(8). doi: 10.21506/j.ponte.2016.8.38.
- Tang, Zhengong, Yao Li, Yue Gu, Weiguo Jiang, Yuan Xue, Qiao Hu, Ted LaGrange, Andy Bishop, Jeff Drahot, and Ruopu Li. 2016. "Assessing Nebraska Playa Wetland Inundation Status during 1985–2015 Using Landsat Data and Google Earth Engine." *Environmental Monitoring and Assessment* 188:1–14.
- Thakur, Sandeep, Debapriya Maity, Ismail Mondal, Ganesh Basumatary, Phani Bhushan Ghosh, Papita Das, and Tarun Kumar De. 2021. "Assessment of Changes in Land Use, Land Cover, and Land Surface Temperature in the Mangrove Forest of Sundarbans, Northeast Coast of India." *Environment, Development and Sustainability* 23(2):1917–43. doi: 10.1007/s10668-020-00656-7.
- Thakur, Sandeep, Ismail Mondal, Somnath Bar, Subhanil Nandi, P. B. Ghosh, P. Das, and T. K. De. 2021. "Shoreline Changes and Its Impact on the Mangrove Ecosystems of Some Islands of Indian Sundarbans, North-East Coast of India." *Journal of Cleaner Production* 284:124764.
- Tiwari, Varun, Vinay Kumar, Mir Abdul Matin, Amrit Thapa, Walter Lee Ellenburg, Nishikant Gupta, and Sunil Thapa. 2020. "Flood Inundation Mapping-Kerala 2018; Harnessing the Power of SAR, Automatic Threshold Detection Method and Google Earth Engine." *PLoS One* 15(8):e0237324.
- Wajdi, R. 2021. "Daya Dukung Dan Daya Tampung Lingkungan Hidup Berbasis Jasa Ekosistem Di Kawasan Cekungan Bandung." *FTSP* 904–15.
- Yulianto, Fajar, Suwarsono Suwarsono, and Sayidah Sulma. 2019. "Improving the Accuracy and Reliability of Land Use/Land Cover Simulation by the Integration of Markov Cellular Automata and Landform-Based Models _ a Case Study in the Upstream Citarum Watershed, West Java, Indonesia." *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 6(2):1675.
- Yunus, Hadi Sabari. 2010. *Metodologi Penelitian Wilayah Kontemporer*. Pustaka Belajar.