

# ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TAHUN 2013-2022 DI KOTA SEMARANG MENGGUNAKAN *GOOGLE EARTH ENGINE*

Tika Christy Novianti<sup>1)</sup>, Armijon<sup>2)</sup>, Anggun Tridawati<sup>3)</sup>, Ahmad Sofyan Samri<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi D3 Teknik Survey dan Pemetaan, Universitas Lampung

<sup>2), 3), 4)</sup> Program Studi S1 Teknik Geodesi, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, Lampung

Email : [tika.novianti@eng.unila.ac.id](mailto:tika.novianti@eng.unila.ac.id)<sup>1)</sup>, [armijon@eng.unila.ac.id](mailto:armijon@eng.unila.ac.id)<sup>2)</sup>, [anggun.tridawati@eng.unila.ac.id](mailto:anggun.tridawati@eng.unila.ac.id)<sup>3)</sup>

[ahmad.pesbar@gmail.com](mailto:ahmad.pesbar@gmail.com)<sup>4)</sup>

## ABSTRACT

Population growth, urbanization, policy changes, economic activities, agriculture, infrastructure development, and climate change are some of the factors that can lead to land cover changes. This necessitates serious monitoring to determine the extent of land changes occurring. Semarang City is one of the cities that has undergone significant land changes. This can be seen from the substantial areas that have undergone land-use conversion. This study aims to observe land cover changes in Semarang City using Landsat 8 TOA satellite imagery analyzed through the Google Earth Engine (GEE) platform. GEE is an alternative for image processing as it simplifies the process of image analysis compared to conventional desktop-based image processing methods. The classification is performed using a machine learning algorithm with the Classification and Regression Trees (CART) method that is available in GEE. The accuracy of the classification is tested using the confusion matrix calculation. The results obtained show the accuracy of land cover change testing for the years 2013, 2016, 2019, and 2022, with kappa accuracies reaching 96.7%, 93.78%, 94.54%, and 96.04%, respectively. The effectiveness of image processing on the GEE platform shows that GEE can be used as a fast and efficient alternative for image processing. Based on the research findings, it is shown that residential areas experience significant increases every year. Therefore, the increase in residential areas has a significant impact on the surrounding environment, such as increasing urban temperatures, which reduces the comfort level of residents, especially in Semarang City.

**Keywords :** Land Cover, Landsat 8 Satellite Imagery, Google Earth Engine

## ABSTRAK

Pertumbuhan populasi, urbanisasi, perubahan kebijakan, aktivitas ekonomi, pertanian, pengembangan infrastruktur, dan perubahan iklim adalah beberapa faktor yang dapat menyebabkan perubahan tutupan lahan. Hal ini memerlukan pemantauan yang serius untuk melihat seberapa besar perubahan lahan yang terjadi. Kota Semarang merupakan salah satu kota yang telah banyak mengalami perubahan lahan. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya wilayah yang telah beralih fungsi lahan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perubahan tutupan lahan di Kota Semarang dengan menggunakan data citra satelit Landsat 8 TOA yang di analisis menggunakan platform *Google Earth Engine* (GEE). GEE menjadi alternatif pengolahan citra karena memudahkan pengguna dalam melakukan pengolahan dan analisis citra dibandingkan dengan metode konvensional pengolahan citra berbasis *desktop*. Klasifikasi dilakukan dengan algoritma *machine learning* menggunakan metode *Classification and Regression Trees* (CART) yang tersedia di GEE. Uji akurasi klasifikasi dilakukan dengan menggunakan perhitungan *confusion matrix*. Hasilnya diperoleh uji akurasi perubahan tutupan lahan pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022, akurasi kappa masing-masing mencapai 96,7%, 93,78%, 94,54%, dan 96,04%. Efektifitas pengolahan citra di platform GEE menunjukkan bahwa GEE dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengolahan citra yang cepat dan efisien. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah pemukiman mengalami kenaikan yang signifikan setiap tahun. Oleh karena itu, peningkatan pemukiman memberi dampak yang signifikan terhadap lingkungan sekitar, seperti peningkatan suhu kota, yang menyebabkan tingkat kenyamanan penduduk semakin berkurang, terutama di Kota Semarang.

**Keywords :** Tutupan Lahan, Citra Satelit Landsat 8, Google Earth Engine.

## 1. Pendahuluan

Tutupan lahan merupakan wujud material fisik yang terdapat di permukaan bumi. Tutupan lahan dapat mencerminkan interaksi antara proses alami dan sosial yang terjadi di permukaan bumi. Selain itu, tutupan lahan menyediakan informasi penting yang berguna untuk pemodelan dan pemahaman tentang fenomena alam yang terjadi di permukaan bumi (Liang, 2008 dalam Jia, 2014). Data tutupan lahan dimanfaatkan untuk mempelajari perubahan iklim dan memahami bagaimana aktivitas manusia mempengaruhi perubahan pada skala global (Gong et al., 2013 ; Running, 2008 ; Jia et al., 2014). Informasi yang akurat terkait tutupan lahan merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan kinerja model hidrologi, atmosfer dan ekosistem. ( Miller et al., 2007 ; Bounoua et al., 2002 ; Jung et al., 2006). Tutupan lahan digunakan untuk mengetahui informasi dasar dalam kajian *geoscience* dan perubahan global (Jia et al., 2014).

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk menganalisis perubahan penutupan lahan yaitu dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh (Zurqani et al., 2019). Penginderaan jauh telah secara luas dimanfaatkan untuk menyediakan informasi spasial yang beragam mengenai permukaan bumi secara cepat, tepat, akurat, ekstensif, dan efisien, termasuk dalam aplikasi klasifikasi tutupan lahan (Gong et al., 2013 ; Hansen et al., 2010 ; ; Thenkabail et al., 2009 ; Liu et al., 2003). Metode konvensional seperti klasifikasi berbasis pixel masih digunakan dalam pemrosesan data geospasial atau dengan metode penginderaan jauh. Klasifikasi masih dilakukan dengan bantuan *software* pengolahan citra, dimana hal ini memiliki kelemahan pada pengolahan data yang lama dan membutuhkan komputer yang memiliki performa tinggi (Skole & Tucker, 1993). Hal ini akan membutuhkan waktu yang lama dalam pengolahan citra, terutama ketika digunakan untuk menganalisis area yang luas (Zurqani et al., 2019).

Pada awal Desember 2010, Google memperkenalkan sebuah teknologi canggih dalam bidang komputasi berbasis awan yang dinamakan *Google Earth Engine* (GEE). Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengakses dan menganalisis data geospasial dalam jumlah besar dengan efisiensi tinggi (U.S. Geological Survey, 2010). GEE adalah layanan untuk melakukan pemrosesan dan analisis data geospasial yang memanfaatkan repositori milik Google serta didukung oleh sistem berbasis *cloud*. GEE menggunakan bahasa pemrograman JavaScript dan Python untuk menjalankan berbagai fungsi algoritma di dalamnya (Fikri et al., 2021). GEE mengembangkan sebuah algoritma yang dirancang untuk memproses citra satelit yang sudah di georeferensi dan disimpan di *cloud*. Algoritma ini memungkinkan

pemanfaatan data satelit secara efisien untuk berbagai analisis geospasial, memudahkan pengguna dalam mengakses dan mengelola data yang tersimpan di *platform* tersebut. (Zurqani et al., 2019). *Platform* GEE memiliki *catalog* data geospasial, seperti citra Landsat *Series* , Sentinel 1 dan 2, MODIS - Terra Aqua dan lainnya yang tersimpan di dalam *server* GEE.

Kota Semarang berada pada posisi strategis di pesisir utara Pulau Jawa. Hal ini didukung oleh jaringan transportasi antar daerah yang sangat penting. Lokasi ini telah mendorong perkembangan Kota Semarang menjadi pusat perdagangan, industri, manufaktur, serta berfungsi sebagai kota transit bagi pendatang (Febianti et al., 2022). Kota Semarang telah mengalami peningkatan jumlah penduduk dan urbanisasi dalam beberapa tahun terakhir. Tingkat pertumbuhan penduduk di Kota Semarang mencapai 0,66% per tahun. Data menunjukkan bahwa pada tahun 2016 jumlah penduduk adalah 1.602.717 jiwa, dan angka ini meningkat menjadi 1.656.564 jiwa pada tahun 2021 (BPS, 2021). Pertumbuhan jumlah penduduk setiap tahun menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan lahan tempat tinggal dan berbagai aktivitas lainnya. Pembangunan di Kota Semarang terlihat dari ekspansi perumahan, industri, pusat perbelanjaan, hotel, dan apartemen yang terus berlangsung setiap tahunnya. Penelitian oleh Mubarak et al., 2021 menunjukkan bahwa Kota Semarang mengalami penambahan kawasan terbangun seluas 11.665 hektar dan pengurangan lahan vegetasi seluas 10.378 hektar dari tahun 1989 hingga 2020.

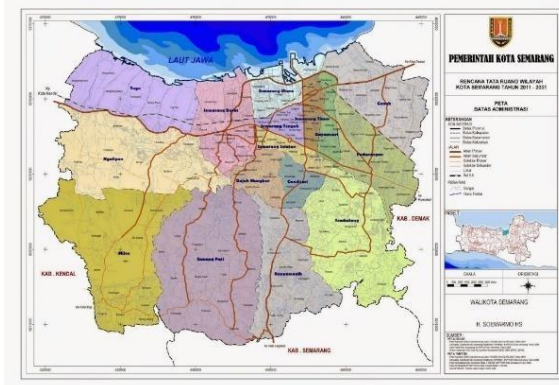
Studi terkait pemanfaatan GEE dalam klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *supervised* dan *unsupervised* telah banyak dilakukan. Simonetti et al., 2015 telah melakukan pengamatan terkait perubahan tutupan lahan di Afrika. Penelitian tersebut membagi kelas tutupan lahan menjadi lahan terbangun, lahan terbuka, air, dan vegetasi. Selain itu, Ying et al., 2017 melakukan pengamatan tutupan lahan dengan memanfaatkan citra satelit Landsat. Dalam penelitiannya, Ying menggunakan studi area dari skala kecil sampai skala global, dengan rentang waktu data pengamatan yang digunakan 12 tahun.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan tahun 2013, 2016, 2019, dan 2022 menggunakan *platform* pengolahan data geospasial berbasis *cloud* yaitu GEE. Penelitian mengambil studi kasus di Kota Semarang, dan data yang digunakan adalah citra Landsat 8 OLI perekaman tahun 2013, 2016, 2019, dan 2022.

## 2. Pembahasan

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kota Semarang Provinsi Jawa Tengah. Kota Semarang terletak pada 6°50' – 7°10' Lintang Selatan dan garis 109°35' – 110°50' Bujur Timur dengan luas wilayah 383,8 km<sup>2</sup> (BPS, 2022). Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Peta Administrasi Kota Semarang.

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI tahun perekaman 2013, 2016, 2019, dan 2022. Selain itu data batas administrasi kota Semarang juga digunakan untuk memberikan batas pada wilayah pada citra yang akan dilakukan analisis tutupan lahan. Alat yang digunakan untuk melakukan pengolahan dan analisis adalah sebuah laptop yang tersambung dengan internet.

### Tahap Pra-Pengolahan Citra

Tahap klasifikasi tutupan lahan harus diawali dengan melakukan filter tutupan awan pada citra satelit yaitu kurang dari 20%. Ada dua cara untuk menghilangkan tutupan awan pada citra Landsat 8 menggunakan platform GEE. Cara pertama adalah menggunakan filter *cloud cover*, dengan menggunakan filter ini, pengguna dapat memilih citra Landsat dengan tutupan awan yang mereka inginkan untuk rentang waktu tertentu. Kelemahan metode ini adalah masih ditemukan wilayah yang memiliki tutupan awan di dalamnya, filter *cloud cover* hanya membantu memilih citra satelit dengan tingkat tutupan awan yang paling rendah. Cara kedua dengan menggunakan filter *masking*, cara ini dilakukan dengan menggabungkan beberapa citra satelit Landsat 8 dari tanggal perekaman yang berbeda untuk menghasilkan citra dengan lapisan awan yang lebih bersih atau yang dikenal sebagai *masking*. Untuk melakukan *masking* diperlukan band BQA yang memiliki informasi untuk mendeteksi awan sehingga dapat dilakukan eliminasi terhadap citra yang memiliki tutupan awan, proses ini dikenal dengan istilah *fill and gap*.

### Klasifikasi Supervised

Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *machine learning* dengan algoritma *Classification and Regression Trees* (CART). CART merupakan algoritma *Machine Learning* (MLA) yang dapat digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan. Pada algoritma CART setiap sampel yang diambil harus mempertimbangkan pola spektral yang terdapat pada panjang gelombang tertentu. Ini dilakukan agar daerah acuan yang tepat dapat mewakili suatu objek tertentu (Danoedoro, 1996).

Klasifikasi *machine learning* dimulai dengan pengambilan sampel pelatihan berdasarkan kategori tutupan lahan, diikuti oleh proses klasifikasi menggunakan algoritma CART. Tutupan lahan kemudian diklasifikasikan ke dalam enam kategori, dengan masing-masing kategori diwakili oleh bilangan *integer* yang dimulai dari nilai 1, sesuai dengan proses klasifikasi di GEE. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan pembagian kelas tutupan lahan.

Tabel 1. Kelas Tutupan Lahan (Analisis, 2024)

No	Tutupan Lahan	Nilai
1	Badan Air	1
2	Lahan Terbangun	2
3	Pertanian	3
4	Vegetasi Tinggi	4
5	Vegetasi Rendah	5
6	Lahan Terbuka	6

### Uji Akurasi

Proses akhir dari penelitian ini adalah melakukan uji akurasi. Uji akurasi klasifikasi dilakukan untuk mengetahui ketelitian yang diperoleh dari klasifikasi tutupan lahan menggunakan GEE. Tingkat ketelitian klasifikasi tutupan lahan dapat dilihat dengan menggunakan matrik *confussion matrix* atau matrik kesalahan. *Confussion Matrix* dihitung dengan membandingkan basis kategori, yaitu hasil klasifikasi yang dilakukan secara otomatis dengan data referensi yang diketahui (*ground truth*). Matriks berbentuk *square* dengan angka pada baris dan kolom sama dengan jumlah kategori tingkat akurasi klasifikasi yang akan dinilai. Jika hasil perhitungan matrik konfusi konfusi melebihi 80%, klasifikasi citra dianggap benar (Short, 1982 dalam Nawangwulan et al., 2013). Perhitungan *confussion matrix* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Matrik Konfusi (Arisondang et al., 2015)

Kelas Referensi	Dikelaskan ke Kelas (Data Klasifikasi di Peta)			Jumlah Pikel	Akurasi Pembuat
	A	B	C		
A	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>1+</sub>	X <sub>11</sub> /X <sub>1+</sub>
B	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>2+</sub>	X <sub>22</sub> /X <sub>2+</sub>
C	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>3+</sub>	X <sub>33</sub> /X <sub>3+</sub>
Total Pikel	X <sub>+1</sub>	X <sub>+2</sub>	X <sub>+3</sub>	N	
Akurasi Pengguna	X <sub>11</sub> /X <sub>+1</sub>	X <sub>22</sub> /X <sub>+2</sub>	X <sub>33</sub> /X <sub>+3</sub>		



Overall Accuracy :

$$\left(\sum_{i=1}^r X_{ii}\right)/N \times 100\%$$

Kappa Accuracy :

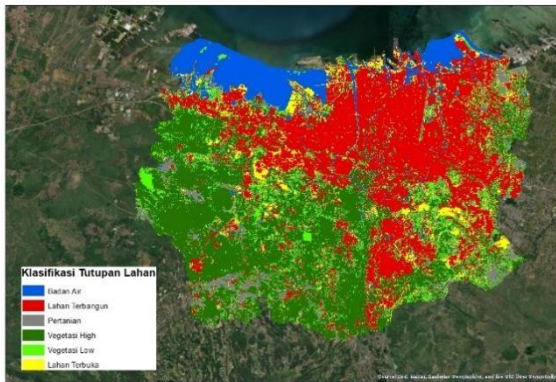
$$[(N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{1+} X_{+1}) / (N^2 - \sum_{i=1}^r X_{1+} X_{+1})] \times 100\%$$

Keterangan:

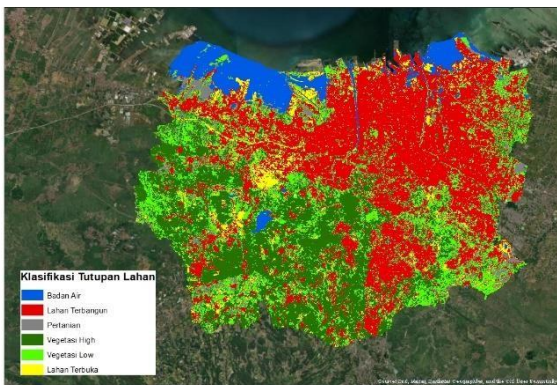
- N : Banyak piksel dalam contoh
- X<sub>1+</sub> : Jumlah piksel baris ke-i
- X<sub>+1</sub> : Jumlah piksel kolom ke-i
- X<sub>ii</sub> : Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

**Hasil**

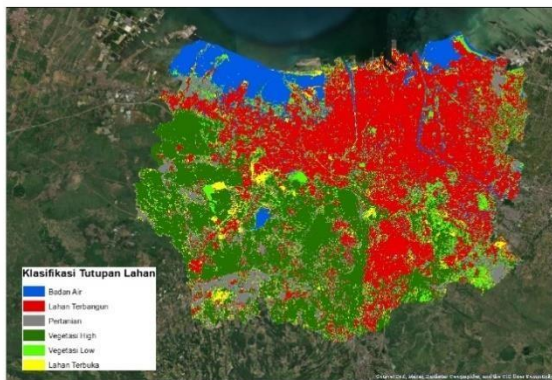
Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh hasil klasifikasi tutupan lahan Tahun 2013, Tahun 2016, Tahun 2019, dan Tahun 2023 pada gambar di bawah ini.



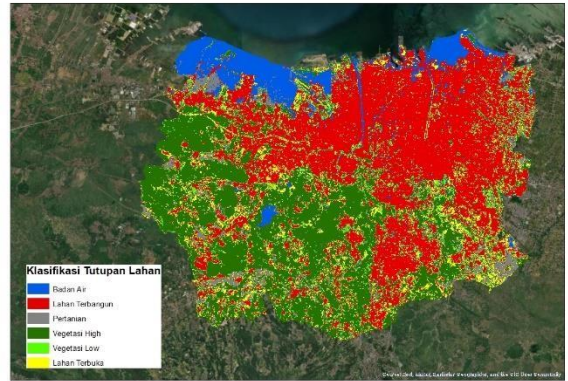
Gambar 2. Peta Penutupan Lahan Tahun 2013



Gambar 3. Peta Penutupan Lahan Tahun 2016



Gambar 4. Peta Penutupan Lahan Tahun 2019



Gambar 5. Peta Penutupan Lahan Tahun 2022

Luas klasifikasi tutupan lahan di Kota Semarang dapat dihitung secara langsung menggunakan platform GEE, dimana luas hasil klasifikasi dihitung berdasarkan 6 kelas tutupan lahan yang telah terklasifikasi. Luas yang di peroleh di setiap kelas pada Tutupan lahan per-tahunnya menunjukkan terdapat perubahan luas dari tahun ke tahun di Kota Semarang. Tabel berikut ini menunjukkan luas perubahan lahan di Kota Semarang.

**Tabel 3.** Luasan (Km)<sup>2</sup> Daerah Tutupan Lahan

No.	Kelas	2013	2016	2019	2022
1	Badan Air	37.67	37.67	28.36	35.37
2	Lahan Terbangun	123.49	144.36	148.75	154.04
3	Pertanian	38.02	51.32	26.01	29.06
4	Vegetasi High	123.24	101.90	91.13	110.27
5	Vegetasi Low	36.53	34.58	70.46	22.36
6	Lahan terbuka	26.62	15.63	20.86	34.44

Sumber : (Analisis, 2024)

Berdasarkan Tabel 3 di atas, Luas Tutupan Lahan dari tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 dapat diketahui bahwa terjadi perubahan lahan di setiap tahunnya.

1. Perubahan lahan yang terjadi di tahun 2013 dan 2016 yaitu lahan terbangun semakin bertambah yang disebabkan oleh perubahan di lahan terbuka yang mengalami pembangunan pemukiman sehingga menjadi lahan terbangun. Vegetasi rendah dan vegetasi tinggi berkurang dan berubah menjadi lahan pertanian sehingga menyebabkan pertanian semakin meningkat.
2. Perubahan lahan yang terjadi di tahun 2016 dan 2019 yaitu badan air semakin berkurang disebabkan oleh karena adanya penyusutan sungai sehingga menyebabkan lahan terbuka semakin bertambah. Pertanian dan vegetasi tinggi berkurang karena dipengaruhi oleh cuaca kemarau yang menyebabkan lahan tersebut berubah menjadi semak belukar sehingga vegetasi rendah meningkat.

3. Perubahan lahan yang terjadi di tahun 2019 dan 2022 yaitu badan air di tahun 2022 bertambah dari tahun 2019 yang disebabkan karena ada pembangunan embung sebagai badan air. Lahan Terbangun setiap tahun semakin bertambah yang disebabkan adanya pembangunan yang semakin banyak. lahan Pertanian semakin bertambah yang disebabkan karena terjadinya perubahan di vegetasi rendah. Vegetasi rendah semakin menurun disebabkan karena banyak pepohonan yang bertumbuh semakin tinggi sehingga vegetasi tinggi semakin meningkat.

**Hasil Uji Akurasi**

Hasil klasifikasi tutupan lahan pada Tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 menunjukkan bahwa pada klasifikasi di atas terdapat 6 kelas tutupan lahan yang terklasifikasi. Uji akurasi dilakukan dengan mengambil sampel pada setiap kelas tutupan lahan dengan jumlah sample untuk setiap kelas berjumlah 10 sampel. Hasil Perhitungan *Confusion Matrix* yang di lakukan di GEE menunjukkan bahwa nilai *Overall Accuracy* sebagai berikut :

**Tabel 4.** *Confusion Matrix* Tutupan Lahan 2013

Kelas	Sample						Total	Procedure Accuracy	User Accuracy
	1	2	3	4	5	6			
1	3028	1	2	0	5	2	3038	0.99	0.99
2	10	3092	528	18	4	73	3725	0.99	0.83
3	7	2	644	28	35	28	744	0.52	0.86
4	2	3	13	6582	114	2	6616	0.98	0.99
5	0	0	41	50	290	5	386	0.63	0.75
6	2	19	18	0	6	914	959	0.89	0.95
<b>Total</b>	3049	3114	1246	6678	454	1024			
<b>Overall Accuracy</b>								<b>0.967</b>	

Sumber : (Analisis, 2024)

**Tabel 5.** *Confusion Matrix* Tutupan Lahan 2016

Kelas	Sample						Total	Procedure Accuracy	User Accuracy
	1	2	3	4	5	6			
1	1395	14	13	2	22	14	1460	0.97	0.95
2	30	1124	3	0	11	4	1172	0.94	0.96
3	2	18	713	27	35	35	830	0.93	0.86
4	1	5	56	2938	12	23	3035	0.99	0.99
5	0	4	2	63	737	2	808	0.89	0.91
6	4	35	29	5	12	382	467	0.83	0.81
<b>Total</b>	1432	1200	765	3035	829	460			
<b>Overall Accuracy</b>								<b>0.937</b>	

Sumber : (Analisis, 2024)

**Tabel 6.** *Confusion Matrix* Tutupan Lahan 2019

Kelas	Sample						Total	Procedure Accuracy	User Accuracy
	1	2	3	4	5	6			
1	859	1	0	0	2	0	862	0.99	0.99
2	0	2008	6	2	11	5	2032	0.98	0.99
3	1	5	430	2	17	0	455	0.91	0.94
4	0	11	0	2860	64	1	2936	0.92	0.97
5	0	7	37	247	950	4	1245	0.90	0.76
6	0	18	0	0	7	649	674	0.98	0.96
<b>Total</b>	860	2050	473	3111	1051	659			
<b>Overall Accuracy</b>								<b>0.945</b>	

Sumber : (Analisis, 2024)

Tabel 7. Confusion Matrix Tutupan Lahan 2022

Kelas	Sample						Total	Procedure Accuracy	User Accuracy
	1	2	3	4	5	6			
1	2373	8	100	19	4	1	2505	0.99	0.94
2	4	2643	0	17	1	41	2706	0.99	0.97
3	4	2	86	2	1	5	100	0.43	0.86
4	0	0	8	5	6	3	22	0.11	0.22
5	0	0	1	1	704	4	710	0.97	0.99
6	0	4	1	0	3	15	23	0.21	0.65
<b>Total</b>	2381	2657	196	44	719	69			
<b>Overall Accuracy</b>									<b>0.96</b>

Sumber : (Analisis, 2024)

Berdasarkan perhitungan *confussion matrix* Tabel 4-7 diperoleh bahwa klasifikasi tutupan lahan pada tahun 2013, 2016, 2019, dan 2022 dengan algoritma *machine learning* metode CART menggunakan GEE dapat memberikan akurasi yang sangat baik dengan nilai akurasi masing – masing diatas 96,7%, 93,7%, 94,5%, dan 96% untuk *overall accuracy* dan *kappa accuracy*.

### 3. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di Kota Semarang dari tahun 2013 hingga 2022 menggunakan citra satelit Landsat 8 dan algoritma *machine learning* dengan metode *Classification and Regression Trees* (CART) menggunakan *platform* GEE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan signifikan dalam tutupan lahan di Kota Semarang, dengan peningkatan yang signifikan pada daerah lahan terbangun setiap tahun. Metode CART dengan algoritma *machine learning* menggunakan GEE menghasilkan akurasi yang tinggi, dengan nilai *overall accuracy* dan *kappa accuracy* di atas 90% untuk setiap tahunnya. Luas tutupan lahan di Kota Semarang dapat dihitung menggunakan GEE berdasarkan 6 kelas tutupan lahan yang telah terklasifikasi, dan terdapat perbedaan luas pada setiap kelas tutupan lahan dari tahun ke tahun. Penggunaan GEE memungkinkan analisis perubahan tutupan lahan yang efisien dan akurat, serta memungkinkan pemantauan perubahan tutupan lahan secara menyeluruh. Dengan demikian, penelitian ini memberikan manfaat penting dalam pemahaman perubahan tutupan lahan di Kota Semarang dan menunjukkan potensi penggunaan GEE dalam analisis perubahan tutupan lahan secara efisien dan akurat.

### References

Arisonang, V., Sudarsono, B., & Prasetyo, Y. (2015). *Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Segmentasi Berbasis Algoritma Multiresolusi*. 4, 9–19.  
Bounoua, L., DeFries, R., Collatz, G. J., Sellers, P., &

Khan, H. (2002). Effects of land cover conversion on surface climate. *Climatic Change*, 52(1–2), 29–64. <https://doi.org/10.1023/A:1013051420309>  
BPS. (2021). Badan Pusat Statistik Kota Semarang Dalam Angka 2021. *BPS Kota Semarang*, 5.  
Febianti, V., Sasmito, B., & Bashit, N. (2022). Jurnal Geodesi Undip Oktober 2022 ( Studi Kasus : Kota Semarang ). *Jurnal Geodesi Undip*, 11(2), 1–10.  
Fikri, A. S., Setiawan, F., Violando, W. A., Muttaqin, A. D., & Rahmawan, F. (2021). Analisis Penutupan Lahan menggunakan Google Earth Engine (GEE) dengan Metode Klasifikasi Terbimbing (Studi kasus: Wilayah Pesisir Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur). *Prosiding FIT ISI*, 1, 89–99. <http://eprints.itn.ac.id/1418/>  
Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., ... Chen, J. (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), 2607–2654. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>  
Hansen, M. C., Defries, R. S., Townshend, J. R. G., & Sohlberg, R. (2010). Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. In *International Journal of Remote Sensing* (Issue July 2012).  
Jia, K. (2014). *Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager*. November. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.894586>  
Jia, K., Wei, X., Gu, X., Yao, Y., Xie, X., & Li, B. (2014). Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. *Geocarto International*, 29(8), 941–951. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.894586>  
Jung, M., Henkel, K., Herold, M., & Churkina, G. (2006). Exploiting synergies of global land cover products

- for carbon cycle modeling. *Remote Sensing of Environment*, 101(4), 534–553. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.020>
- Liu, J. Y., Zhuang, D. F., Luo, D., & Xiao, X. (2003). Land-cover classification of China: Integrated analysis of AVHRR imagery and geophysical data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(12), 2485–2500. <https://doi.org/10.1080/01431160110115582>
- Miller, S. N., Phillip Guertin, D., & Goodrich, D. C. (2007). Hydrologic modeling uncertainty resulting from land cover misclassification. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(4), 1065–1075. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00088.x>
- Mubarok, R., Septiarani, B., Yesiana, R., & Pangi, P. (2021). Pengaruh Tutupan Lahan Terhadap Fenomena Urban Heat Island Di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 15(1), 56–63. <https://doi.org/10.35475/riptek.v15i1.120>
- Nawangwulan, N. H., Sudarsono MS, B., & Sasmito, B. (2013). ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN LAHAN PERTANIAN TERHADAP HASIL PRODUKSI TANAMAN PANGAN DI KABUPATEN PATI TAHUN 2001-2011. 2(April), 127–140.
- Running, S. W. (2008). Ecosystem Disturbance, Carbon, and Climate. *Labour's Lost Leader*, 321(August), 652–654. <https://doi.org/10.5040/9780755621101.0007>
- Simonetti, D., Simonetti, E., Szantoi, Z., Lupi, A., & Eva, H. D. (2015). First Results from the Phenology-Based Synthesis Classifier Using Landsat 8 Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(7), 1496–1500. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2015.2409982>
- Skole, D., & Tucker, C. (1993). Tropical deforestation and habitat fragmentation in the amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260(5116), 1905–1910. <https://doi.org/10.1126/science.260.5116.1905>
- Thenkabail, P. S., Biradar, C. M., Noojipady, P., Dheeravath, V., Li, Y., Velpuri, M., Gumma, M., Gangalakunta, O. R. P., Turrall, H., Cai, X., Vithanage, J., Schull, M. A., & Dutta, R. (2009). Global irrigated area map (GIAM), derived from remote sensing, for the end of the last millennium. *International Journal of Remote Sensing*, 30(14), 3679–3733. <https://doi.org/10.1080/01431160802698919>
- U.S. Geological Survey. (2010). *Thousands of Landsat scenes in Google's Earth Engine*. <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/december-5-2010-thousands-landsat-scenes-googles-earth-engine>
- Ying, Q., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Wang, L., Stehman, S. V., Moore, R., & Hancher, M. (2017). Global bare ground gain from 2000 to 2012 using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 194, 161–176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.022>
- Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Ozalas, K., & Allen, J. S. (2019). *Geospatial analysis of flooding from hurricane Florence in the coastal South Carolina using Google Earth Engine*. 4–5.

