

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima : 16-02-2021

Disetujui : 23-02-2021

GEOGRAFI

KLASIFIKASI LANDSAT 8 OLI UNTUK TUTUPAN LAHAN DI KOTA PALEMBANG MENGGUNAKAN GOOGLE EARTH ENGINE**Tika Christy Novianti¹**¹ Universitas Indo Global Mandiri (Program Studi Survey dan Pemetaan, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri)(✉) *tika.christy@uigm.ac.id**ABSTRACT**

Land cover information can be obtained using remote sensing technology which can provide spatial information on the earth's surface quickly and precisely, one of the methods used is supervised classification. The rapid development of technology has an impact on satellite image processing methods, one of which is the Google Earth Engine (GEE). This cloud computing-based platform allows users to process satellite images that can be accessed online and free. The conventional method that is commonly used in land cover classification takes a long time because the process of downloading satellite image data must be carried out and continued with data processing using satellite image processing software, otherwise, a computer that has high performance is required so that the image processing process can run smoothly. GEE provides convenience because processing can be done anywhere and anytime without being limited by hardware specifications which often become obstacles in conventional satellite image processing. This study aims to classify land cover using the cloud computation method found in GEE. The level of confidence in the results of the land cover classification was tested using the confusion matrix. The result of the accuracy shows that the overall accuracy level is 96.458% and the kappa accuracy is 93.851%. The classification results show that image processing based on GEE cloud computing can produce a good land cover classification.

Keywords : Land Cover Classification ; Cloud Computation ; Google Earth Engine.

ABSTRAK

Informasi tutupan lahan dapat diperoleh menggunakan teknologi penginderaan jauh yang dapat memberikan informasi spasial yang terdapat di permukaan bumi secara cepat dan tepat, salah satu metode yang digunakan yaitu dengan klasifikasi *supervised*. Perkembangan teknologi yang pesat berdampak juga pada metode pengolahan citra satelit, salah satunya adalah Google Earth Engine (GEE). Platform berbasis komputasi awan (*cloud computation*) ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pengolahan citra satelit yang dapat diakses secara daring dan gratis. Metode konvensional yang biasa digunakan dalam melakukan klasifikasi tutupan lahan membutuhkan waktu yang cukup lama karena harus dilakukan proses unduh data citra satelit dan dilanjutkan pengolahan data menggunakan software pengolahan citra satelit, selain itu dibutuhkan komputer yang memiliki performa yang tinggi agar proses pengolahan citra dapat berjalan dengan lancar. GEE memberikan kemudahan karena pengolahan dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja tanpa dibatasi oleh spesifikasi perangkat keras yang sering menjadi kendala dalam melakukan pengolahan citra satelit secara konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan dengan metode komputasi awan (*cloud computation*) yang terdapat pada GEE. Tingkat kepercayaan hasil klasifikasi tutupan lahan di uji dengan menggunakan uji akurasi matrik konfusi. Hasil uji akurasi menunjukkan tingkat *overall accuracy* sebesar 96,458% dan *kappa accuracy* sebesar 93,851%. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa pengolahan citra berbasis komputasi awan GEE dapat menghasilkan klasifikasi tutupan lahan yang baik.

Kata Kunci: Klasifikasi Tutupan Lahan ; Komputasi Awan; Google Earth Engine.

PENDAHULUAN

Tutupan lahan dapat menggambarkan sebuah kondisi secara sosial dan alami dari suatu wilayah, sehingga dapat menyediakan informasi yang penting untuk dapat memahami berbagai macam fenomena yang ada di permukaan bumi (Liang, 2008 dalam Jia, 2014). Tutupan lahan juga memiliki peran penting dalam berbagai hal seperti studi perubahan iklim yang digunakan untuk memahami hubungan yang kompleks antara aktivitas manusia dan perubahan yang terjadi di bumi secara global (Running, 2008 ; Gong et al., 2013).

Salah satu metode dalam penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi terkait tutupan lahan yaitu dengan menggunakan metode klasifikasi (H A Zurqani et al., 2019) Teknologi penginderaan jauh telah banyak digunakan untuk memberikan informasi spasial yang beragam di permukaan bumi dengan cepat, tepat, luas, dan mudah, salah satunya digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan. (Hansen et al., 2010 ; Liu et al., 2003 ; Thenkabail et al., 2009 ; Gong et al., 2013). Klasifikasi tutupan lahan dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dapat dimanfaatkan dalam berbagai sektor seperti pengelolaan sumber daya alam, perencanaan kota, pertanian, dan manajemen lingkungan. (Mathieu et al., 2007 ; Ozdarici-ok et al., 2015 ; Zhang & Kovacs, 2012 ; Ardila et al., 2011 ; Fauvel et al., 2013) Studi terkait tutupan lahan sangat penting di beberapa aspek seperti untuk perencanaan wilayah dan manajemen dalam pemanfaatan sumber daya alam (Asselman & Middelkoop, 1995).

Metode konvensional seperti klasifikasi berbasis piksel yang biasa digunakan dalam melakukan klasifikasi tutupan lahan membutuhkan waktu yang cukup lama karena harus dilakukan proses unduh data citra satelit dan dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan software pengolahan citra satelit, selain itu dibutuhkan komputer yang memiliki performa yang tinggi agar proses pengolahan citra dapat berjalan dengan lancar. (Skole & Tucker, 1993 ; Vittek et al., 2013 ; Huang et al., 2017). Hal ini tentu membutuhkan biaya yang cukup besar dan memakan waktu yang lama, khususnya ketika analisis dilakukan secara

time series pada wilayah penelitian yang luas (H A Zurqani et al., 2019)

Pada tanggal 2 Desember 2010, Google meluncurkan sebuah teknologi yang dinamakan Google Earth Engine (GEE) (U.S. Geological Survey, 2010). GEE merupakan *platform* pengolahan citra satelit berbasis komputasi awan (*cloud computation*). *Platform* analisis geospasial ini menyediakan data citra satelit yang dapat diakses secara *online* dan gratis, sehingga para pengguna dapat melakukan berbagai macam analisis di permukaan bumi secara *real time* (Hamdi A. Zurqani et al., 2018 ; H A Zurqani et al., 2019). GEE memungkinkan pengguna untuk melakukan pengolahan citra satelit ter-georeferensi yang tersimpan pada arsip (*cloud*) GEE dengan membangun suatu algoritma untuk menjalankannya (H A Zurqani et al., 2019).

Data geospasial seperti citra satelit dapat digunakan secara luas di dalam platform GEE antara lain citra Landsat *collection*, citra Sentinel-1 dan Sentinel-2, MODIS, dll. Platform GEE juga menyediakan data cuaca dan geofisis serta data Enhanced Vegetation Index (EVI) dan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Kumar & Mutanga, 2018) yang mana dapat langsung digunakan. Terdapat 2 versi bahasa yang dapat digunakan di GEE, yaitu Javascript dan Python.

Kedua bahasa pemrograman tersebut disediakan oleh GEE sebagai *tools* untuk pengguna menggunakan dan mengeksekusi di *platform webpage* GEE. *Code* Javascript dapat digunakan pada laman berikut ini : (<http://code.earthengine.google.com/>) , sedangkan *code* Python dapat digunakan secara *offline* pada laman berikut (http://developers.google.com/earth-engine/python_install_manual/) (Li et al., 2019 ; Teluguntla et al., 2018). GEE memiliki berbagai macam algoritma yang terdapat di dalam *code editor*. Setiap algoritma memiliki kegunaan dan fungsi masing-masing. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan algoritma yang terdapat di dalam *code editor* GEE (Tamiminia et al., 2020).

Studi terkait pemanfaatan GEE dalam pengolahan citra satelit dengan menggunakan metode *supervised* dan *unsupervised* untuk monitoring tutupan lahan telah banyak tercatat.

Simonetti et al., (2015) melakukan penelitian terkait monitoring perubahan tutupan lahan di Africa. Kelas tutupan lahan pada penelitian tersebut terbagi menjadi lahan terbuka, air, lahan terbangun, dan vegetasi. Monitoring tutupan lahan juga dilakukan oleh Ying et al., (2017) dengan menggunakan citra satelit Landsat. Studi penelitian menggunakan wilayah dalam skala area yang kecil hingga ke skala global dengan rentang waktu penelitian selama 12 tahun.

Pemetaan tutupan lahan dengan menggunakan data citra satelit Landsat juga telah banyak dilakukan. Karakteristik citra satelit Landsat dari segi resolusi spasial, spektral dan

temporal memberikan banyak keuntungan bagi peneliti dalam melakukan berbagai macam analisis dimana jika dibandingkan dengan citra satelit lain yang membutuhkan informasi tambahan untuk melakukan pengolahan citra (Eberle et al., 2016 dalam Wang et al., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan menggunakan prangkat lunak pengolahan citra berbasis *cloud* yaitu GEE dengan wilayah penelitian berada di Kota Palembang. Citra satelit yang digunakan adalah citra satelit Landsat 8 TOA tahun perekaman 2020.

Tabel 1. Algoritma dan Fungsi GEE

Algoritma	Fungsi	Algoritma	Fungsi
Machine Learning	Supervised Classification	Reducer	Image collection reductions
	Unsupervised Classification		Image reductions
	Tensor Flow		Statistics of an image region
Image	Image Visualization		Statistics of image neighborhoods
	RGB Composites		Statistics of feature collection columns
	Color Plates		Raster to vector conversion
	Masking		Vector to raster conversion
	Mosaicking		Grouped reductions and zonal statistics
	Clipping		Linear Regression
	Rendering Categorical Maps	Charts	Time-series charts
	Thumbnail Images		Histograms
	Operations (Mathematical, boolean, morphological, convolutions, relational, conditional)		Image Regions Charts
	Edge Detection		Time series in image regions
	Teture		Day-of-year-Charts
	Spatial Transformation		Charts by image classes
	Object-based Methods	Image Collection	Filtering
	Registration		Mapping

Geometry, Feature, Feature Collection	Filtering	Reducing
	Mapping	Composing and Mosaicking
	Reducing	Iterating over an image collection
	Vector to Raster Interpolation	
Specialized Algorithm	Landsat algorithms	
	Sentinel-1 algorithms	
	Resampling and Reducing Resolution	

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan pada penelitian ini berada di wilayah Kota Palembang. Kota Palembang terletak pada 2°52' - 3°5' Lintang Selatan dan 104°37' - 104°52' Bujur Timur dengan luas wilayah 400,61 Km² (BPS, 2020). Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini.

2. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Landsat 8 tahun 2020. Citra landsat tersebut memiliki path 124 dan row 062, serta batas administrasi Kota Palembang. Alat yang digunakan meliputi 1 buah PC yang terhubung dengan koneksi internet.

3. Tahap *Pre-Processing*

Citra satelit yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan sebaiknya memiliki tutupan awan kurang dari 20%. Beberapa metode untuk meminimalisir tutupan awan pada citra Landsat dapat dilakukan di GEE. Metode pertama dapat dilakukan dengan menggunakan filter *cloud cover*, dengan menerapkan filter tersebut pengguna dapat memilih citra Landsat pada rentang waktu tertentu dengan tutupan awan yang diinginkan. Kelemahan metode tersebut, citra tidak bisa benar-benar bersih dari tutupan awan, filter *cloud cover* hanya membantu dalam memilih citra satelit yang memiliki tutupan awan paling sedikit.

Metode kedua dengan menggunakan filter *masking*. Filter *masking* digunakan dengan cara menggabungkan beberapa citra satelit yang terdapat pada beberapa periode perekaman citra satelit hingga diperoleh citra dengan lapisan yang lebih jernih dan bersih yang disebut dengan *masking*.

Proses *masking* dilakukan dengan menggantikan pixel citra yang tertutup awan dengan pixel pada citra lain yang tidak tertutup awan dengan bantuan band BQA yang terdapat pada citra satelit Landsat 8. Koreksi tutupan awan yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan filter *masking*. Selain menggunakan filter *masking* untuk koreksi tutupan awan, dilakukan juga penggunaan fungsi “*filter date*” pada GEE untuk memilih citra yang berada pada rentang waktu tertentu, sehingga dapat diperoleh citra terbaik di dalam kurun waktu yang diinginkan. Rentang waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2020-01-01 sampai 2020-12-31. Gambar 2 diatas menunjukkan hasil setelah dilakukan *pre-processing* dengan tampilan *false color* dengan komposit band 654.

4. Klasifikasi Supervised

Penelitian ini menggunakan metode klasifikasi supervised atau terbimbing dengan algoritma *Classification and Regression Trees* (CART). Algoritma CART merupakan algoritma *Machine Learning* (MLA) yang dapat digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan. Klasifikasi supervised melibatkan interaksi analisis secara intensif, dimana dilakukan proses identifikasi objek pada citra (*training area*). Pengambilan setiap sampel perlu dilakukan dengan mempertimbangkan pola spektral pada setiap panjang gelombang tertentu, sehingga diperoleh daerah acuan yang baik untuk mewakili suatu objek tertentu (Danoedoro, 1996).

Klasifikasi supervised di mulai dengan membuat training area berdasarkan kelas tutupan lahan yang mengacu kepada USGS, kemudian dilanjutkan dengan proses klasifikasi dengan algoritma CART. Kelas tutupan lahan yang digunakan terbagi menjadi 6 kelas. Setiap kelas dilambangkan dengan bilangan integer sesuai dengan proses klasifikasi di GEE dan diawali

dengan nilai 0. Pembagian kelas tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Kelas Tutupan Lahan

No	Kelas Tutupan Lahan	Nilai
1	Vegetasi	0
2	Lahan Terbangun	1
3	Lahan Terbuka	2
4	Badan Air	3
5	Semak/Tegalan	4

5. Uji Akurasi

Uji akurasi hasil klasifikasi dilakukan untuk melihat tingkat ketelitian yang dihasilkan dari klasifikasi tutupan lahan menggunakan GEE. Hasil klasifikasi citra dapat dilihat tingkat kepercayaannya dengan menggunakan matrik konfusi atau *error matrix* (matrik kesalahan). Matrik kesalahan dihitung dengan membandingkan antar basis kategori, hubungan antara data referensi yang diketahui (*ground truth*) dan hasil klasifikasi otomatis. Dengan demikian matriks berbentuk *square* dengan angka pada baris dan kolom sama dengan angka pada kategori tingkat akurasi klasifikasi yang akan dinilai. Klasifikasi citra dianggap benar jika hasil perhitungan matrik konfusi konfusi $\geq 80\%$ (Short, 1982 dalam Nawangwulan et al., 2013). Perhitungan matrik konfusi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Matrik Konfusi

Kelas Referensi	Dikelaskan ke Kelas (Data Klasifikasi di Peta)			Jumlah Pixel	Akurasi Pembuat
	A	B	C		
A	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{1+}	X_{11}/X_{1+}
B	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{2+}	X_{22}/X_{2+}
C	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{3+}	X_{33}/X_{3+}
Total Pixel	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	N	
Akurasi Pengguna	X_{11}/X_{+1}	X_{22}/X_{+2}	X_{33}/X_{+3}		

Sumber : (Arison dang et al., 2015)

Overall Accuracy :

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

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 : Banyaknya piksel dalam contoh
- X1+ : Jumlah piksel dalam baris ke-i
- X+1 : Jumlah piksel dalam kolom ke-i
- Xii : Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

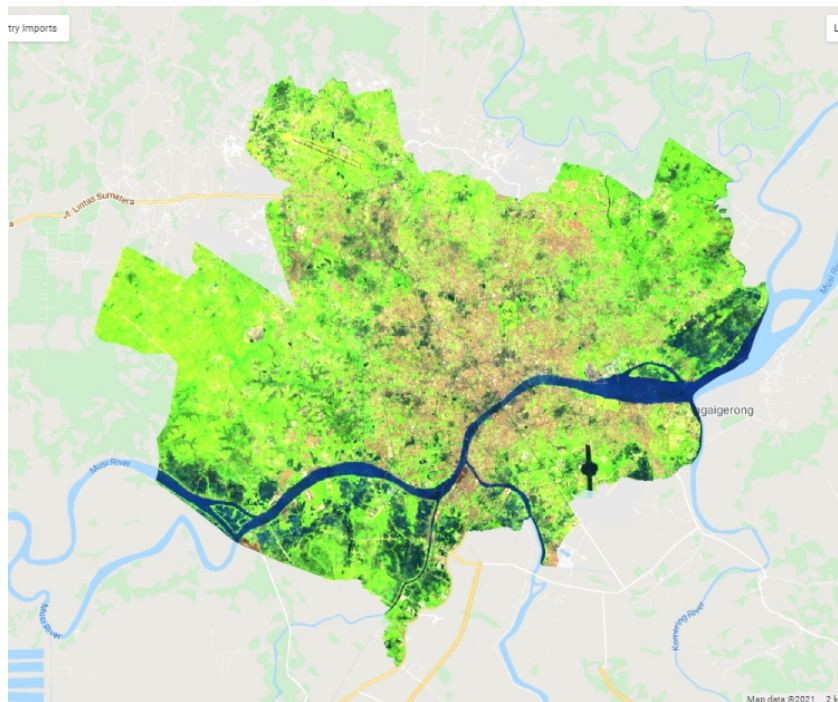
6. Export Data

Hasil dari klasifikasi tutupan lahan dapat di *export* untuk dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan software pengolahan GIS. Data yang diolah di GEE dapat di *export* dalam berbagai format data seperti *image*, *table*, *map* dan *video*. Data yang di *export* dapat disimpan langsung di dalam *drive* penyimpanan google pengguna ataupun *cloud storage* sesuai dengan yang diinginkan.

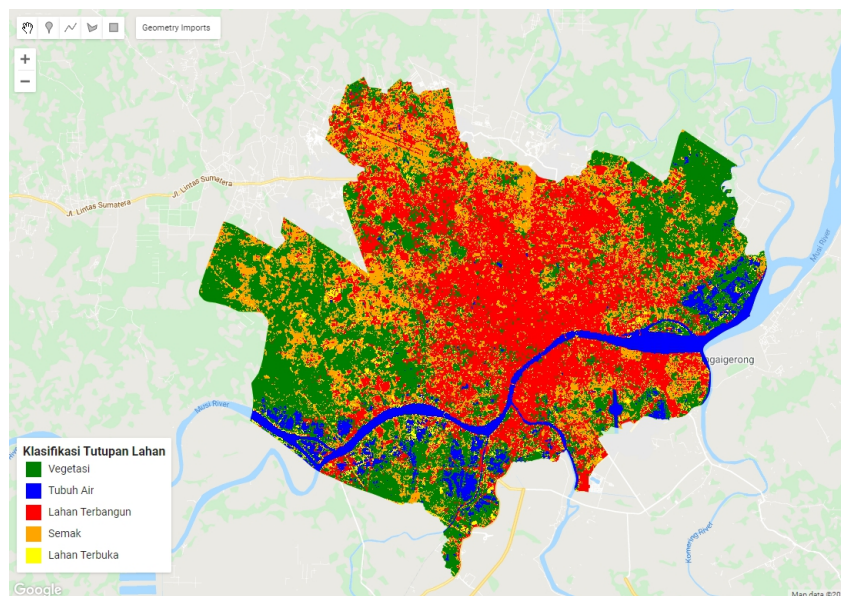
HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi tutupan lahan dimulai dengan koreksi tutupan awan yang terdapat pada citra Landsat 8 menggunakan filter *masking*, dilanjutkan dengan proses *filter date* dan *cropping* wilayah sesuai dengan batas administrasi Kota Palembang. Proses *masking* dilakukan dengan menggunakan band BQA yang memiliki informasi data awan yang terdapat pada Landsat 8. Gambar 3 menunjukkan hasil *pre-processing* yang telah dilakukan di GEE dan ditampilkan menggunakan komposit band 654.

Proses dilanjutkan dengan klasifikasi *supervised* dengan menggunakan algoritma CART. Klasifikasi dimulai dengan melakukan pengambilan *training area* berdasarkan kelas tutupan lahan kemudian dilanjutkan klasifikasi dengan menggunakan algoritma CART. Hasil dari klasifikasi tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Citra Landsat Tahun 2020 Komposit 654 (Analisis, 2020)



Gambar 4. Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2020 (Analisis, 2020)

Hasil klasifikasi tutupan lahan pada Gambar 4 menunjukkan terdapat 5 kelas tutupan lahan yang terklasifikasi. Uji akurasi dilakukan dengan mengambil sample pada setiap kelas tutupan lahan dengan sampel untuk setiap kelas berjumlah 10 sampel. Hasil dari uji akurasi menunjukkan sampel di nomor 2 untuk kelas lahan terbuka memiliki uji akurasi yang paling rendah karena banyaknya kelas lahan terbuka yang masuk ke kelas lain. Sedangkan uji akurasi tertinggi ditunjukkan di nomor 3 untuk kelas badan air karena sedikitnya sampel yang masuk ke dalam kelas lain. Hasil perhitungan matrik konfusi yang dilakukan di GEE menunjukkan nilai *overall accuracy* sebesar 0,96458 atau 96,458% dan nilai *kappa accuracy* sebesar 0,93851 atau 93,851%. Hasil Perhitungan matrik konfusi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Akurasi Matrik Konfusi

		<i>SAMPLE</i>				
		0	1	2	3	4
<i>CLASS IMAGE</i>	0	98	0	1	0	2
	1	0	112	3	0	0
	2	1	8	3	0	0
	3	0	1	0	354	0
	4	5	0	0	0	5
<i>Overall Accuracy</i>		0,96458				

Kappa Accuracy

0,93851

(Sumber : Analisis, 2020)

Berdasarkan hasil perhitungan matrik konfusi pada Tabel 3 di atas, dapat dilihat bahwa klasifikasi tutupan lahan dengan metode CART menggunakan GEE dapat menghasilkan hasil yang sangat baik karena memiliki nilai akurasi diatas 80% untuk *overall accuracy* dan *kappa accuracy*. Luas tutupan lahan Kota Palembang juga dapat dihitung dengan menggunakan GEE dimana luas dihitung berdasarkan kelas tutupan lahan yang ada. Adapun luas yang diperoleh untuk setiap kelas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Luas wilayah tutupan lahan

Kelas	Keterangan	Luas (km²)
0	Vegetasi	189,76
1	Lahan Terbangun	103,81
2	Lahan Terbuka	44,71
3	Badan Air	22,14
4	Semak/Tegalan	6,69

(Sumber : Analisis, 2020)

Hasil dari klasifikasi tutupan lahan selanjutnya di *export* ke dalam *google drive* pengguna untuk dapat dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan software GIS. Hasil klasifikasi yang di *export* akan memiliki tipe data

raster, untuk dapat melakukan analisis lebih lanjut dapat dilakukan konversi menjadi data *vector* atau dapat langsung dilakukan konversi menjadi data *vector* melalui GEE.

KESIMPULAN

Hasil klasifikasi tutupan lahan dengan menggunakan GEE dapat memberikan akurasi yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *overall accuracy* sebesar 96,458% dan nilai *kappa accuracy* sebesar 93,851%. Hal ini menunjukkan GEE dapat digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan. GEE juga memudahkan pengguna dalam melakukan analisis geospasial tanpa harus terkendala dengan masalah perangkat keras, serta GEE dapat digunakan kapan saja dan dimana saja tanpa batasan. Hasil dari pengolahan klasifikasi tutupan lahan dengan metode *cloud computation* dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan lanjut dalam monitoring tutupan lahan atau melihat pola perubahan tutupan lahan di suatu wilayah tertentu. Kelemahan dari penelitian ini yaitu klasifikasi tutupan lahan hanya dilakukan pada satu waktu penelitian saja sehingga tidak dapat melihat perubahan lahan yang terjadi dari tahun ke tahun. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat dilakukan klasifikasi tutupan lahan secara *time series* sehingga dapat memberikan gambaran terhadap perubahan lahan yang terjadi dari waktu ke waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardila, J. P., Tolpekin, V. A., Bijker, W., & Stein, A. (2011). Markov-random-field-based super-resolution mapping for identification of urban trees in VHR images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(6), 762–775. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.08.002>
- Arison dang, V., Sudarsono, B., & Prasetyo, Y. (2015). *Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Segmentasi Berbasis Algoritma Multiresolusi*. 4, 9–19.
- Asselman, N. E. M., & Middelkoop, H. (1995). Earth Surface Processes a N D Landforms Floodplain Sedimentation: Quantities, Patterns and Processes. *Earth Surface Processes a N D Landforms*, 20(1 995), 481–499.
- BPS. (2020). *Kota Palembang Dalam Angka*. 1–27.
- Danoedoro, P. (1996). *Pengolahan Citra Digital*. Universitas Gadjah Mada.
- Fauvel, B. M., Tarabalka, Y., & Ieee, M. (2013). *Advances in Spectral – Spatial Classification of Hyperspectral Images*. 101(3).
- 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).
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., Zheng, Y., & Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.021>
- 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>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Li, H., Wan, W., Fang, Y., Zhu, S., Chen, X., Liu, B., & Hong, Y. (2019). A Google Earth Engine-enabled software for efficiently generating high-quality user-ready Landsat mosaic images. *Environmental Modelling and Software*, 112(November 2018), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.004>
- 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>
- Mathieu, R., Freeman, C., & Aryal, J. (2007). Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.11.009>
- 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.
- Ozdarici-ok, A., Ok, A. O., & Schindler, K. (2015). Mapping of Agricultural Crops from Single High-Resolution Multispectral Images—Data-Driven Smoothing vs. Parcel-Based Smoothing. 5611–5638. <https://doi.org/10.3390/rs70505611>
- 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>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164(January), 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Teluguntla, P., Thenkabail, P., Oliphant, A., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., Yadav, K., & Huete, A. (2018). A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144(February), 325–340. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.017>
- 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>
- Vittek, M., Brink, A., Donnay, F., Simonetti, D., & Desclée, B. (2013). Land cover change monitoring using landsat MSS/TM satellite image data over west Africa between 1975 and 1990. *Remote Sensing*, 6(1), 658–676. <https://doi.org/10.3390/rs6010658>
- Wang, L., Diao, C., Xian, G., Yin, D., Lu, Y., Zou, S., & Erickson, T. A. (2020). A summary of the special issue on remote sensing of land change science with Google earth engine. *Remote Sensing of Environment*, 248(April 2018). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112002>
- 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>
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture : a review*. 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- 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.

Zurqani, Hamdi A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L. (2018). Geospatial analysis of land use change in the

Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69(September 2017), 175–185. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.006>