



Ekstraksi Perubahan Tutupan Vegetasi Di Kabupaten Gorontalo Menggunakan *Google Earth Engine*

Rakhmat Jaya Lahay¹ , Syahrizal Koem¹ 

¹ *Jurusan Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Universitas Negeri Gorontalo, Jalan B.J Habibie, 96183, Bone Bolango Gorontalo, Indonesia*

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 20 November 2021

Accepted: 21 December 2021

Published: 30 December 2021

Keywords:

Earth Engine; MODIS; NDVI; Vegetation

Corresponding author:

Rakhmat Jaya Lahay

Email: rjlahay@ung.ac.id

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

ABSTRACT

Monitoring changes in vegetation cover is important for the restoration of ecosystems in the Gorontalo Regency area. The utilization of remote sensing technology makes it possible to detect the dynamics of changes in vegetation cover spatially and temporally. The Terra MODIS satellite image collection in the study area is available in large numbers and sizes. Therefore, cloud computing-based spatial technology support is needed. Google Earth Engine (GEE) as a geospatial computing device is an alternative to cover this shortfall. The aim of this study is to explore the condition of vegetation cover spatially and temporally using the GEE platform. A total of 43 MODIS images in the study area, recording periods 2000 and 2020, were used to quickly and effectively generate vegetation cover maps. The process of downloading, processing, and analyzing data was automated through the GEE interface. The results of the mapping in 2000 and 2020 are shown by maps of vegetation cover in two classes, namely; vegetation and non-vegetation. The accuracy of the vegetation cover map shows good results, namely an overall accuracy of 0.81 for 2000 and 0.85 for 2020. The area of the non-vegetation class increased by 2815.29 ha, and the vegetation class decreased by 2767.31 ha. The map of spatial changes in vegetation cover in the study area is classified into three classes, namely revegetation, devegetation, and unchanged. Based on these results, the extraction of vegetation cover changes in the study area using the GEE platform can be carried out well.

How to cite: Lahay, R. J., & Koem, S. (2022). Ekstraksi Perubahan Tutupan Vegetasi Di Kabupaten Gorontalo Menggunakan Google Earth Engine. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 11-21. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12086>

1. PENDAHULUAN

Vegetasi merupakan bagian ekosistem global yang merupakan unsur penting untuk mendukung kelangsungan hidup di bumi. Perubahan lingkungan ekologis suatu wilayah dapat dikaitkan dengan kondisi tutupan vegetasi (Yuan et al., 2019). Tutupan vegetasi juga memberikan pengaruh yang besar pada keseimbangan siklus air dan biomasa (Kucharik et al., 2000). Selain itu, perubahan tutupan vegetasi dapat menyebabkan perubahan siklus karbon melalui proses fotosintesis (Jackson et al., 2008; Schimel et al., 2000). Vegetasi juga menjadi salah satu indikator untuk mengidentifikasi fenomena kekeringan di suatu wilayah (NASA, 2000; Roustia et al., 2020). Oleh karena itu, kajian mengenai perubahan tutupan vegetasi sangat penting untuk mengevaluasi kondisi hidrologi dan ekologi di wilayah Kabupaten Gorontalo.

Pemetaan perubahan tutupan vegetasi dapat diketahui melalui implementasi metode indeks vegetasi pada data penginderaan jauh. Terdapat sejumlah penelitian yang telah dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan tutupan vegetasi melalui pemanfaatan data citra satelit (Adiningsih, 2014; Klisch & Atzberger, 2016; Semerádová et al., 2013; Usman et al., 2015; Zaitunah &

Sahara, 2021). Keterbatasan pada studi-studi tersebut adalah pada penggunaan data penginderaan jauh dengan periode waktu yang pendek dan jumlah citra sedikit (Nguyen et al., 2019). Selain itu, prosedur pengolahan data dilakukan secara konvensional meskipun dengan bantuan perangkat lunak komputer (Wang et al., 2020). Sebagai alternatif untuk mengatasi keterbatasan ini adalah dengan menggunakan teknologi komputasi awan yang dikenal dengan *Google Earth Engine* (GEE) (Kumar and Mutanga 2018).

Penelitian ini bermaksud melengkapi studi-studi sebelumnya (Ayuba et al., 2018; H. Umar, 2012; Koem & Rusiyah, 2017; Lahay & Koem, 2021; Trisakti, 2009; Umar et al., 2018). Argumen yang melandasi penelitian ini adalah satelit penginderaan jauh (Terra) telah merekam perubahan vegetasi di seluruh permukaan bumi, setiap satu sampai dua hari (NASA, 2021), termasuk wilayah Kabupaten Gorontalo. Data citra Terra MODIS hasil perekaman ini tersedia dalam periode waktu yang panjang dan ukuran data yang besar. Proses pengolahan data secara konvensional (unduh, simpan, olah) tentunya akan membutuhkan waktu yang lama. Otomatisasi proses penyediaan, penyimpanan dan pengolahan dapat dilakukan dengan menggunakan *platform* GEE. Kemampuan ini dimiliki oleh GEE (Luo, Song, Liu, Ke, & Ma, 2019), sebagai *platform* yang memiliki kinerja komputasi tinggi untuk mengolah dan menganalisis data geospasial yang berukuran besar (Kumar & Mutanga, 2018). Teknologi ini juga memiliki lingkungan antarmuka, memungkinkan pengguna untuk mengakses data penginderaan jauh yang tersimpan dalam basis data GEE tanpa mengunduhnya (Gorelick et al., 2017). Pemanfaatan teknologi ini untuk aplikasi yang berkaitan dengan pemantauan perubahan sumber daya lahan dan air masih sangat terbatas dan masih menjadi peluang penelitian kedepan (Tamiminia et al., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi perubahan tutupan vegetasi yang terjadi di Kabupaten Gorontalo dalam kurun waktu 21 tahun. Identifikasi perubahan tutupan vegetasi dilakukan dengan menerapkan metode indeks vegetasi pada data MODIS Tahun 2000 dan 2020 di wilayah kajian. Kurun waktu data disesuaikan dengan ketersediaan data MODIS pada basis data GEE. Salah satu alasan pemilihan data ini adalah data MODIS banyak digunakan dalam penelitian Tamiminia et al., (2020). Implementasi metode dilakukan dalam sejumlah prosedur pengolahan data, berupa penyediaan, pengolahan dan analisis data. Otomatisasi prosedur dikembangkan melalui antarmuka GEE, untuk menghasilkan peta sebaran tutupan vegetasi dan peta perubahan tutupan vegetasi selama tahun pengamatan.

2. METODE

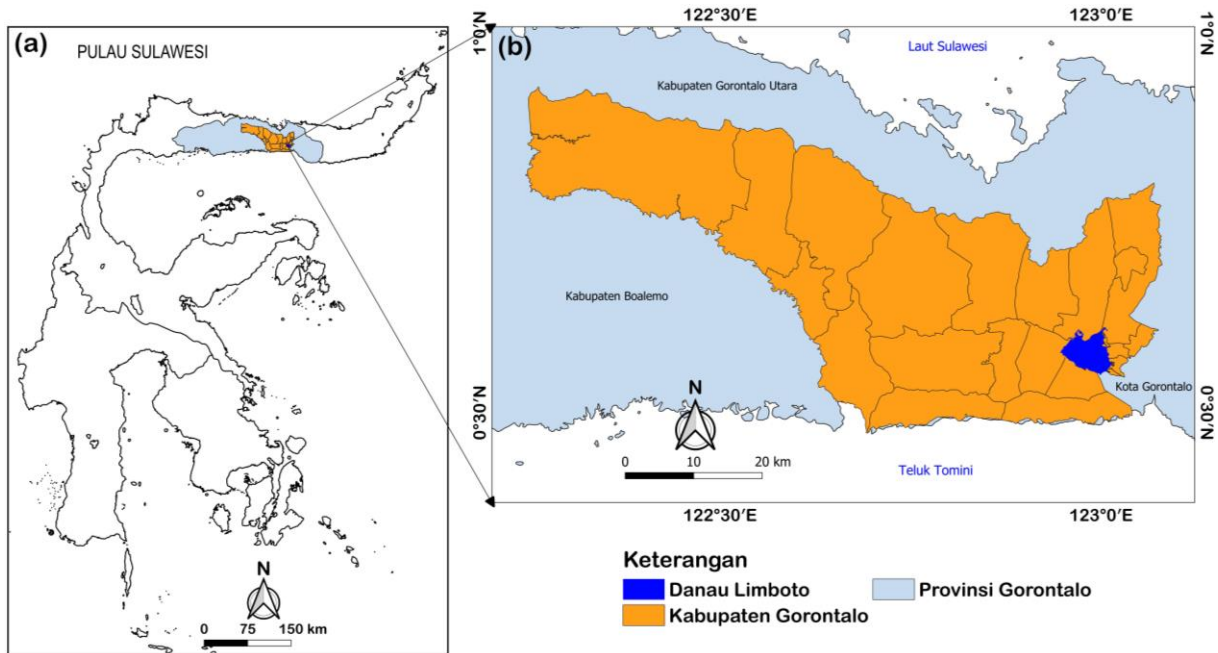
2.1. Lokasi Studi

Lokasi penelitian adalah Kabupaten Gorontalo, terletak pada koordinat 00°.24" – 10°.02" LU dan 121°.59" - 123°.32" BT (Gambar 1). Luas wilayah Kabupaten Gorontalo adalah sekitar 2125 km². Bulan Mei merupakan puncak curah hujan dan terendah pada bulan September. Suhu minimum rata-rata 23°C dan suhu maksimum rata-rata 32°C. Topografi bagian utara dan selatan didominasi oleh daerah pegunungan (Koem & Rusiyah, 2017, 2018).

2.2. Dataset Geospasial

Dataset yang digunakan dalam studi ini adalah data *Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) versi 6 untuk lapisan indeks vegetasi (MOD13Q1) (Didan, 2015). Terdapat dua jenis data indeks vegetasi pada MODIS versi ini, yaitu; jenis lapisan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Data MODIS ini adalah produk level 3 yang dihasilkan pada interval 16 hari, resolusi spasial 250 meter, cakupan wilayah perekaman 1200 km² (Didan et al., 2015). Data MODIS indeks vegetasi ini diturunkan dari data pantulan permukaan (*surface reflectance*) yang telah dikoreksi secara atmosfer (NASA, 2021). Koleksi data MOD13Q1 indeks vegetasi yang tersedia pada katalog GEE adalah perekaman tanggal 18 Februari 2000 sampai dengan sekarang (USGS, 2021).

Penelitian ini menggunakan MODIS jenis lapisan NDVI, yang diakses dari katalog data publik GEE sebagai koleksi citra (Gorelick et al., 2017). Pertimbangan memilih data citra satelit ini adalah: pertama, data MODIS tersedia secara gratis, mudah diakses, cakupan wilayahnya luas tanpa harus melakukan mosaik, dan tersedia lapisan NDVI. Kedua, data MODIS banyak digunakan dalam penelitian Tamiminia et al., (2020) seperti yang dilakukan Albarakat &

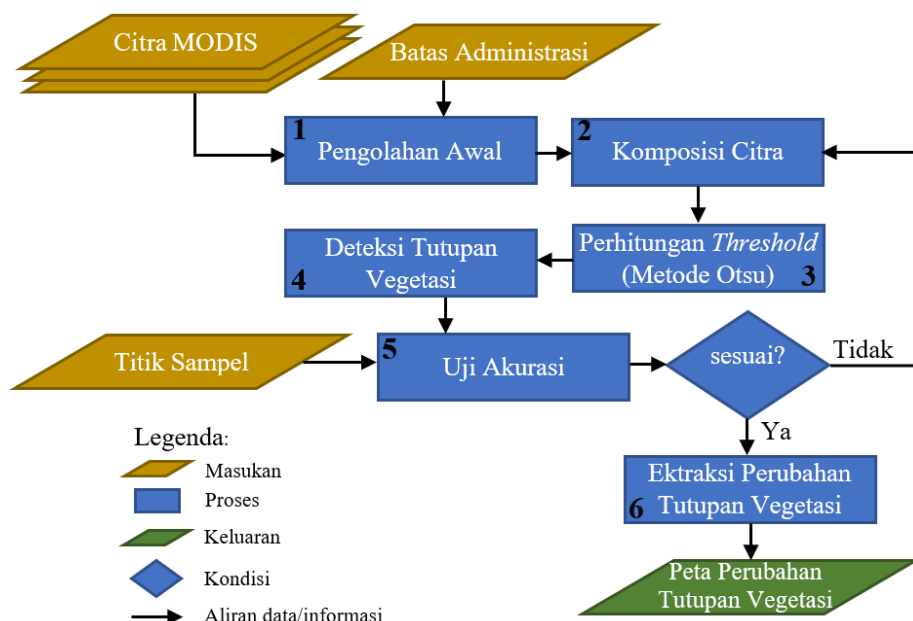


Gambar 1. Peta wilayah studi

Lakshmi, (2019) dan Zhang et al., (2020). Dataset kedua adalah batas wilayah Kabupaten Gorontalo dalam format *shapefile*, yang digunakan untuk menentukan cakupan wilayah studi.

2.3. Ekstraksi Perubahan Tutupan Vegetasi

Prosedur pengolahan data dalam ekstraksi perubahan tutupan vegetasi terdiri dari beberapa tahap (Gambar 2). Tahap pertama adalah pengolahan awal yang dilakukan dalam beberapa prosedur, yaitu; pertama adalah data batas administrasi diimpor kedalam penyimpanan di GEE, data tersebut sebagai pembatas wilayah kajian. Kedua, data MODIS jenis NDVI diakses dari katalog GEE, disaring sesuai tahun pengamatan, dan ditentukan cakupan citra berdasarkan wilayah kajian. Nilai piksel dari data MODIS berada pada range -2000 sampai 10000. Oleh karena itu, nilai ini harus diubah dengan mengalikan nilai piksel dengan faktor skala 0.0001 untuk memperoleh nilai NDVI pada rentang -1 sampai 1 (Didan et al., 2015). Keluaran dari tahapan ini adalah koleksi citra setiap tahun pengamatan dengan nilai NDVI -1 sampai 1.



Gambar 2. Prosedur pengolahan data

Tabel 1. Jenis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian

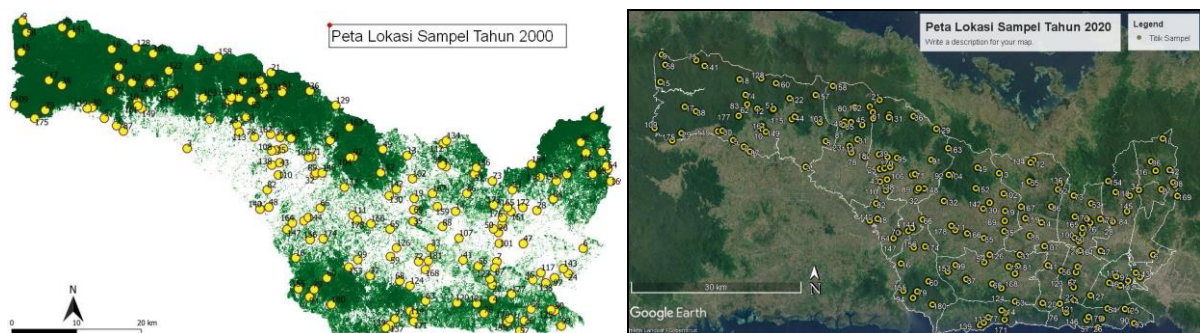
No	Jenis Data	Jumlah	Tipe Data	Sumber Data
1.	Batas administrasi wilayah Kabupaten Gorontalo	1 berkas	Vektor	Peta RBI Digital BIG
2.	MODIS jenis NDVI 250 m Tahun 2000	20 citra	Raster	(Didan, 2015)
3.	MODIS jenis NDVI 250 m Tahun 2020	23 citra	Raster	(Didan, 2015)

Tahap kedua adalah proses komposisi citra. Data MODIS yang telah ditransformasi pada tahap sebelumnya, masih tersedia dalam bentuk koleksi citra (*image collection*). Koleksi citra ini terdiri dari serangkaian pengamatan setiap 16 hari. Berdasarkan Tabel 1, terdapat 20 citra Tahun 2000 dan 23 citra untuk Tahun 2020, yang merupakan hasil penyaringan berdasarkan tahun pengamatan. Koleksi citra ini perlu dikomposisi menjadi satu citra yang mewakili masing-masing tahun pengamatan 2000 dan 2020. Proses komposisi dilakukan dengan menerapkan fungsi *quality mosaic* yang tersedia di *platform* GEE. Cara kerja dari fungsi ini adalah memilih piksel-piksel yang maksimum dari koleksi citra di setiap tahun pengamatan, untuk menghasilkan satu citra (Google Earth Engine, 2021), sebagaimana studi yang dilakukan oleh Lahay & Koem, (2021). Alasan pemilihan metode ini adalah uji coba (*trial and error*) dengan membandingkan tiga fungsi yaitu Mean, Median, dan *quality mosaic* selama proses pengolahan data. Hasil uji coba menunjukkan bahwa fungsi *quality mosaic* ini lebih baik dibanding komposisi citra menggunakan fungsi Mean dan Median. Klasifikasi tutupan vegetasi menggunakan data komposisi fungsi Mean dan Median, diperoleh kesalahan pada beberapa lokasi. Lokasi yang seharusnya hutan, terklasifikasi sebagai non vegetasi. Keluaran dari tahapan ini adalah citra tunggal hasil komposisi yang mewakili masing-masing tahun pengamatan.

Tahap ketiga adalah perhitungan nilai ambang batas yang digunakan untuk memisahkan pixel vegetasi dan non vegetasi. Nilai ambang batas diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode Otsu (Otsu, 1979). Prosedur perhitungan nilai ambang batas diadaptasi dari algoritma yang dikembangkan oleh Clinton (2017). Metode ini bekerja dengan asumsi bahwa data citra masukan memiliki sebaran bimodal. Pemisahan sebaran data ini dilakukan dengan menghitung batas nilai yang optimum dari kedua kelas (Buma et al., 2018). Nilai optimum ini, menjadi ambang batas yang digunakan pada tahap selanjutnya.

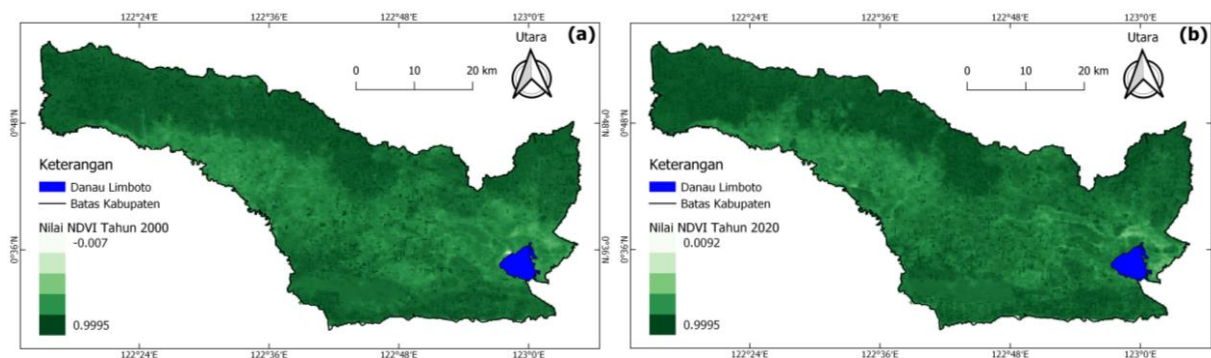
Tahap keempat adalah deteksi tutupan vegetasi. Tutupan vegetasi dibagi menjadi 2 kelas, yaitu non vegetasi dan vegetasi. Pemisahan pixel kedua kelas dilakukan berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) yang diperoleh pada tahap sebelumnya. Keluaran dari tahapan ini adalah citra tutupan vegetasi pada setiap tahun pengamatan.

Tahap kelima adalah uji akurasi hasil deteksi tutupan vegetasi. Prosedur pada tahap ini dimulai dari penentuan titik sampel. Pengambilan sampel dilakukan secara acak bertingkat (*stratified random sampling*), dengan jarak antar sampel adalah 250 m. Jarak ini disesuaikan dengan resolusi spasial data MODIS. Jumlah sampel masing-masing kelas (vegetasi dan non vegetasi)

**Gambar 3.** Lokasi pengambilan sampel uji akurasi

Tabel 2. Aturan penentuan kelas perubahan tutupan vegetasi

Kelas	<i>Subtract</i> citra 2020 - 2000
Revegetasi	1
Devegetasi	-1
Tidak berubah	0

**Gambar 4.** Citra hasil komposisi (a) Tahun 2000 dan (b) Tahun 2020

ditentukan berdasarkan pedoman teknis pengumpulan dan pengolahan data geospasial mangrove (BIG, 2014). Penyesuaian jumlah sampel dengan skala, luas, dan jumlah minimal dilakukan sebagaimana penjelasan pada pedoman tersebut. Kesepadanan skala yang dipilih untuk perhitungan jumlah sampel adalah 1:250000, dengan total sampel minimal (TSM) adalah 20. Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan *tool* AcATaMa (Llano, 2019) yang tersedia pada perangkat lunak QGIS.

Studi ini menggunakan dua data acuan untuk menilai hasil klasifikasi. Pertama adalah data *Global Forest Cover Change (GFCC) Tree Cover Multi-Year Global 30* (Townshend, 2016). Data ini digunakan untuk mengevaluasi hasil klasifikasi Tahun 2000. Kedua adalah data citra pada perangkat lunak *Google Earth Pro* digunakan untuk menilai hasil klasifikasi Tahun 2020 (Gambar 3). Keluaran dari uji akurasi adalah tabel matriks akurasi.

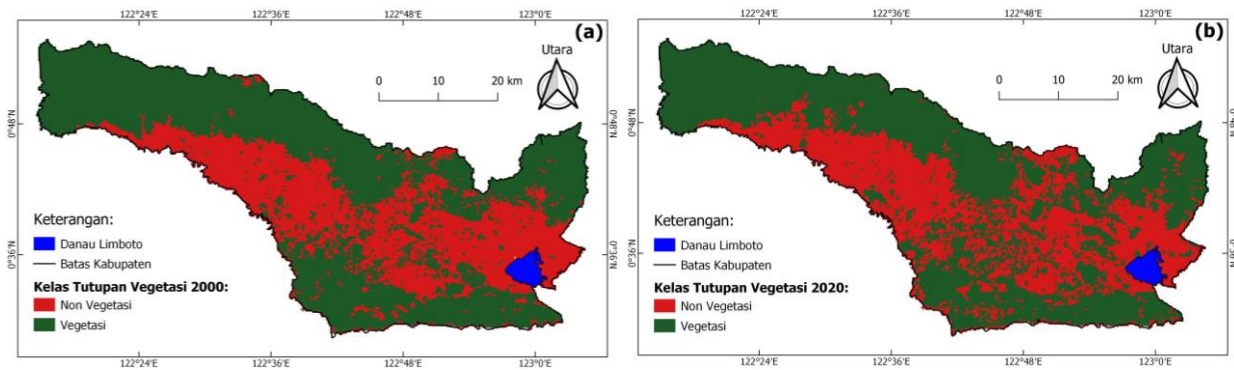
Tahap terakhir adalah ekstraksi perubahan tutupan vegetasi. Analisis spasial yang dilakukan pada prosedur ini adalah operasi matematis berupa pengurangan (*subtract*) antara citra tutupan vegetasi Tahun 2020 dan 2000. Keluaran dari analisis ini adalah peta sebaran spasial perubahan tutupan vegetasi dengan 3 kelas piksel yaitu; (1) revegetasi, (2) devegetasi, dan (3) tidak berubah. Istilah revegetasi dan devegetasi yang di maksud seperti pada penelitian Arifin & Kartika (2021). Klasifikasi nilai piksel didasarkan pada aturan seperti yang ditampilkan pada Tabel 2. Keseluruhan prosedur pengolahan data ini diimplementasikan dalam bentuk perintah-perintah dan operasi pengolahan di lingkungan antarmuka *platform* GEE.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

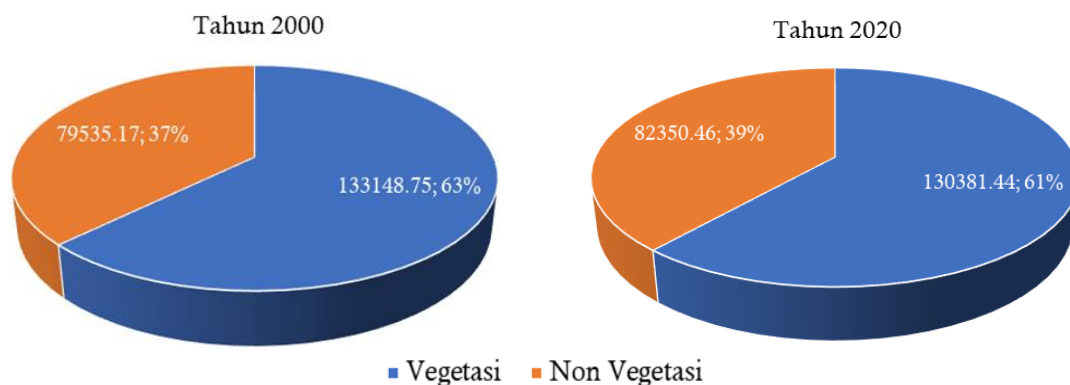
3.1. Distribusi Nilai NDVI di Kabupaten Gorontalo

Implementasi sejumlah perintah dan operasi prosedur pengolahan data di lingkungan GEE menghasilkan 43 citra MODIS di wilayah studi pada periode perekaman 2000 dan 2020. Hasil komposisi koleksi citra diperoleh citra tunggal pada setiap tahun pengamatan. Gambar 4 menunjukkan distribusi nilai NDVI di wilayah kajian. Semakin besar nilai NDVI, semakin gelap warna hijau pada peta. Sebaran hijau gelap dominan di bagian Utara wilayah studi, yang merupakan wilayah pegunungan. Warna hijau terang, tersebar di bagian tengah wilayah studi yang merupakan dataran. Sebaran nilai NDVI hasil komposisi di wilayah Kabupaten Gorontalo Tahun 2000 berada pada rentang nilai NDVI -0.007 – 0.9995. Berbeda dengan Tahun 2020, kisaran nilai NDVI adalah 0.0092 – 0.9995.

Berdasarkan klasifikasi sebaran tutupan vegetasi di wilayah kajian pada setiap tahun pengamatan, diperoleh 2 kelas; yaitu non vegetasi dan vegetasi. Hasil klasifikasi kelas tutupan vegetasi setiap tahun pengamatan, ditunjukkan pada Gambar 5a dan 5b. Berdasarkan Gambar 6,



Gambar 5. Sebaran kelas tutupan vegetasi (a) Tahun 2000 dan (b) Tahun 2020



Gambar 6. Proporsi luas (ha dan %) tutupan vegetasi setiap tahun pengamatan

proporsi kelas vegetasi adalah yang paling tinggi pada kedua tahun pengamatan, dengan luas mencapai >60% dari wilayah kajian dibandingkan dengan kelas non vegetasi. Selama periode 2000-2020 luas kelas non vegetasi meningkat sebesar 2815.29 ha, dan kelas vegetasi menurun sebesar 2767.31 ha.

3.2. Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Vegetasi

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh jumlah sampel untuk masing-masing kelas sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Jumlah keseluruhan sampel adalah 182 titik di setiap tahun pengamatan. Hasil uji akurasi klasifikasi tutupan vegetasi di setiap tahun pengamatan ditunjukkan pada Tabel 4, yang terdiri dari *Producer's Accuracy* (PA) dan *User's Accuracy* (UA). Uji akurasi dilakukan pada citra klasifikasi tutupan vegetasi untuk setiap tahun pengamatan. Hasil penilaian untuk klasifikasi Tahun 2000 menunjukkan *Overall Accuracy* 0.81 dan koefisien Kappa 0.62. Uji akurasi untuk klasifikasi Tahun 2020 diperoleh *Overall Accuracy* 0.85 dan koefisien Kappa 0.70. Berdasarkan nilai indikator pada Tabel 4, maka klasifikasi tutupan vegetasi memungkinkan untuk diterapkan pada ekstraksi perubahan tutupan vegetasi di wilayah kajian.

3.3. Perubahan Tutupan Vegetasi di Kabupaten Gorontalo

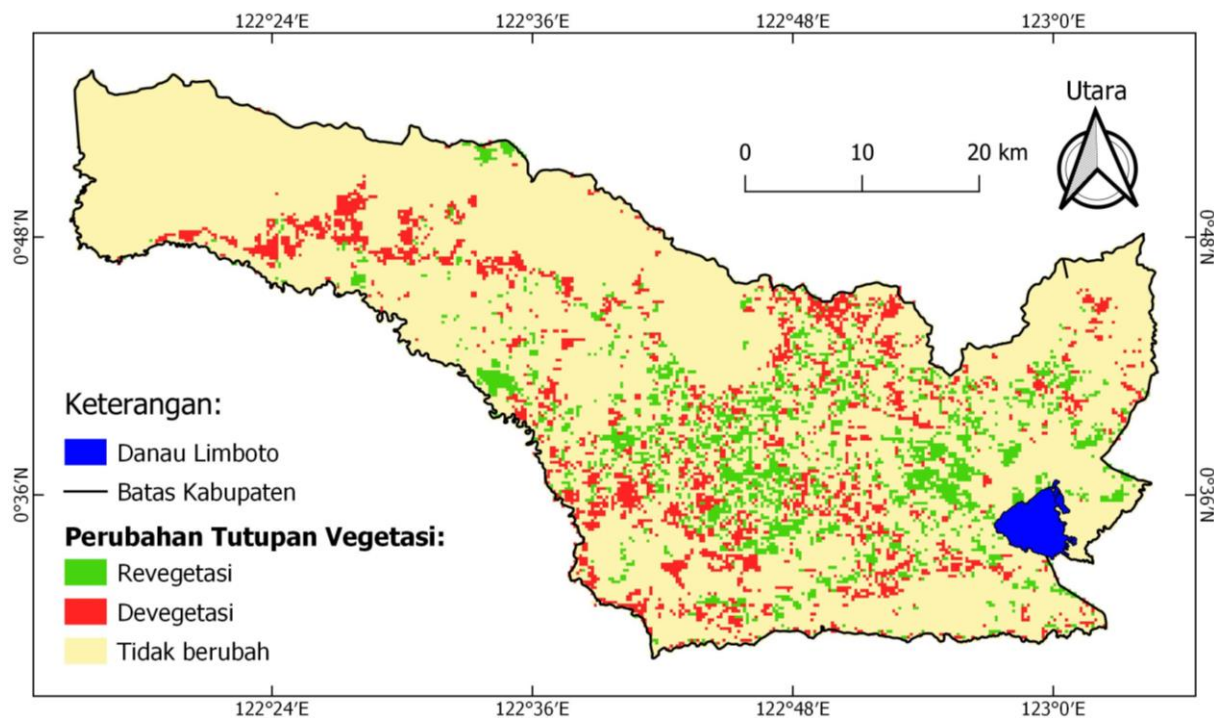
Gambar 7 menunjukkan sebaran spasial perubahan tutupan vegetasi periode 2000-2020 di wilayah Kabupaten Gorontalo. Perubahan tutupan vegetasi pada peta dibagi dalam tiga kelas, yaitu; kelas revegetasi, devegetasi, dan tidak berubah. Kelas revegetasi, mengindikasikan bahwa pada lokasi ini telah terjadi perubahan dari non vegetasi (Tahun 2000) menjadi vegetasi (Tahun 2020), dengan luas 18755.17 ha atau 8.82 % dari wilayah kajian. Kelas devegetasi, menunjukkan lokasi perubahan dari vegetasi (Tahun 2000) menjadi non vegetasi (Tahun 2020). Kelas ini

Tabel 3. Jumlah sampel untuk uji akurasi

Kelas	Luas (Ha) Tahun 2000	Jumlah sampel	Luas (Ha) Tahun 2020	Jumlah sampel
Non Vegetasi	79535	73	82350	75
Vegetasi	133148	109	130381	107

Tabel 4. Hasil uji akurasi klasifikasi tutupan vegetasi

Tahun 2000				
	NonVeg.	Veg.	Jum.	UA
NonVeg.	66	7	73	0.90
Veg.	28	81	109	0.74
Jum.	94	88	182	
PA	0.70	0.92		
Tahun 2020				
	NonVeg.	Veg.	Jum.	UA
NonVeg.	68	7	75	0.91
Veg.	20	87	107	0.81
Jum.	88	94	182	
PA	0.77	0.93		

**Gambar 7.** Sebaran spasial perubahan tutupan vegetasi di wilayah kajian selama 2000-2020

memiliki luas sebesar 21518.46 ha atau 10.12 % dari areal studi. Wilayah dengan warna krem muda, adalah yang paling dominan, dan merupakan kelas Tidak berubah, artinya dari Tahun 2000 sampai 2020, kondisi di lokasi tersebut terindikasi tetap/tidak berubah. Daerah ini memiliki luas sebesar 172357.22 ha atau 81.06 %.

Berkaitan dengan pemetaan spasial tutupan vegetasi menggunakan metode indeks vegetasi, ekstraksi batas vegetasi dan non vegetasi membutuhkan nilai ambang batas. Pada beberapa penelitian sebelumnya nilai ini ditentukan secara manual (*trial and error*) atau sesuai standar yang sudah ada, seperti pada penelitian Arifin & Kartika (2021); Zaitunah & Sahara (2021). Cara ini menurut Zhang et al., (2016) kurang efektif jika diterapkan pada data citra dalam jumlah yang banyak. Selain itu, karakteristik spektral objek yang terekam oleh sensor satelit akan mempengaruhi nilai piksel pada citra, sehingga pemisahan objek tidaklah statis berdasarkan ambang batas tertentu (Ji et al., 2009). Oleh karena itu, studi ini menggunakan nilai ambang batas yang ditentukan secara dinamis berdasarkan sebaran nilai NDVI citra pada kedua tahun

Tabel 5. Aturan penentuan kelas tutupan vegetasi

Kelas	Nilai ambang batas	
	Tahun 2000	Tahun 2020
Kelas Vegetasi	NDVI \geq 0.85	NDVI \geq 0.86
Non Vegetasi	NDVI $<$ 0.85	NDVI $<$ 0.86

pengamatan. Nilai ambang batas yang diperoleh untuk data Tahun 2000 adalah 0.85 dan Tahun 2020 adalah 0.86 dan digunakan sebagai aturan pemisahan objek vegetasi dan non vegetasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai ambang ini tidak serta merta menjadi acuan untuk diterapkan secara langsung di wilayah lain. Akan tetapi, teknik yang digunakan untuk menghasilkan nilai ambang ini dapat diterapkan untuk wilayah lain.

Penelitian sebelumnya seperti pada Arifin et al., (2019); Zaitunah & Sahara, (2021), menggunakan nilai 0.2 sebagai ambang batas untuk memisahkan objek vegetasi dan non vegetasi pada citra Landsat 8 dan LAPAN-A3. Berdasarkan uji coba (*trial and error*) pada studi ini menggunakan nilai 0.2 sebagai ambang batas, hasil klasifikasi yang diperoleh tidak sesuai (satu kelas saja). Uji coba ini dilakukan pada data yang belum dikomposisi dan sudah dikomposisi. Hal ini diduga karena sebaran nilai NDVI data MODIS di wilayah kajian berada di atas dari nilai 0.2. Perbedaan data satelit yang digunakan pada studi juga dapat mempengaruhi sebaran nilai piksel objek (Ji et al., 2009). Setiap citra pada tahun pengamatan memiliki nilai berbeda karena perhitungan penentuan nilai ambang batas dengan metode Otsu menyesuaikan dengan sebaran nilai piksel di setiap tahun pengamatan. Menurut Ji et al., (2009); Wang et al., (2019), cara ini dapat memisahkan objek penggunaan lahan dengan baik dan meningkatkan akurasi hasil klasifikasi.

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemetaan vegetasi pada beberapa penelitian sebelumnya, diawali dengan mengunduh data satelit terlebih dahulu dan disimpan pada penyimpanan di komputer. Selanjutnya dilakukan pra pengolahan, pengolahan lanjutan dan analisis, seperti pada studi Hayu & Ridwana (2019); Hidayati et al., (2018); Solihin et al., (2020); Zaitunah & Sahara (2021). Pekerjaan ini tentunya akan menjadi tidak efisien jika melibatkan citra satelit dalam jumlah yang banyak, seperti pada studi ini, yaitu sebanyak 43 lapisan citra. Teknologi informasi geospasial berbasis komputasi awan menjadi alternatif untuk mengurangi beban pekerjaan ini. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengembangkan algoritma otomatisasi proses *preprocessing*, pengolahan serta analisis data spasial (Kumar & Mutanga, 2018). Platform komputasi ini mampu mengolah dan menganalisis data dalam jumlah yang besar (Gorelick et al., 2017; Souldard, Walker, & Petrakis, 2020). Katalog data geospasial yang berasal dari berbagai sumber penyedia data geospasial, menjadi satu keuntungan lain yang dimiliki oleh platform GEE. Data ini dapat menjadi alternatif untuk mengevaluasi dan membandingkan hasil studi ketika data lapangan atau peta referensi tidak tersedia (Wu et al., 2019).

Penting untuk mengkaji lebih lanjut perubahan tutupan vegetasi dengan kejadian kekeringan di wilayah Kabupaten Gorontalo. Kejadian kekeringan selama periode 1981 – 2016 di daerah ini (Koem & Rusiyah, 2017, 2018) dapat diidentifikasi melalui data satelit. Nilai indeks vegetasi dapat menjadi indikator untuk mengetahui fenomena kekeringan pada suatu wilayah (NASA, 2000). Terdapat keterbatasan pada studi ini, yaitu belum melakukan perbandingan hasil pemetaan tutupan vegetasi dengan data penginderaan jauh lainnya seperti Landsat dan SPOT. Perbandingan ini penting untuk melihat tingkat akurasi hasil pemetaan.

4. KESIMPULAN

Ekstraksi perubahan tutupan vegetasi di wilayah kajian yang diimplementasikan pada platform GEE berjalan dengan baik sebagaimana ditunjukkan oleh hasil yang diperoleh. Tahapan ekstraksi dimulai dari pengolahan awal, pengolahan, analisis, diotomatisasi melalui antarmuka GEE. Otomatisasi ini dapat menanggulangi keterbatasan proses pengolahan data MODIS yang biasanya dilakukan secara manual. Prosedur penentuan nilai ambang batas dengan metode Otsu, dapat diadaptasi pada studi lain, sehingga pemisahan objek dapat disesuaikan dengan kondisi citra di wilayah kajian. Perubahan tutupan vegetasi ditunjukkan oleh kelas revegetasi sebesar

18755.17 ha dan kelas devegetasi sebesar 21518.46 ha. Selanjutnya, peta perubahan tutupan vegetasi yang diperoleh dari studi ini dapat digunakan untuk mengevaluasi fenomena lainnya seperti kekeringan dan perubahan penggunaan lahan yang terjadi di wilayah kajian. Pekerjaan studi selanjutnya perlu mempertimbangkan komparasi hasil dengan data penginderaan jauh lainnya.

5. REFERENSI

- Adiningsih, S. E. (2014). Tinjauan metode deteksi parameter kekeringan berbasis data penginderaan jauh. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 210–220.
- Albarakat, R., & Lakshmi, V. (2019). Comparison of Normalized Difference Vegetation Index Derived from Landsat, MODIS, and AVHRR for the Mesopotamian Marshes Between 2002 and 2018. *Remote Sensing*, 11(10), 1245. <https://doi.org/10.3390/rs11101245>
- Arifin, S., Carolita, I., & Kartika, T. (2019). Aplikasi model geobiofisik NDVI untuk identifikasi hutan pada data satelit Lapan-A3. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16(2), 91–100. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2018.v0.a3109>
- Arifin, S., & Kartika, T. (2021). Monitoring Model Of Land Cover Change For The Indication Of Devegetation And Revegetation Using. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 17(2), 163. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3385>
- Ayuba, S. R., Nursaputra, M., & Tisen, T. (2018). Klasifikasi Tingkat Kekeringan Pada Daerah Aliran Sungai (Das) Limboto (Classification Of Drought Level In Limboto Watershed). *Jurnal Sains Informasi Geografi*, 1(2), 12. <https://doi.org/10.31314/jsig.v1i2.174>
- BIG. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Pengumpulan Dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove*. Badan Informasi Geospasial.
- Buma, W., Lee, S.-I., & Seo, J. (2018). Recent Surface Water Extent of Lake Chad from Multispectral Sensors and GRACE. *Sensors*, 18(7), 2082. <https://doi.org/10.3390/s18072082>
- Clinton, N. (2017). Otsu's Method for Image Segmentation. Retrieved July 28, 2020, from <https://medium.com/google-earth/otsus-method-for-image-segmentation-f5c48f405e>
- Didan, K. (2015). *MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>
- Didan, K., Munoz, A. B., & Huete, A. (2015). *MODIS Vegetation Index User 's Guide (MOD13 Series)* (Vol. 2015).
- Google Earth Engine. (2021). NDVI, Mapping a Function over a Collection, Quality Mosaicking. Retrieved November 11, 2021, from https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_api_06
- 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>
- Hayu, M. K., & Ridwana, R. (2019). Analisis Kerapatan Vegetasi untuk Area Pemukiman Dengan Memanfaatkan Citra Satelit Landsat Di Kota Tasikmalaya. *Jurnal Geografi*, 8(2), 78. <https://doi.org/10.24036/geografi/vol8-iss2/845>
- Hidayati, I. N., Suharyadi, R., & Danoedoro, P. (2018). Developing an Extraction Method of Urban Built-Up Area Based on Remote Sensing Imagery Transformation Index. *Forum Geografi*, 32(1), 96–108. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v32i1.5907>
- Jackson, R. B., Randerson, J. T., Canadell, J. G., Anderson, R. G., Avissar, R., Baldocchi, D. D., ... Pataki, D. E. (2008). Protecting climate with forests. *Environmental Research Letters*, 3(4), 044006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/044006>
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75(11), 1307–1317. <https://doi.org/10.14358/PERS.75.11.1307>
- Klisch, A., & Atzberger, C. (2016). Operational drought monitoring in Kenya using MODIS NDVI time series. *Remote Sensing*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/rs8040267>
- Koem, S., & Rusiyah. (2017). Monitoring of Drought Events in Gorontalo Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98, 012053. <https://doi.org/10.1088/1755->

- 1315/98/1/012053
- Koem, S., & Rusiyah, R. (2018). Spatiotemporal Characteristics of Meteorological Drought in Gorontalo Regency in 1981- 2016. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(3), 355–364. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.3.355-364>
- Kucharik, C. J., Foley, J. A., Delire, C., Fisher, V. A., Coe, M. T., Lenters, J. D., ... Gower, S. T. (2000). Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: Water balance, carbon balance, and vegetation structure. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3), 795–825. <https://doi.org/10.1029/1999GB001138>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Lahay, R. J., & Koem, S. (2021). Google earth engine and landsat data for detecting inundation changes in Limboto lake. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 739(1), 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012087>
- Llano, X. C. (2019). *AcATaMa - QGIS plugin for Accuracy Assessment of Thematic Maps, version XX.XX*. Retrieved from <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>
- Luo, S., Song, C., Liu, K., Ke, L., & Ma, R. (2019). An Effective Low-Cost Remote Sensing Approach to Reconstruct the Long-Term and Dense Time Series of Area and Storage Variations for Large Lakes. *Sensors*, 19(19), 4247. <https://doi.org/10.3390/s19194247>
- NASA. (2000). NDVI as an Indicator of Drought. Retrieved from https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php
- NASA. (2021). Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Retrieved November 29, 2021, from <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- Nguyen, U. N. T., Pham, L. T. H., & Dang, T. D. (2019). An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 235. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7355-x>
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62–66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- Rousta, I., Olafsson, H., Moniruzzaman, M., Zhang, H., Liou, Y.-A., Mushore, T. D., & Gupta, A. (2020). Impacts of Drought on Vegetation Assessed by Vegetation Indices and Meteorological Factors in Afghanistan. *Remote Sensing*, 12(15), 2433. <https://doi.org/10.3390/rs12152433>
- Schimel, D., Melillo, J., Tian, H., McGuire, A. D., Kicklighter, D., Kittel, T., ... Rizzo, B. (2000). Contribution of Increasing CO₂ and Climate to Carbon Storage by Ecosystems in the United States. *Science*, 287(5460), 2004–2006. <https://doi.org/10.1126/science.287.5460.2004>
- Semerádová, D., Hlavinka, P., Trnka, M., Lukas, V., Bohovic, R., Tadesse, T., ... Žalud, Z. (2013). Remotely sensed NDVI as an indicator of drought stress on the vegetation. *Environmental Changes and Adaptation Strategies*, (September).
- Solihin, M. A., Putri, N., Setiawan, A., Siliwangi, D., & Arifin, M. (2020). Karakteristik indeks vegetasi pada berbagai penggunaan lahan di hulu sub DAS Cikapundung melalui interpretasi citra satelit Landsat 8. *Kultivasi*, 19(3), 1202–1209. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i3.28625>
- Soulard, C. E., Walker, J. J., & Petrakis, R. E. (2020). Implementation of a Surface Water Extent Model in Cambodia using Cloud-Based Remote Sensing. *Remote Sensing*, 12(6), 984. <https://doi.org/10.3390/rs12060984>
- 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(May), 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Townshend, J. (2016). *Global Forest Cover Change (GFCC) Tree Cover Multi-Year Global 30 m V003*. <https://doi.org/10.5067/MEASURES/GFCC/GFCC30TC.003>

- Trisakti, B. (2009). *Pembuatan Sebaran Spasial Ndvi Minimum Dan Maksimum Berbasis Data Landsat TM/ETM+ Periode 2000-2009*.
- Umar, H. R. (2012). Model Terpadu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Das) Limboto Riset Pengembangan Model Melalui Pembayaran Jasa Lingkungan (Pjl) Di Kabupaten Gorontalo, 2009. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 1(1), 11–26. <https://doi.org/10.21009/jgg.011.02>
- Umar, I., Marsoyo, A., & Setiawan, B. (2018). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Sekitar Danau Limboto Di Kabupaten Gorontalo. *Tata Kota Dan Daerah*, 10(2), 77–90. <https://doi.org/10.21776/ub.takoda.2018.010.02.3>
- USGS. (2021). MOD13Q1 v006-MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid. Retrieved November 28, 2021, from <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
- Usman, M., Liedl, R., Shahid, M. A., & Abbas, A. (2015). Land use/land cover classification and its change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Journal of Geographical Sciences*, 25(12). <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1247-y>
- Wang, J., Ding, J., Li, G., Liang, J., Yu, D., Aishan, T., ... Liu, J. (2019). Dynamic detection of water surface area of Ebinur Lake using multi-source satellite data (Landsat and Sentinel-1A) and its responses to changing environment. *Catena*, 177(March), 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.020>
- Wang, Y., Li, Z., Zeng, C., Xia, G., & Shen, H. (2020). An Urban Water Extraction Method Combining Deep Learning and Google Earth Engine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 769–782. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2971783>
- Wu, Q., Lane, C. R., Li, X., Zhao, K., Zhou, Y., Clinton, N., ... Lang, M. W. (2019). *Mapping wetland hydrological dynamics using Google Earth Engine*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.8864921.v1>
- Yuan, J., Xu, Y., Xiang, J., Wu, L., & Wang, D. (2019). Spatiotemporal variation of vegetation coverage and its associated influence factor analysis in the Yangtze River Delta, eastern China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(32), 32866–32879. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06378-2>
- Zaitunah, A., & Sahara, F. (2021). Mapping and assessment of vegetation cover change and species variation in Medan , North Sumatra. *Heliyon*, 7(July), e07637. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07637>
- Zhang, F., Li, J., Shen, Q., Zhang, B., Ye, H., & Wang, S. (2016). Dynamic Threshold Selection for the Classification of Large Water Bodies within Landsat-8 OLI Water Index Images. *Preprint 2016*, (December), 1–18. <https://doi.org/10.20944/preprints201612.0141.v1>
- Zhang, J., Ding, J., Wu, P., Tan, J., Huang, S., Teng, D., ... Chen, W. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought Across the Ebinur Lake Watershed. In *Scientific Reports* (Vol. 10). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57898-8>