

Dinamika perubahan tutupan lahan pascabencana likuefaksi 2018 di Kelurahan Petobo, Kota Palu

Land cover change dynamics after the 2018 liquefaction disaster in Petobo Sub-district, Palu

Tika Nurhasanah^{1,2*}, Girilly Marchlina Listyono^{1,3}, Tanuda Pedro Rusdiono¹, dan Eko Kusratmoko¹

¹Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

²Badan Informasi Geospasial, Bogor, Indonesia

³Kementerian Desa dan Pembangunan Daerah Tertinggal, Jakarta, Indonesia

*Email korespondensi: tika.nurhasanah32@ui.ac.id

Abstrak. Perubahan penggunaan dan tutupan lahan (*Land Use and Land Cover Change/LULCC*) merupakan indikator penting dalam memahami dinamika spasial pada kawasan terdampak bencana alam. Kota Palu, sebagai wilayah yang terdampak bencana likuefaksi tahun 2018, memerlukan kajian perubahan tutupan lahan dalam rangka perencanaan pembangunan wilayah dan penataan ruang yang tanggap bencana. Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika perubahan tutupan lahan di Kelurahan Petobo sebelum dan setelah peristiwa likuefaksi dengan memanfaatkan citra Pleiades dan foto udara tahun 2017, 2018, dan 2022. Dengan pendekatan kuantitatif berbasis penginderaan jauh, analisis dilakukan dengan klasifikasi otomatis pada platform *Google Earth Engine* (GEE) menggunakan metode *Random Forest* (RF), serta analisis spasial lanjutan menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro. Hasil klasifikasi menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dengan nilai koefisien Kappa sebesar 0,82 pada tahun 2017 dan 2018, serta 0,86 pada tahun 2022. Analisis perubahan tutupan lahan menunjukkan dampak signifikan likuefaksi tahun 2018, ditandai dengan penurunan lahan terbangun lebih dari 50%, dari 25,03% pada tahun 2017 menjadi 12,16% pada tahun 2018, sebelum meningkat kembali menjadi 15,60% pada tahun 2022. Dominasi vegetasi rendah yang mencapai 58,46% pada tahun 2022 mencerminkan adaptasi masyarakat dan perubahan kebijakan penggunaan lahan

pascabencana. Temuan ini menegaskan efektivitas teknologi penginderaan jauh dalam mendukung perencanaan pembangunan wilayah pascabencana.

Kata Kunci: Citra Pleiades; Foto Udara; Google Earth Engine; Likuefaksi; Perubahan Tutupan Lahan

Abstract. Land use and land cover change (LULCC) is a key indicator for understanding regional spatial dynamics, particularly in disaster-affected areas. Palu City, which experienced severe liquefaction in 2018, requires detailed land cover change analysis to support disaster-responsive regional development and spatial planning. This study aims to analyze land cover change dynamics in Petobo Sub-district before and after the 2018 liquefaction event using Pleiades imagery and aerial photographs from 2017, 2018, and 2022. A quantitative remote sensing approach was applied, employing automated classification on the Google Earth Engine (GEE) platform using the Random Forest (RF) method, followed by spatial analysis using ArcGIS Pro. The classification results demonstrate high accuracy, with Kappa coefficients of 0.82 in 2017 and 2018, and 0.86 in 2022. The analysis reveals significant land cover changes due to the 2018 liquefaction, particularly a reduction in built-up areas of more than 50%, from 25.03% in 2017 to 12.16% in 2018, before increasing to 15.60% in 2022. The dominance of low vegetation cover, reaching 58.46% in 2022, reflects post-disaster land-use adaptation and policy changes. These findings confirm the effectiveness of remote sensing technologies in supporting post-disaster regional development planning.

Keywords: Aerial Photo; Google Earth Engine; Land Cover Change; Liquefaction; Pleiades Imagery

1. Pendahuluan

Perubahan penggunaan dan tutupan lahan (LULCC) memiliki peran penting dalam memahami dinamika spasial suatu wilayah. Perubahan ini dapat berdampak pada keanekaragaman hayati, perubahan iklim lokal dan regional, pemanasan global, degradasi tanah dan kemampuan sistem biologis untuk mendukung kebutuhan manusia [1]. Faktor-faktor pendorong seperti peluang ekonomi [2], kebijakan pemerintah [3], migrasi dan urbanisasi [1], serta bencana alam [4] dinyatakan berkontribusi dalam penggunaan dan tutupan lahan di suatu daerah. Dinamika tutupan lahan di daerah rawan bencana penting untuk dianalisis karena perubahan tersebut tidak hanya menggambarkan dampak langsung bencana terhadap lanskap fisik, melainkan juga bagaimana masyarakat beradaptasi dan bagaimana pemangku kebijakan atau perencana ruang menerapkan mitigasi bencana. Bencana gempa bumi berdampak pada perubahan arah pertumbuhan pemukiman di Kota Duzce, Turki [5], mendorong terjadinya longsor yang menggerus hutan di daerah aliran sungai Atsuma, Jepang [6], hingga mempengaruhi variasi ketinggian muka air tanah di kota Yogyakarta, Indonesia [7].

Gempa bumi berskala 7,5 SR yang terjadi di Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 memicu terjadinya peristiwa likuefaksi. Likuefaksi terjadi ketika tanah jenuh air kehilangan kekuatannya dan kekakuannya akibat beban siklik, seperti gempa bumi, yang menyebabkan tanah berperilaku seperti cairan [8]. Litologi sedimen dengan ukuran butir halus dan bergradasi buruk lebih rentan terhadap likuefaksi [9]. Litologi Kota Palu didominasi oleh endapan aluvium, kipas alluvium dan debris colluvium [10], yang cenderung meningkatkan risiko likuefaksi. Faktor tambahan seperti regangan geser tanah yang tinggi dan muka air tanah yang dangkal di lembah Palu semakin menguatkan potensi terjadinya likuefaksi di wilayah ini [11].

Kelurahan Petobo menjadi salah satu wilayah yang terdampak likuefaksi, terbukti oleh hasil perhitungan total penurunan dan pergeseran tanah yang masing-masing mencapai 42,9 cm dan 817,44 cm [13]. Selain itu, metode semi-empiris juga menegaskan bahwa Petobo, Balaroa, Petobo dan Jono Oge telah mengalami likuefaksi skala besar dengan tingkat kedalaman maksimum 16 meter di bawah tanah dan rata-rata puncak limpasan air pengangkut aliran lumpur sekitar 11,31 cm³/detik [12]. Pergeseran tanah akibat likuefaksi dapat mempengaruhi komposisi tutupan lahan di Kelurahan Petobo. Oleh karena itu, analisis perubahan tutupan dan penggunaan lahan di wilayah Petobo sangat penting untuk memahami dampak gempa bumi dan likuefaksi terhadap lingkungan fisik, serta bagaimana masyarakat dan pemerintah mengelola lahan di area rawan bencana. Studi perubahan penggunaan dan tutupan lahan sebelum, selama, dan setelah bencana di wilayah Petobo dapat membantu para pembuat kebijakan mengevaluasi proses rehabilitasi, mitigasi, dan adaptasi, khususnya dalam penyusunan kebijakan tata ruang yang tanggap terhadap bencana.

Penelitian mengenai perubahan penggunaan dan tutupan lahan telah dilakukan sebelumnya. Namun, beberapa diantaranya menggunakan peta citra Landsat [13][14] dan Sentinel [15] sebagai data utamanya. Citra Sentinel yang dianggap memiliki informasi yang lebih baik hanya dapat menunjukkan kerusakan suatu kawasan yang diakibatkan karena gempa bumi, namun tidak dapat menunjukkan kerusakan akibat likuefaksi [16]. Padahal, jenis bencana yang terjadi di Kota Palu tidak hanya gempa bumi melainkan juga likuefaksi. Oleh karena itu dibutuhkan data citra yang dapat menunjukkan informasi mengenai kerusakan yang diakibatkan karena likuefaksi. Sedangkan untuk melihat perubahan tutupan lahan, beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menggunakan metode *random forest*. Metode *random forest* menunjukkan keunggulan dalam berbagai aplikasi dengan menghasilkan hasil klasifikasi yang sangat akurat, seperti dalam klasifikasi tutupan lahan berbasis segmentasi semantik dengan skor F1 rata-rata hingga 93% tanpa kategori tertentu [17], analisis dinamika tutupan lahan di ekosistem gurun dengan akurasi validasi keseluruhan 0,99 [18], dan pemetaan penggunaan/tutupan lahan perkotaan dengan akurasi keseluruhan tertinggi 0,97 dibandingkan metode lainnya [19].

Random Forest bekerja dengan membuat pohon keputusan yang beragam dengan menggunakan subset data acak, sehingga mampu menangani dataset yang kompleks dan multikategori [18]. Penggunaan kombinasi fitur acak di setiap node pohon keputusan,

membantu mengurangi risiko *overfitting* [19]. *Random Forest* memungkinkan evaluasi kontribusi setiap fitur terhadap hasil klasifikasi, sehingga memberikan wawasan yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan berbasis data [18] [19].

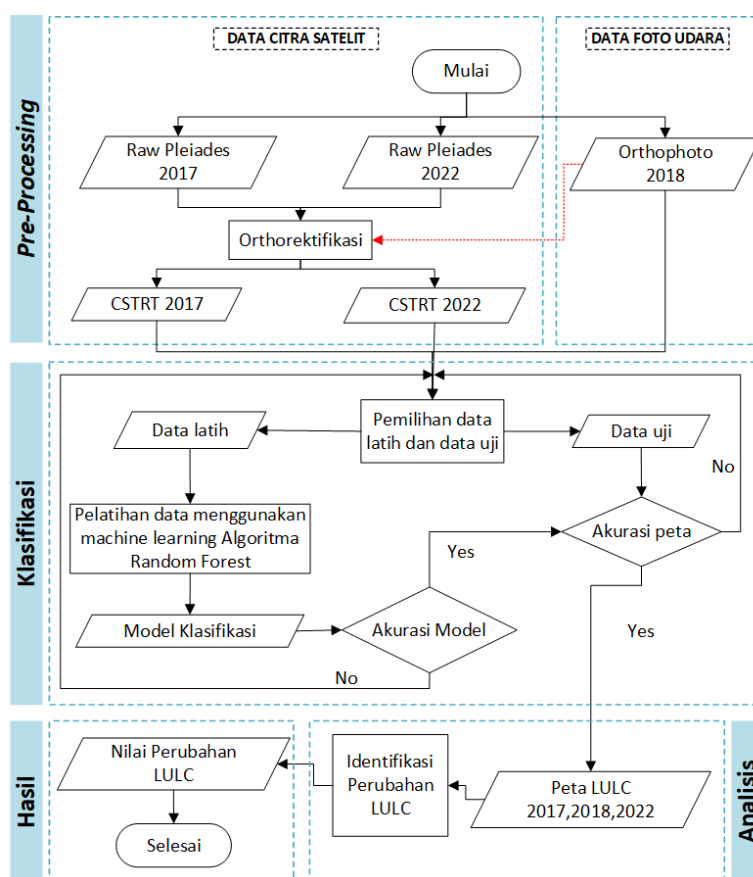
Penggunaan *platform Google Earth Engine* (GEE) telah banyak dilakukan oleh penelitian sebelumnya untuk melihat LULC pada area dengan skala yang luas. Hal ini karena, luasnya area yang terdampak bencana membutuhkan *platform* pengolahan data dengan kapasitas besar. GEE mempermudah pemrosesan data satelit untuk analisis spasial-temporal, memungkinkan penelitian menjadi lebih efisien baik dalam hal waktu maupun biaya [20]. Kemampuan pengolahan data skala besar berbasis *cloud* menjadikan GEE dapat menganalisis dataset yang kompleks serta memberikan akurasi tinggi untuk pemetaan LULC di wilayah dengan heterogenitas lanskap yang tinggi [21]. Fitur *pre-processing* otomatis, seperti *masking* awan dan koreksi radiometrik, mengurangi waktu persiapan data dan memungkinkan peneliti untuk lebih fokus pada analisis hasil [22]. Selain itu, integrasi algoritma pembelajaran mesin, seperti *Random Forest* dan *Support Vector Machine* dalam GEE meningkatkan akurasi klasifikasi LULC dibandingkan metode tradisional [21][22]. Secara keseluruhan, kemampuan GEE untuk mengintegrasikan data indeks, analisis statistik, dan algoritma pembelajaran mesin menjadikannya alat yang sangat efektif untuk pengolahan data LULC. Dengan fitur-fiturnya yang canggih, GEE menyediakan platform yang unggul untuk memahami dinamika perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap lingkungan secara global [23].

Pada kajian ini menunjukkan bahwa dalam menganalisis LULC, pemilihan data, metode klasifikasi, dan platform pengolahan data memainkan peran penting dalam menghasilkan informasi yang akurat dan relevan, terutama untuk kasus spesifik seperti kerusakan akibat likuefaksi. Kombinasi citra Pleiades, algoritma *Random Forest*, dan platform GEE memberikan pendekatan yang optimal untuk menganalisis kerusakan LULC, khususnya di wilayah terdampak bencana seperti Kota Palu. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang detail, efisien, dan akurat untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam mitigasi dan perencanaan pemulihan bencana.

LULC menjadi aspek penting dalam memahami dampak bencana terhadap dinamika spasial suatu wilayah, khususnya di Kota Palu yang tidak hanya terdampak gempa bumi melainkan juga likuefaksi. Penelitian sebelumnya telah menganalisis perubahan LULC menggunakan citra satelit seperti Landsat dan Sentinel serta Metode *Random Forest*, yang dikenal mampu memberikan akurasi tinggi dalam klasifikasi LULC. Namun, studi yang memanfaatkan data citra dengan resolusi lebih tinggi seperti Pleiades, yang mampu merepresentasikan kerusakan akibat likuefaksi secara lebih rinci, masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menggunakan kombinasi citra Pleiades, algoritma *Random Forest*, dan platform GEE. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan LULC di Kelurahan Petobo sebelum dan setelah likuefaksi, sehingga dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam untuk mendukung pengambilan keputusan terkait mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang yang tanggap terhadap bencana.

2. Metode

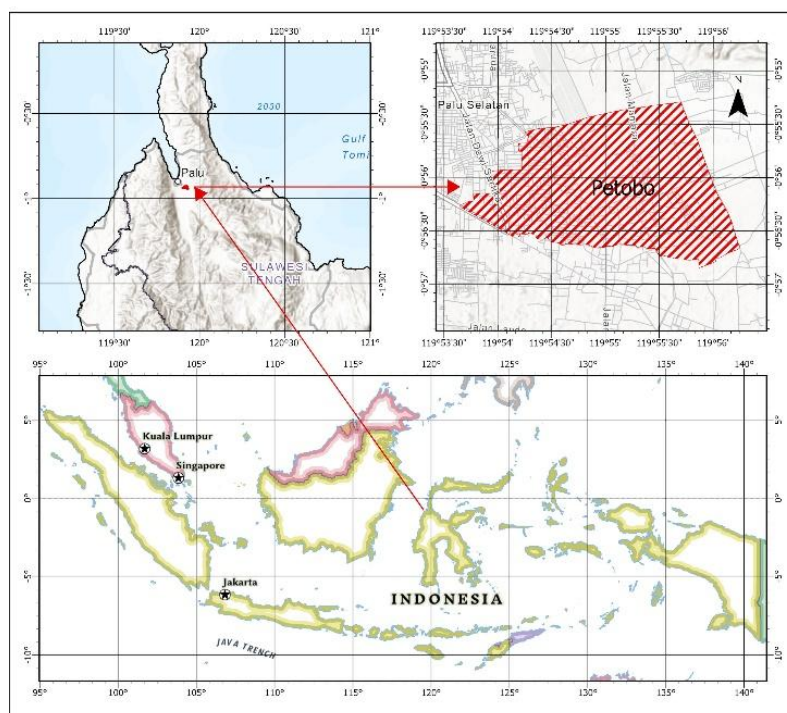
Metode pada penelitian ini terbagi dalam empat tahapan diantaranya *pre-processing data*, klasifikasi, analisis dan hasil (Gambar 1). Tahapan *pre-processing data* merupakan tahapan pengolahan terhadap sumber data sehingga memiliki spesifikasi yang seragam dan bisa digunakan sebagai data untuk perbandingan terutama dalam perhitungan luas. Pada tahapan *pre-processing* ini dilakukan proses orthorektifikasi terhadap citra satelit Pleiades. Citra satelit resolusi tinggi memerlukan koreksi geometrik dengan orthorektifikasi untuk memposisikan kembali citra sesuai lokasi sebenarnya akibat pergeseran posisi saat pengambilan data [23]. Klasifikasi dilakukan dengan menggunakan *platform Google Earth Engine (GEE)* dan menggunakan algoritma *Random Forest (RF)*. Hasil Klasifikasi berupa peta tutupan lahan yang kemudian dianalisis perubahannya dari tahun 2017, 2018, dan 2022 dimana tahun-tahun tersebut mewakili kondisi tutupan lahan sebelum, saat, dan setelah bencana likuefaksi di Petobo, Palu.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.1. Daerah studi

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Petobo, Kecamatan Palu Selatan, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah, Indonesia dengan luas 836 Hektar (Gambar 2).



Gambar 2. Wilayah penelitian.

2.2. Sumber data

Penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data di antaranya citra satelit resolusi tinggi Pleiades tahun 2017 dan 2022 serta Foto Udara tahun 2018 (Tabel 2). Kedua sumber data tersebut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Citra satelit Pleiades yang didapatkan berupa *raw data* dengan resolusi spasial 50 cm. Foto udara yang didapatkan berupa *orthophoto* dengan resolusi spasial 15 cm dan akurasi < 1 meter. Perlu dilakukan penegakan pada citra satelit Pleiades yaitu proses orthorektifikasi untuk menghilangkan distorsi atau pergeseran gambar yang disebabkan oleh kemiringan sensor dan relief topografi [24]. Orthorektifikasi dilakukan dengan metode *image to image* dengan menggunakan *orthophoto* tahun 2018 sebagai *image reference* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. yang diwakili dengan panah warna merah. Hasil orthorektifikasi berupa citra satelit tegak resolusi tinggi (CSTRT).

Tabel 2. Jenis, tahun perekaman, dan resolusi data.

No	Citra	Tahun Perekaman	Resolusi (cm)
1	Pleiades	2017, 2023	50
2	Foto Udara	2018	15

2.3. Klasifikasi

Tahapan Klasifikasi dimulai dengan melakukan pembagian data menjadi data latih dan data uji dimana data latih merupakan data yang akan digunakan untuk membuat model klasifikasi

sedangkan data uji merupakan data independen yang tidak dimasukkan ke dalam proses pembuatan model dan akan digunakan dalam proses uji akurasi. Data latih dibagi menjadi data training (80%) yang digunakan untuk membuat model dan data testing (20%) yang akan digunakan sebagai validasi model untuk menghasilkan nilai akurasi model. *Data training* berupa polygon yang memiliki label dengan 5 kelas di antaranya Lahan Terbangun, Vegetasi Tinggi, Lahan Terbuka, Vegetasi Rendah, dan Badan Air.

Klasifikasi otomatis dilakukan pada platform *Google Earth Engine* (GEE) dengan menggunakan algoritma *Random Forest*. *Google Earth Engine* (GEE) dapat digunakan untuk klasifikasi otomatis tutupan lahan, yang memfasilitasi analisis yang efisien dan cepat dalam pemantauan jenis tutupan lahan di berbagai wilayah [25]. Metode *Random Forest* (RF) telah terbukti efektif dalam klasifikasi otomatis tutupan lahan dengan akurasi tinggi. Model klasifikasi yang dihasilkan dari klasifikasi otomatis kemudian divalidasi sehingga mendapatkan *overall accuracy model* yang baik. Jika hasil validasi menunjukkan nilai *overall accuracy* yang masih buruk maka proses berulang kembali ke pemilihan data latih dengan menambahkan poligon dan label untuk *data training* pada wilayah-wilayah yang belum direpresentasikan dengan baik pada model. Setelah itu, dilakukan uji akurasi terhadap hasil klasifikasi otomatis penutup lahan menggunakan data uji.

Uji akurasi dilakukan pada *software* ArcGIS Pro dengan menggunakan 200 titik uji. Hasil Uji akurasi harus memenuhi ketelitian yang baik. Jika belum memenuhi maka kembali ke perbaikan *data training* kembali. Proses ini terus berulang sampai didapatkan hasil uji yang memenuhi nilai akurasi yang dibutuhkan. Setelah didapatkan peta penutup lahan dengan akurasi yang baik maka dilakukan identifikasi perubahan lahan dengan melihat bagaimana suatu tutupan lahan berubah dari tahun ke tahun yang diwakili oleh data pada tahun 2017, 2018 dan 2022.

2.4. Analisis

Peta penutup lahan dengan akurasi yang baik kemudian diidentifikasi perubahan lahannya dengan melihat bagaimana suatu tutupan lahan berubah dari tahun ke tahun dengan menghitung luasannya yang diwakili oleh data pada tahun 2017 (sebelum likuefaksi), 2018 (saat likuefaksi) dan 2022 (kondisi dengan data terkini). Hasil akhir yang diperoleh adalah luasan dari masing-masing klasifikasi pada 2017, 2018, dan 2022 serta luasan perubahannya dari tahun ke tahun. Hal ini dilakukan dengan membandingkan luas masing-masing klasifikasi serta perubahannya terhadap klasifikasi di tahun lainnya.

Penilaian terhadap hasil klasifikasi menggunakan koefisien kappa. Nilai kappa yang diperoleh merupakan nilai pada masing-masing tahun yang diklasifikasi yaitu tahun 2017, 2018, dan 2022. Nilai kappa didapatkan melalui tahapan uji untuk mendapatkan nilai akurasi terhadap hasil klasifikasi tutupan lahan [26], [27]. *Overall accuracy* merupakan perhitungan nilai kebenaran dalam suatu klasifikasi. Dalam perhitungan *overall accuracy* dilakukan perbandingan antara nilai hasil klasifikasi yang benar dibagi dengan total sampel seluruh kelas, nilai *overall accuracy* menunjukkan nilai kebenaran dari keseluruhan hasil klasifikasi [28], [29],

[30]. *Overall accuracy* berbeda dengan nilai kappa, nilai kappa memperhitungkan nilai kesalahan dari suatu hasil klasifikasi, sedangkan *overall accuracy* memperhitungkan nilai kebenaran dalam suatu model klasifikasi. Persamaan untuk mendapatkan nilai kappa adalah sebagai berikut:

$$\text{User accuracy} = x_{ii}/x_{i+} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Producer accuracy} = x_{ii}/x_{+i} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Overall accuracy} = D/N \times 100\% \quad (3)$$

$$A = D/N \quad (4)$$

$$B = \sum((x_{i+} \times (x_{+i}))) / N^2 \quad (5)$$

$$\text{Index Kappa} = A - B \quad (6)$$

Keterangan:

x_{ii} = Total nilai sel yang benar didalam kelas

x_{i+} = Jumlah nilai sampel yang ditentukan pengguna

x_{+i} = Jumlah nilai sel dalam kolom

D = Total nilai baris yang benar yang ditambah secara diagonal

N = Total nilai yang benar di dalam eror matriks

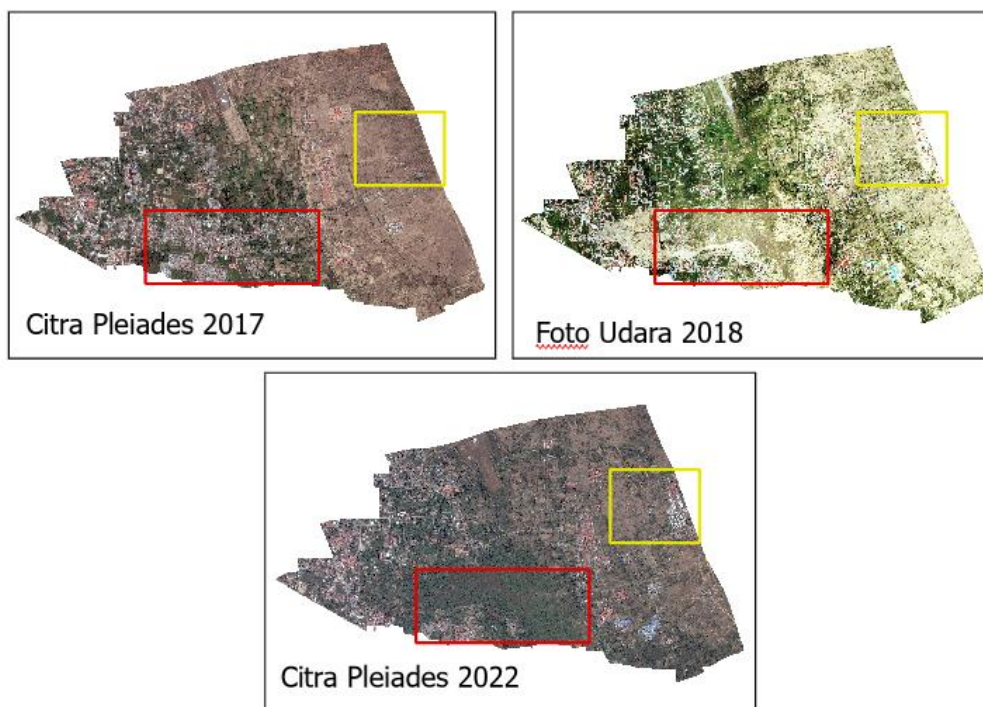
A = Nilai yang diamati

B = Nilai yang diharapkan

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Identifikasi perubahan tutupan lahan dari Citra Pleiades dan Foto Udara

Perubahan yang terjadi dalam kurun waktu 2017-2022 dapat diamati secara langsung dari kenampakan Citra Pleiades dan Foto Udara secara kasat mata. Dapat dilihat seperti pada Gambar 3. bahwa pada tahun 2017 bagian selatan dari bandara merupakan wilayah terbangun dan pertanian yang cukup luas. Namun pada tahun 2018 saat terjadi likuefaksi wilayah tersebut menjadi lahan terbuka dan pada 2022 menjadi wilayah dengan vegetasi rendah. Wilayah bagian timur yang sebelumnya pada tahun 2017 masih jarang penduduk, mengalami penambahan wilayah terbangun pada 2018 dan semakin meluas pada tahun 2022.



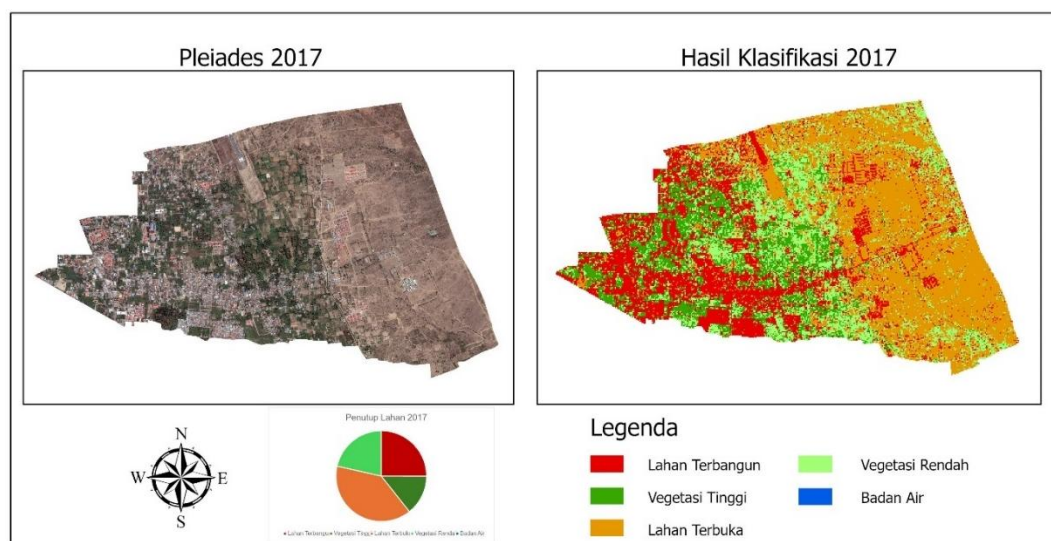
Gambar 3. Tampilan Citra Pleiades dan Foto Udara
Sumber: Badan Informasi Geospasial

Klasifikasi dilakukan dengan metode klasifikasi otomatis dengan training sample sebanyak 40 area pada masing-masing kelas di tahun 2017, 2018, dan 2022. Tutupan lahan diklasifikasikan terhadap lima kelas seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelas tutupan lahan.

No	Kelas
1	Lahan Terbangun
2	Vegetasi Tinggi
3	Lahan Terbuka
4	Vegetasi Rendah
5	Badan Air

Pada tahun 2017 (Gambar 4), tutupan lahan pada Wilayah Petobo didominasi oleh Lahan Terbuka sebesar 327.95Ha atau 39.20% dari total luas wilayah penelitian. Setelah itu kelas Lahan Terbangun dengan luasan 209.45 Ha atau 25.03%, kemudian Vegetasi Rendah dengan luas area 179.26Ha atau 21.42%, dan Vegetasi tinggi seluas 119.56Ha atau 14.29%. Pada posisi terakhir kelas Badan Air dengan luas area 0.47 Ha atau 0.06%.

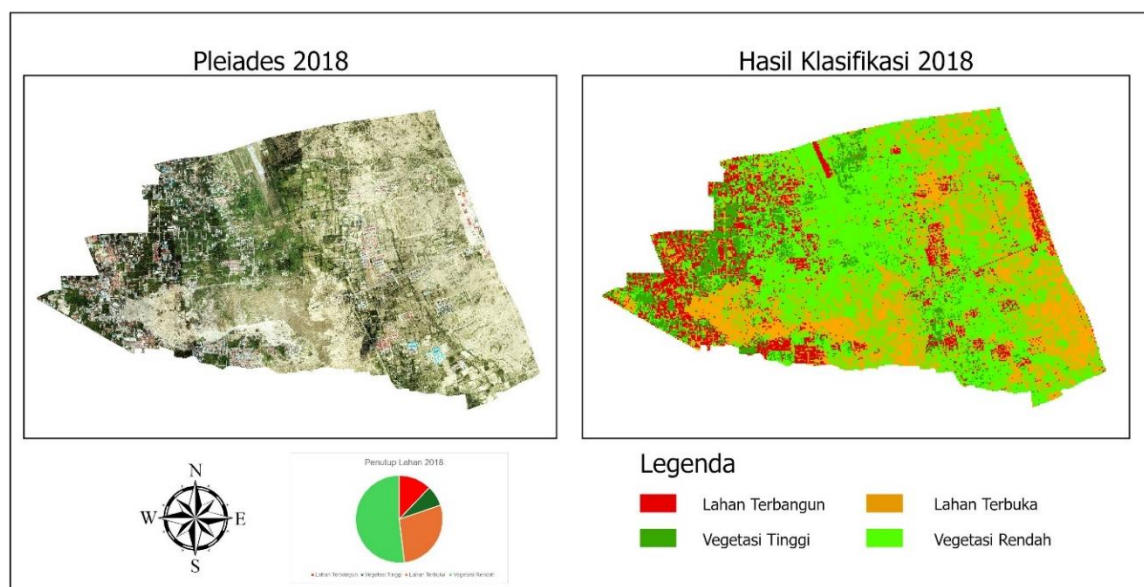


Gambar 4. Tampilan CSTRT 2017 dan hasil klasifikasi penutup lahan tahun 2017.

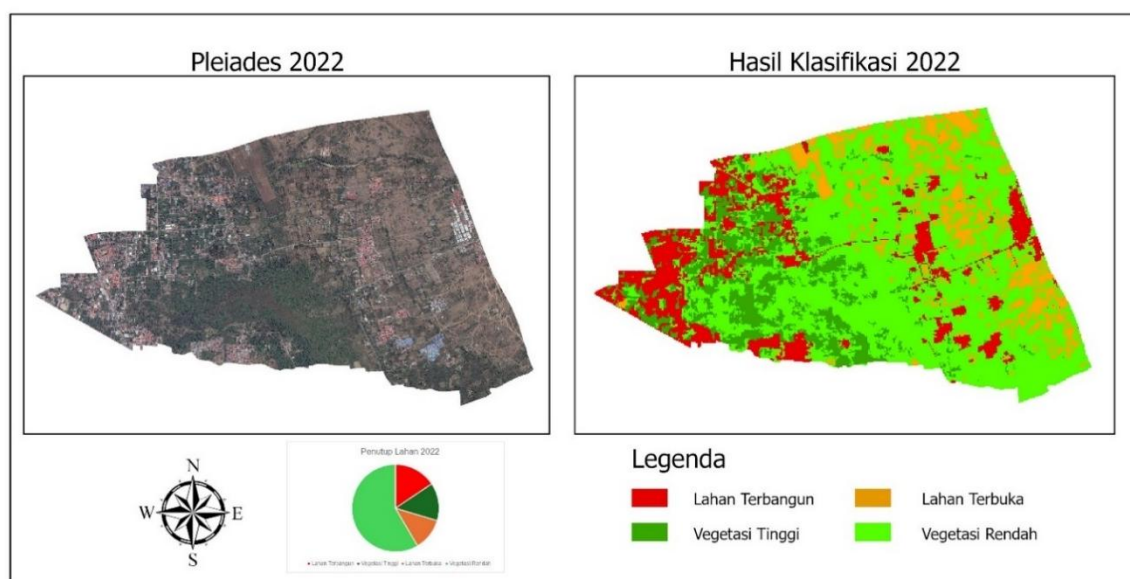
Di tahun 2018 terlihat perubahan luas terjadi pada semua jenis kelas tutupan lahan. Pada tahun ini tidak terdeteksi tutupan lahan Badan Air karena likuefaksi. Pada tahun ini juga sangat terlihat pengurangan area terbangun akibat likuefaksi dimana tadinya wilayah permukiman berubah menjadi Lahan Terbuka. Kelas tutupan lahan yang paling dominan pada tahun ini adalah kelas Vegetasi Rendah dengan luasan 434.36 Ha atau 51.92%. Pada posisi kedua terdapat kelas Lahan Terbuka yang mengalami penurunan dari tahun 2017 dengan luas 236.68 Ha atau 28.29%. Untuk Kelas Lahan Terbangun mengalami penurunan lebih dari 50% dari tahun 2017 dengan luas 101.71Ha atau 12.16%. Serta kelas tutupan lahan Vegetasi Tinggi dengan luas 63.91Ha atau 7.64%.

Kondisi terbaru pada 2022 menunjukkan penambahan kembali kelas Lahan Terbangun walaupun luasannya belum seperti tahun 2017. Kelas penutup lahan yang mendominasi masih sama seperti tahun 2018 yaitu Vegetasi Rendah dan juga terjadi peningkatan luas menjadi 489.12Ha atau 58.46%. Posisi selanjutnya terdapat penutup lahan kelas Lahan Terbangun dengan luasan 130.54 Ha atau 15.60%. Selanjutnya penutup lahan kelas Vegetasi Tinggi yaitu 117.38 Ha atau 14.03% dan penutup lahan kelas Lahan Terbuka dengan luas 99.64Ha atau 11.91%. Pada tahun ini juga tidak teridentifikasi penutup lahan Badan Air.

Koefisien Kappa dijadikan nilai akurasi pada uji akurasi hasil klasifikasi. Menurut Altman (1991), semakin nilai Kappa mendekati 1 maka hasil akurasi semakin baik. Nilai koefisien Kappa dapat dikelaskan dalam 5 kategori sesuai Tabel 4.



Gambar 5. Tampilan orthophoto 2018 dan hasil klasifikasi penutup lahan tahun 2018.

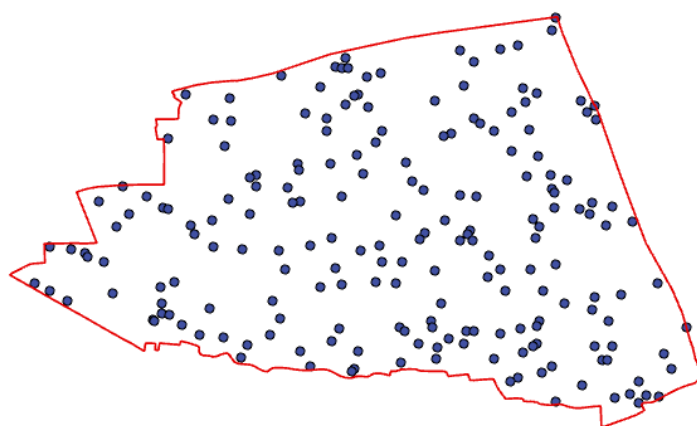


Gambar 6. Tampilan CSTRT 2019 dan hasil klasifikasi penutup lahan tahun 2019.

Tabel 3. Pengelompokan hasil koefisien kappa.

Nilai Kappa	Kategori
< 0.2	Buruk (Poor)
0.21-0.40	Lumayan (Fair)
0.41-0.60	Cukup (Moderate)
0.61-0.80	Baik (Good)
0.81-1.00	Sangat Baik (Very Good)

Sampel untuk mendapatkan akurasi dari ketiga model yang dihasilkan diambil secara acak sebanyak 200 sampel pada masing-masing model (Gambar 7). Hasil overall accuracy dan akurasi kappa untuk tahun 2017 adalah 0.82 dan 0.82, untuk tahun 2018 overall accuracy dan akurasi kappa adalah 0.82 dan 0.83 sedangkan untuk tahun 2022 nilainya adalah 0.86 dan 0.89 (Tabel 4). Hasil uji ini menunjukkan bahwa akurasi hasil klasifikasi otomatis menggunakan data Citra Satelit Pleiades dan Foto Udara pada tahun 2017, 2018, dan 2022 masuk dalam kategori sangat baik.



Gambar 7. Sebaran sampel uji pada penelitian.

Tabel 4. Nilai akurasi tutupan lahan tahun 2017,2018, dan 2022.

Tahun	Kappa Accuracy	Overall Accuracy
2017	0.82	0.82
2018	0.83	0.82
2022	0.89	0.86

Tabel 5. Matriks perubahan tutupan lahan 2017-2018 (Ha).

Tahun dan Klasifikasi Penutup Lahan		2018					Total Area 2017
		Lahan Terbangun	Vegetas Tinggi	Lahan Terbuka	Vegetasi Rendah	Badan Air	
2017	Lahan Terbangun	73.43	9.61	53.13	71.80	-	207.97
	Vegetasi Tinggi	5.35	30.59	22.37	61.61	-	119.92
	Lahan Terbuka	14.14	6.85	129.03	178.51	-	328.54
	Vegetasi Rendah	7.55	17.65	31.50	122.55	-	179.25
	Badan Air	0.01	0.02	0.13	0.28	-	0.45
Total area 2018		100.49	64.72	236.17	434.75	-	

Tabel 6. Matriks perubahan tutupan lahan 2018-2022 (Ha).

Tahun dan Klasifikasi Penutup Lahan		2022					Total Area 2018
		Lahan Terbangun	Vegetasi Tinggi	Lahan Terbuka	Vegetasi Rendah	Badan Air	
2018	Lahan Terbangun	66.93	8.42	1.68	21.49	-	100.53
	Vegetasi Tinggi	9.20	27.56	0.87	27.10	-	64.74
	Lahan Terbuka	23.14	24.21	53.81	135.05	-	326.22
	Vegetasi Rendah	29.34	57.16	43.63	304.63	-	434.77
	Badan Air	-	-	-	-	-	-
Total area 2022		130.61	117.36	99.99	488.26	-	

Tabel 7. Matriks perubahan tutupan lahan 2017-2022 (Ha).

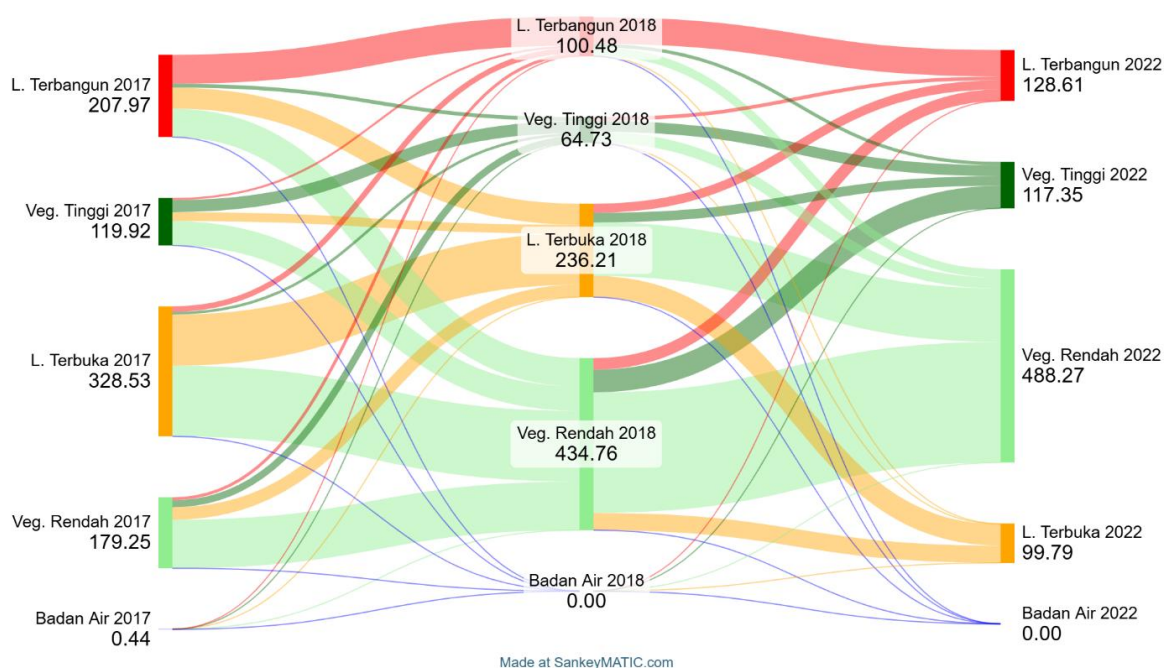
Tahun dan Klasifikasi Penutup Lahan		2022					Total Area 2017
		Lahan Terbangun	Vegetasi Tinggi	Lahan Terbuka	Vegetasi Rendah	Badan Air	
2017	Lahan Terbangun	83.77	31.64	7.02	85.63	-	208.06
	Vegetasi Tinggi	10.82	48.50	0.94	59.68	-	119.94
	Lahan Terbuka	24.70	6.29	81.52	216.34	-	328.58
	Vegetasi Rendah	11.34	30.85	10.74	126.37	-	179.31
	Badan Air	0.05	0.06	-	0.34	-	0.45
Total area 2022		130.67	117.35	99.96	488.36	-	

Perubahan tutupan lahan terjadi pada setiap kelas pada setiap tahunnya. Masing-masing perubahan luasan, baik yang berkurang maupun bertambah. Perubahannya dapat dilihat pada tabel 7. Gambar 8 menggambarkan perubahan luasan masing-masing kelas dalam periode tahun 2017, 2018 dan 2022.

Tabel 8. Luas dan persentase tutupan lahan berdasarkan tahun dan kelas (Ha).

	2017	%	2018	%	2011	%
Lahan Terbangun	209.45	25.03	101.71	12.16	130.54	15.60
Vegetasi Tinggi	119.56	14.29	63.91	7.64	117.38	14.03
Lahan Terbuka	327.95	39.20	236.68	28.29	99.64	11.91
Vegetasi Rendah	179.26	21.42	434.36	51.92	489.12	58.46
Badan Air	0.47	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00

Perubahan pengurangan Lahan Terbangun sangat jarang terjadi. Namun karena likuefaksi yang terjadi di Petobo, Palu wilayah ini mengalami perubahan pengurangan Lahan terbangun secara signifikan. Perubahan yang terjadi lebih dari 50% wilayah yaitu dari 25.03% menjadi 12.16%. Perubahan lahan terbuka semakin berkurang dari tahun ke tahun seiring dengan kebutuhan penggunaan lahan. Berbanding terbalik dengan tutupan lahan untuk Kelas Vegetasi Rendah yang terdiri dari padang rumput, semak belukar, pertanian, dan perkebunan yang terus mengalami peningkatan. Kondisi terbaru untuk wilayah likuefaksi menjadi Vegetasi Rendah karena di dominasi oleh semak belukar.



Gambar 8. Diagram sankey perubahan tutupan lahan Wilayah Petobo, Palu tahun 2017-2018-2022 berdasarkan kelas tutupan lahan (Ha).

3.2. Diskusi

Penelitian ini menggunakan algoritma Random Forest untuk klasifikasi citra satelit Pleiades, yang diintegrasikan dengan platform Google Earth Engine (GEE). Metode ini terbukti menghasilkan peta tutupan lahan dengan akurasi tinggi, sehingga memberikan keandalan signifikan dalam menganalisis perubahan penggunaan lahan. Hasilnya mendukung pengambilan keputusan berbasis data, terutama untuk mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang.

Diagram Sankey menunjukkan perubahan tutupan lahan Wilayah Petobo, Palu secara temporal pada tahun 2017-2018-2022 berdasarkan lima kelas tutupan lahan (Gambar 8.). Berbagai temuan penting didapatkan dari hasil klasifikasi perubahan tutupan lahan antara tahun penelitian tersebut. Luas lahan terbangun tahun 2018 mengalami penurunan akibat

bencana likuefaksi, dan selanjutnya meningkat kembali pada tahun 2022. Lahan dengan vegetasi tinggi seperti kebun dan tanaman campuran mengalami penurunan, tetapi tetap menunjukkan stabilitas di sekitar angka 117.35 Ha pada 2022.

Sementara itu, luas lahan terbuka mengalami penurunan signifikan dari 328.53 Ha pada 2017 menjadi 236.21 Ha pada 2018 dan terus menyusut menjadi 99.79 Ha pada 2022. Di sisi lain, luas lahan bervegetasi rendah yang terdiri dari semak belukar, rumput, dan pertanian menunjukkan peningkatan signifikan hingga 488.27 Ha pada 2022. Badan Air seperti kolam dan sungai/saluran air yang luasnya pada tahun 2017 hanya 0.44 Ha, sesudah bencana likuefaksi pada tahun 2018 dan 2022 tidak teridentifikasi lagi. Badan air yang teridentifikasi di tahun 2017 terdapat di wilayah bencana likuefaksi. Struktur tanah dan topografi berubah setelah terjadinya likuefaksi yang menyebabkan badan air tidak teridentifikasi kembali. Pada tahun 2018 badan air ini berubah menjadi lahan terbuka berupa tanah kosong sedangkan tahun 2022 menjadi vegetasi. Berbagai temuan ini mencerminkan dinamika kompleks dalam perubahan tutupan lahan yang dapat dipengaruhi oleh faktor pembangunan, pengelolaan lingkungan, dan kebijakan tata ruang di area tersebut.

Studi ini berhasil mengungkap perubahan signifikan pada komposisi tutupan lahan akibat likuefaksi. Pada tahun 2017, lahan terbangun mencakup 25,03% dari total wilayah, tetapi setelah bencana likuefaksi tahun 2018, luasanannya turun drastis menjadi 12,16%. Data tahun 2022 menunjukkan peningkatan kembali lahan terbangun menjadi 15,60%, yang mencerminkan adanya upaya rehabilitasi pascabencana. Namun, dominasi vegetasi rendah sebesar 58,46% pada tahun 2022 mengindikasikan adanya perubahan dalam penggunaan lahan.

Sebagian besar wilayah selatan Petobo, yang sebelumnya diidentifikasi sebagai lahan terbangun pada 2017 dan terdampak likuefaksi pada 2018, tidak lagi digunakan sebagai lahan terbangun pada 2022 dan saat ini digunakan sebagai ruang terbuka hijau dengan kenampakan berupa semak belukar. Tren ini menunjukkan bahwa likuefaksi memiliki dampak langsung terhadap lanskap fisik wilayah. Selain itu, peningkatan lahan terbuka dan vegetasi rendah mencerminkan pola adaptasi masyarakat dalam menyesuaikan diri terhadap kondisi baru pascabencana. Adaptasi ini dinilai tepat mengingat kecamatan Palu Selatan termasuk berisiko likuefaksi tinggi [31]. Untuk menghindari bencana likuefaksi kembali, pemerintah sedang merencanakan bagian timur dari Wilayah Petobo sebagai wilayah relokasi. Karena diindikasikan wilayah ini tidak terdampak likuefaksi tahun 2018.

Hasil studi ini konsisten dengan penelitian di wilayah lain yang terdampak bencana, seperti di Turki dan Jepang [14], [32] yang menunjukkan bahwa gempa bumi dapat mengubah pola pemukiman dan menyebabkan degradasi lahan. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan fokus khusus pada likuefaksi, sebuah topik yang masih jarang dikaji. Penggunaan data resolusi tinggi seperti citra Pleiades memungkinkan deteksi perubahan tutupan lahan secara lebih rinci, termasuk hilangnya badan air, yang sulit terdeteksi oleh data resolusi

rendah seperti Landsat [33]. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan wawasan lebih mendalam tentang dampak likuefaksi terhadap perubahan penggunaan lahan.

Hasil studi ini diharapkan dapat membantu para pembuat kebijakan dan perencana tata ruang untuk lebih memperhatikan kerawanan lokasi terhadap bencana, terutama likuefaksi. Informasi mengenai perubahan tutupan lahan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyusun strategi mitigasi yang lebih efektif, guna meminimalkan risiko korban jiwa dan kerugian ekonomi. Integrasi analisis kerawanan bencana, seperti pemetaan risiko likuefaksi [31], serta kajian infrastruktur tahan bencana [34], [35] sangat penting untuk perencanaan tata ruang yang lebih tanggap bencana dan berkelanjutan. Dengan pendekatan ini, pembangunan dapat diarahkan untuk mendukung keberlanjutan sekaligus mengurangi dampak risiko bencana di masa depan.

4. Kesimpulan

Teknologi penginderaan jauh seperti citra satelit resolusi tinggi dan foto udara dapat digunakan sebagai salah satu alternatif dalam melakukan pemantauan terhadap perubahan penutup lahan secara temporal. Klasifikasi otomatis menggunakan metode Random forest terbukti dapat menghasilkan model dengan akurasi yang sangat baik. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai kappa dan overall akurasi yang dihasilkan yaitu 82.4 dan 0.82 untuk tahun 2017, 82.3 dan 0.83 untuk tahun 2018, dan 85.5 dan 0.89 untuk tahun 2022. Identifikasi penutup lahan di Wilayah Petobo, Palu untuk Lahan Terbangun menurun pada tahun 2018 diakibatkan oleh bencana likuefaksi di wilayah tersebut. Penutup lahan untuk Lahan Terbuka mengalami penurunan dari tahun 2017 hingga 2022 karena pemanfaatan lahan dari tahun ke tahun, sedangkan penutup lahan untuk kategori Vegetasi Rendah menunjukkan tren peningkatan hal ini diakibatkan oleh wilayah yang terdampak likuefaksi saat ini didominasi oleh Vegetasi Rendah.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia atas dukungan yang diberikan selama penulis melaksanakan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial yang telah menyediakan data citra satelit dan foto udara Wilayah Petobo untuk berbagi pakai sehingga dapat digunakan untuk penelitian ini.

Referensi

- [1] Lambin EF, Turner BL, Geist HJ, Agbola SB, Angelsen A, Bruce JW, et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 2001;11:261–9.
- [2] Anissa AC, Rini EF, Soedwiwahjono S. Analisis perbandingan perubahan tutupan lahan menggunakan Citra Satelit Landsat 8 di Kecamatan Tawangmangu. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif* 2024;19:184–99.

- [3] Muslim S, Utomo RP, Permana CTH. Perubahan penggunaan lahan dan pola spasial tutupan lahan di sekitar Kawasan Industri Purwosuman, Sragen. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif* 2023;18:38.
- [4] Nath B, Niu Z, Singh RP. Land Use and Land Cover changes, and environment and risk evaluation of Dujiangyan city (SW China) using remote sensing and GIS techniques. *Sustainability* 2018;10:4631.
- [5] Karadeniz E, Sunbul F. Land use and land cover change in Duzce region following the major earthquake: implications for ANN and Markov Chain Analysis. *Environmental Earth Sciences* 2023;82:243.
- [6] Chen Y, Nakatsugawa M. Analysis of changes in land use/land cover and hydrological processes caused by earthquakes in the Atsuma River Basin in Japan. *Sustainability* 2021;13:13041.
- [7] Syahbana AJ, Sugianti K. Pemodelan 2D perubahan tekanan air pori hubungannya dengan Likuifaksi: Studi kasus Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 2013;4:163–77.
- [8] Juang CH, Ching J, Luo Z. Assessing SPT-based probabilistic models for liquefaction potential evaluation: a 10-year update. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards* 2013;7:137–50.
- [9] Iqbal P, Tohari A, Sadisun IA, Nugroho D. Fasies Sedimen Kuartir berpotensi likuifaksi Pesisir Kota Padang, Provinsi Sumatra Barat berdasarkan Data Inti Bor dan CPTu. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 2014;5:1–18.
- [10] Thein PS, Pramumijoyo S, Brotopuspito KS, Kiyono J, Wilopo W, Furukawa A, et al. Estimation of seismic ground motion and shaking parameters based on microtremor measurements at Palu city, Central Sulawesi province, Indonesia. *International Journal of Geological and Environmental Engineering* 2014;8:308–19.
- [11] Jalil A, Fathani TF, Satyarno I, Wilopo W. Liquefaction in Palu: the cause of massive mudflows. *Geoenvironmental Disasters* 2021;8:21.
- [12] Hazarika H, Rohit D, Pasha SMK, Maeda T, Masyhur I, Arsyad A, et al. Large distance flow-slide at Jono-Oge due to the 2018 Sulawesi Earthquake, Indonesia. *Soils and Foundations* 2021;61:239–55.
- [13] Muslim S, Utomo RP, Permana CTH. Perubahan penggunaan lahan dan pola spasial tutupan lahan di sekitar Kawasan Industri Purwosuman, Sragen. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif* 2023;18:38.
- [14] Nath B, Niu Z, Singh RP. Land Use and Land Cover changes, and environment and risk evaluation of Dujiangyan city (SW China) using remote sensing and GIS techniques. *Sustainability* 2018;10:4631.
- [15] Sainuddin S. Analisis Dampak Kerusakan Infrastruktur Akibat Likuifaksi Di Palu. *Jurnal Azimut* 2022;4:78–84.

- [16] Bashiir MF, Kurniadin N. Deteksi Kerusakan Perkotaan Akibat Gempa Bumi di Kota Palu Menggunakan Data Satelit Sentinel-1. *Buletin Poltanesa* 2021;22:66–9.
- [17] Martinez SL, See L, Yordanov M, Verhegghen A, Elvekjaer N, Muraro D, et al. Automatic classification of land cover from LUCAS in-situ landscape photos using semantic segmentation and a Random Forest model. *Environmental Modelling & Software* 2024.
- [18] Faheem Z, Kazmi JH, Shaikh S, Arshad S, Mohammed S. Random forest-based analysis of land cover/land use LCLU dynamics associated with meteorological droughts in the desert ecosystem of Pakistan. *Ecological Indicators* 2024;159:111670.
- [19] Kasahun M, Legesse A. Machine learning for urban land use/cover mapping: Comparison of artificial neural network, random forest and support vector machine, a case study of Dilla town. *Heliyon* 2024;10.
- [20] Aziz F, Kusratmoko E, Manessa MDM. Google earth engine application for estimating changes in water surface area of Lake Toba. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 500, IOP Publishing; 2020, p. 012028.
- [21] Guo F, Fan L, Zhang C, Xue S. A novel space–spectrum array tile probability random-forest model enhances LULC mapping accuracy on Google Earth Engine: An experiment in Ordos, China. *Ecological Informatics* 2024;81:102607. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102607>.
- [22] Patel A, Vyas D, Chaudhari N, Patel R, Patel K, Mehta D. Novel approach for the LULC change detection using GIS & Google Earth Engine through spatiotemporal analysis to evaluate the urbanization growth of Ahmedabad city. *Results in Engineering* 2024;21:101788. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101788>.
- [23] Farhan M, Wu T, Amin M, Tariq A, Guluzade R, Alzahrani H. Monitoring and prediction of the LULC change dynamics using time series remote sensing data with Google Earth Engine. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 2024;136:103689. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103689>.
- [24] Sumarsono M, Sukojo B. Analisa Ketelitian Orthorektifikasi Citra Pleiades untuk Pembuatan Peta Rencana Detail Tata Ruang Terbuka Hijau (Studi Kasus: Kota Surabaya). *Jurnal Teknik ITS* 2016;5. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17167>.
- [25] Phan T-N, Kuch V, Lehnert L. Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier - The Role of Image Composition. *Remote Sensing* 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>.
- [26] Putri K, Handayani H. Perbandingan Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machine (SVM), dan Random Forest (RF) dengan Bahasa Pemrograman R. *GEOID* 2024;19:349–60. <https://doi.org/10.12962/geoid.v19i2.1145>.

- [27] Islami FA, Tarigan SD, Wahjunie ED, Dasanto BD. Accuracy Assessment of Land Use Change Analysis Using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022;950:012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012091>.
- [28] Sadono R, Hartono H, Machfoedz M, Setiaji S. Monitoring Land Cover Changes in the Disaster-Prone Area: A Case Study of Cangkringan Sub-District, the Flanks of Mount Merapi, Indonesia. Forum Geografi 2017;31. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v31i2.5324>.
- [29] Chrysilla F, Komariah S, Wulandari P. Kelas Sosial dan Budaya Konsumtif dalam Ruang Lingkup Masyarakat Metropolis dan Tradisional: Teori Perubahan Sosial. SOSIETAS 2023;13:117–23. <https://doi.org/10.17509/sosietas.v13i2.57708>.
- [30] Marwati A, Prasetyo Y, Suprayogi A. Analisis Perbandingan Klasifikasi Tutupan Lahan Kombinasi Data Point Cloud Lidar Dan Foto Udara Berbasis Metode Segmentasi Dan Supervised. Jurnal Geodesi Undip 2018;7:36–45.
- [31] Rezki D. Pemetaan Risiko Likuifaksi Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Dan Weighted Overlay Di Kota Palu, Sulawesi Tengah. Jurnal Teknik Geologi : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi 2023;6:1. <https://doi.org/10.30872/jtgeo.v6i1.12204>.
- [32] Chen Y, Nakatsugawa M. Analysis of changes in land use/land cover and hydrological processes caused by earthquakes in the Atsuma River Basin in Japan. Sustainability 2021;13:13041.
- [33] Rafsenja U, Muh L, Jaya G, Rahim S. Analisis Perbandingan Citra Landsat 8 dan Citra Sentinel 2-A untuk Mengidentifikasi Sebaran Mangrove. Jurnal Geografi Aplikasi Dan Teknologi 2020;4:63–70.
- [34] Madutujuh N. “Seminar on Palu Earthquake : Rehabilitasi dan Mitigasi Pasca Bencana Gempa Palu 28 Sept 2018” Sistem Struktur dan Pondasi Bangunan Tahan Gempa, Retakan tanah, Liquifaksi, Aliran Tanah dan Gelombang Tsunami untuk daerah Palu. 2019.
- [35] Anidhea NO. Identifikasi Karakteristik Struktur Tanah Dan Mitigasi Bencana Likuifaksi di Sulawesi Tengah. Proceedings of the Universitas Negeri Surabaya Physics Seminar, vol. 5, 2021, p. 144–50.