



PEMANFAATAN CITRA SATELIT UNTUK MENGANALISIS DAMPAK LIKUIFAKSI TERHADAP PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAN TUTUPAN VEGETASI DI DESA PETOBO, KOTA PALU, TAHUN 2018

Dian Apita Sari¹, Dita Novelasti Ayugrahani², Khairul Anam³, Khalisha Noer Mumtaz⁴, Muhamad Nurwahyudin⁵, Sandra Tiana⁶

Program Studi Sains Informasi Geografi Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial

Universitas Pendidikan Indonesia,

Email : dianapita04@upi.edu ditanovelasti19@upi.edu khalishamumtaz13@upi.edu
khairulanam@upi.edu mnwahyudin123@upi.edu sandratiana@upi.edu

[Doi.org/10.24036/geografi/volx-issx/xxx](https://doi.org/10.24036/geografi/volx-issx/xxx)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis dampak likuifaksi khususnya di desa Petobo, Kota Palu, Sulawesi tengah tahun 2018. Penelitian ini dikaji melalui beberapa pendekatan dan metode analisis dalam penginderaan jauh. Dalam hal ini mengidentifikasi berbagai parameter dampak mulai dari pola perubahan topografi dan penggunaan lahan berbasis analisis OBIA (*Object Based Image Analysis*), dan *Change Detection*. Disisi lain analisis tingkat kehijauan, kerapatan vegetasi maupun suhu permukaan dengan metode NDVI, MSARVI dan LST (*Land Surface Temperatur*). Analisis spasial dan temporal dilakukan untuk memahami evolusi fenomena likuifaksi dan dampaknya di wilayah Desa Petobo. Hasil dari penelitian ini menunjukkan dampak bencana likuifaksi dari segi peningkatan suhu, vegetasi, dan perubahan penggunaan lahan dengan berbagai metode pendekatan. Hasilnya, sebesar 156.0182 hektare merupakan luas daerah yang terdampak likuifaksi. Suhu sebelum terjadi gempa memiliki suhu 26°C meningkat 2°C menjadi 28°C. Pada daerah likuifaksi, kerapatan vegetasi turun 100% akibat likuifaksi atau hampir 78 hektar mengalami penurunan kerapatan vegetasi yang signifikan. Sebanyak 6.8% lahan vegetasi, 1.6% lahan terbangun, dan 10.7% lahan pertanian bertambah. Sedangkan lahan kosong berkurang hingga 19.1 %.

Kata Kunci : Likuifaksi, Dampak, Penginderaan Jauh

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of liquefaction, especially in Petobo village, Palu City, Central Sulawesi in 2018. This research was studied through several approaches and analytical methods in remote sensing. In this case, it identifies various impact parameters ranging from topographic and land-use change patterns based on OBIA (Object Based Image Analysis) analysis, and Change Detection. On the other hand, analysis of greenness, vegetation density and surface temperature using NDVI, MSARVI and LST (Land Surface Temperature) methods. Spatial and temporal analysis was conducted to understand the evolution of liquefaction phenomena and their impact in the Petobo Village area. The results of this research show the impact of liquefaction disasters in terms of increasing temperature, vegetation, and land use changes with various methods of approach. As a result, 156.0182 hectares is the area affected by liquefaction. The temperature before the earthquake had a temperature of 26°C increased by 2°C to 28°C. In liquefaction areas, vegetation density decreased by 100% due to liquefaction or almost 78 hectares experienced a significant decrease in vegetation density. As much as 6.8% of vegetation land, 1.6% of built-up land, and 10.7% of agricultural land increased. Meanwhile, vacant land was reduced by 19.1%.

.Keywords : Liquefaction, Impact, Remote Sensing

Pendahuluan

Saat ini Indonesia dapat dikatakan sebagai daerah rawan terhadap gempa bumi, yang mana hal ini dikarenakan Indonesia memiliki jalur pertemuan tiga lempeng tektonik yang berbeda. Yang pertama merupakan lempeng IndoAustralia, yang kedua lempeng Eurasia dan yang ketiga lempeng Pasifik. Faktor utama adanya gempa bumi dan beberapa fenomena yang terjadi ini karena kegalatan dari struktur tanah, tanah longsor, gelombang tsunami dan likuifaksi. Bencana Gempa Bumi dapat menyebabkan adanya kerusakan infrastruktur pada suatu daerah. Fenomena akibat kerusakan infrastruktur tersebut adalah likuifaksi.

Fenomena Likuifaksi ini merupakan salah satu peristiwa meningkatnya Tingkat tekanan air pori tanah akibat tegangan siklik dalam geografi tanah yang akibatkan oleh gempa bumi. Peristiwa Likuifaksi merupakan gejala peluluhan pasir lepas yang bercampur dengan air akibat guncangan gempa dimana gaya pemicunya melebihi gaya tetap yang dimiliki litologi setempat dalam menahan guncangan. Likuifaksi ini pada umumnya terjadi pada tanah pasir lepas (tidak padat) dan beradadalam kondisi yang jenuh atau tersaturasi. Pondasi pasir lepas ini tidak memiliki kohesi yang kuat sehingga mudah terjadi likuifaksi dengan adanya gempa bumi. Pada air pori yang memiliki kandungan tanah akan mendorong partikel tanah dan akan membuat ikatan antar partikel tanah dan akan terjadi likuifaksi tanah. Berdasarkan kondisi geografis dan geologinya, pada daerah Kota Palu memiliki potensi yang sangat besar mengalami kerusakan akibat gempa bumi dan mengalami terjadinya Likuifaksi. Pada tahun 2018 Kota Palu mendapatkan bencana alam gempa bumi dengan 7.7 SR yang getarannya terasa sampai seluruh

pulau Sulawesi, salah satu

daerah yang terdampak likuifaksi terparah terdapat padawilayah Desa Petobo.

Desa petobo merupakan salah satu dari kelurahan di Kecamatan Palu selatan, Kota Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia. Kondisi Geografis Desa Petobo berada di letak 119° 56' 14" BT dan berada di 119° 53' 40" BT dan 0°56' 50" LS dan 0°55' 16" LS. Desa Petobo menjadi sangat fenomenal setelah peristiwa likuifaksi pada tanggal 28 September 2018. Desa Petobo berada ditengah – tengah kota yang berbatasan dengan wilayah antar kelurahan sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Kelurahan Birobuli Selatan / Utara / Kawatuna
- Sebelah Selatan : Desa Loru, Desa Mpanau Kab sigi Biromaru
- Sebelah Timur : Desa Ngatabaru Kab Sigi Biromaru
- Sebelah Barat : Kelurahan Birobuli Selatan

Desa Petobo sebelum bernama petobo daerah ini memiliki nama Jajaki yang artinya polibu atau musyawarah. Wilayah jajaki yang terdiri beberapa bagian, yaitu Boya, Varo, Nambo, Ranjobori, Pantaledoke, Popempenomo, dan Kaluku Lei. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), mencatat, gempa 7,4 SR yang memicu likuifaksi di tanah seluas 160 hektare dari total keseluruhan Desa Petobo yaitu sebesar 894 hektare.

Dalam Dokumen Rencana Tata Ruang Kota (RUTRK) Kotamadya Palu tahun 1995, tertulis bahwa dalam periode yang ditentukan penggunaan lahan untuk pemukiman dan pembangunan fasilitas umum di Kelurahan Petobo, hanya seluas 40,306 hektare, sedangkan sisanya berupa penggunaan lahan, kebun kelapa, jaringan irigasi. Namun, berikutnya Desa Petobo

dipadati dengan hunian, kompleks – kompleks perumahan yang dibangun di atas bekas Sungai Ngia. Dibevas sungai itulah, lumpur likuifaksi 28 September melumat ratusan rumah dan bangunan lain setelah gempa mengguncang di batas timur.

Bencana alam yang terjadi di Desa Petobo tahun 2018 ini yaitu gempa bumi yang menyebabkan tsunami serta fenomena likuifaksi yang terjadi (*Soil Liquefaction*) Gempa ini didahului gempa awal dan dilanjutkan dengan ratusan gempa aftershock yang cukup besar magnitudenya. Korban jiwa dan kerusakan yang dialami akibat gempa ini yaitu efek percepatan gempa vertikal, retakan dan gelombang tanah, fenomena likuifaksi, fenomena likuifaksi aliran, dan gelombang tsunami yang cukup besar. Ribuan rumah dan gedung yang rusak atau hancur serta banyak korban jiwa mencapai 2113 orang pada (21 Oktober 2018) dan 843 orang masih dinyatakan hilang dan kerugian mencapai 15,29 Triliun mencapai 13,27 Triliun (BNPB, 21 Oktober 2018).

Kajian Teori

MSARVI (*Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*)

MSARVI adalah salah satu metode penginderaan jauh yang digunakan untuk mengidentifikasi kepadatan tumbuhan dengan memanfaatkan citra satelit. Pendekatan ini bergantung pada perbandingan antara panjang gelombang inframerah dekat (NIR) dan cahaya merah (RED) dalam citra satelit, yang mencerminkan kandungan klorofil dalam tanaman dan berfungsi sebagai petunjuk kepadatan vegetasi. MSARVI menilai kepadatan berdasarkan persentase dalam suatu kawasan vegetasi, di mana persentase 10-40% menunjukkan kepadatan rendah, 41-70% menunjukkan kepadatan sedang,

dan nilai di atas 70% dianggap sebagai kepadatan tinggi.

NDVI (*NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX*)

Indeks vegetasi atau biasanya yang disebut dengan NDVI merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan tanaman di suatu daerah. Metode indeks vegetasi merupakan kombinasi dua band yang berbeda, band yang digunakan yakni band merah dan band NIR (Near- Infrared Radiation) yang dapat digunakan sebagai parameter atau indikator keberadaan dan kondisi vegetasi. Algoritma pada NDVI didapatkan dari rasio antara band merah dan band inframerah yang diambil dari citra penginderaan jauh, dengan begitu indeks kehijauan pada vegetasi dengan menggunakan metode (NDVI) merupakan indeks rasio yang paling umum digunakan untuk parameter atau indikator. NDVI dihitung berdasarkan per-pixel dari selisih normalisasi antara band merah dan inframerah, rumus NDVI yang dapat digunakan adalah :

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

OBIA (*OBJECT – BASED IMAGE ANALYSIS*)

Metode OBIA atau Analisis Citra Berbasis Obyek, yang dianggap sebagai paradigma baru dalam klasifikasi citra dan merupakan sub – kajian dari ilmu Sistem Informasi Geografis (GIS) yang berfokus pada pengembangan metode analisis citra penginderaan jauh berbasis obyek, sehingga citra dapat dibagi menjadi beberapa obyek yang memiliki makna khusus (Navulur, 2007) Dalam Konsep ini OBIA memiliki kemampuan untuk mendefinisikan kelas – kelas obyek berdasarkan aspek spektral dan spasial secara bersamaan (Danoendoro, 2012).

Klasifikasi citra pada perkembangannya dibagi menjadi dua basis yaitu klasifikasi citra berbasis (pixel base) dan berbasis obyek (Object base image analysis / OBIA). Proses tahap awal dalam OBIA melibatkan segmentasi citra, dimana piksel – piksel pada level piksel diproses untuk membentuk segmen atau objek yang homogen sesuai dengan parameter yang ditetapkan. Namun karena level segmentasi seringkali tidak efisien untuk merepresentasikan seluruh kajian dalam sebuah scene citra. Pengolahan dengan OBIA ini bertujuan untuk memetakan penggunaan lahan Di Desa Petobo dengan pemanfaatan software ArcGIS yang dilakukan dengan menggunakan tools segmentation dan classification.

Suhu Permukaan Tanah (*Land Surface Temperatur*)

Land surface temperature (LST) adalah parameter yang baik untuk keseimbangan suhu di permukaan bumi dan salah satu parameter utama dalam fisika khususnya terkait dengan suhu dalam proses permukaan tanah pada skala regional maupun global. LST juga memainkan peranan dalam pendekatan hidrologi, ekologi, pertanian dan proses meteorologi di permukaan bumi (Jiménez-Muñoz dan Sobrino, 2008). Suhu permukaan tanah merupakan salah satu hal penting untuk mendeteksi segala hal yang menyangkut tentang perubahan iklim. LST dapat digunakan untuk macam-macam studi ilmiah dan LST adalah parameter kunci untuk mengukur kenaikan suhu permukaan pada suatu daerah tertentu di dunia. Citra satelit adalah media untuk mengukur LST yang memiliki band termal dengan berbagai metode tergantung pada jumlah band yang digunakan (Pu dkk., 2006). Cheval dan Dumitrescu (2009) telah menemukan sesuatu bahwa pengukuran suhu satelit memberikan hasil yang lebih baik daripada

yang diperoleh dari stasiun bumi yang diinterpolasi. Tujuan dari pengolahan LST ini adalah untuk mengetahui Suhu Permukaan tanah pada Daerah Likuifaksi desa Potobo dengan menggunakan Plugin RSGIS pada Software QGIS. Untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi pada daerah Likuifaksi maka dilakukan raster calculator dengan tujuan untuk mengetahui peningkatan maupun penurunan suhu yang terjadi pada daerah tersebut.

Metodologi Penelitian

Rumus kemiringan lereng

$$s = \frac{h}{d}$$

$$s = \tan a \times 100\%$$

S : Kemiringan lereng

h: Ketinggian

d: Jarak

Tan a: Sudut derajat kemiringan

Menurut Departemen Kimpraswil (2007), lereng dibagi menjadi beberapa kelas, yaitu: datar (0–8%), landai (8–15%), agak curam (15–25%), dan curam (25–45%), dan sangat curam. (>45%). Kemiringan lereng di Desa Petobo berkisar antara 0% hingga >45%. Namun, rata-rata berkisar antara 0-15%.

Perhitungan Groundwater

$$TH = z - \text{deep}$$

TH: *Total Head*

Z: Elevasi kontur permukaan (mdpl)

Deep: Kedalaman sumur

Formula untuk indeks MSARVI (Jensen, 2007):

$$\frac{2 \times \rho_{\text{InframerahDekat}} + 1 - \sqrt{(2 \times \rho_{\text{InframerahDekat}} + 1)^2 - \gamma(\rho_{\text{InframerahDekat}} + 1)}}{2}$$

Keterangan:

$\gamma = 1$

$\rho_{\text{prb}} = \rho_{\text{Merah}} - \gamma(\rho_{\text{Biru}} - \rho_{\text{Merah}})$

$\rho = \text{Saluran}$

Perhitungan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Rentang Klasifikasi	Kerapatan
$-1 < NDVI < -0,03$	Lahan tidak bervegetasi
$-0,03 < NDVI < 0,15$	Kehijauan sangat rendah
$0,15 < NDVI < 0,25$	Kehijauan rendah
$0,25 < NDVI < 0,35$	Kehijauan sedang
$0,35 < NDVI < 1$	Kehijauan tinggi

Menentukan Suhu Permukaan Tanah (Land Surface Temperature)

$$LST = \frac{T\beta}{1 + \left(\frac{\lambda T\beta}{p}\right) \ln \varepsilon}$$

$$p = \frac{hc}{\delta}$$

Keterangan

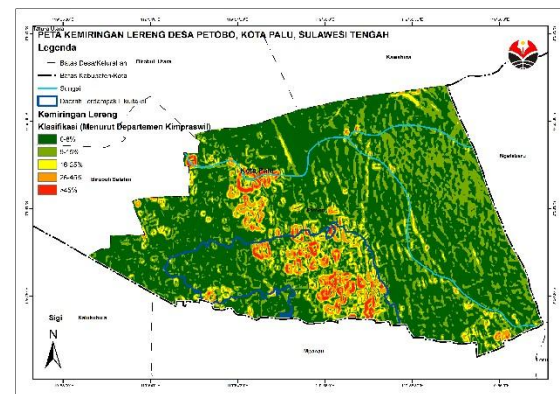
$T\beta$: Kecerahan Temperature dalam Kelvin,

λ : Panjang gelombang dari radiasi yang diemisi, ε = Emisivitas, δ = Konstanta Boltzmann $-1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$,

h : Konstanta Planck $-6.626 \times 10^{-34} \text{Js}$,

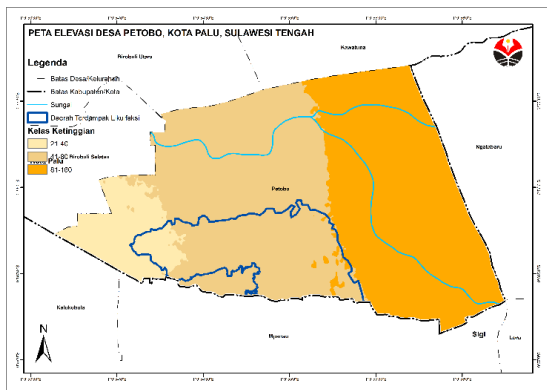
c : Kecepatan cahaya $-2.998 \times 10^8 \text{m/s}$, dan $p = 14380 \text{mK}$.

PEMBAHASAN



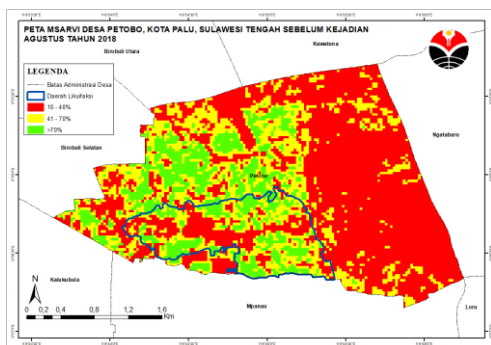
Gambar 1. Peta Kemiringan Lereng di Desa Petobo, Kota Palu.

Kemiringan suatu lereng adalah perbedaan ketinggian (relief) permukaan tanah, yaitu sudut antara permukaan datar tanah dengan bidang mendatar, dan umumnya dihitung dalam persentase (%). Ada berbagai kelas kemiringan berdasarkan tingkat kemiringan suatu negara. Menurut Standarisasi kelas kemiringan oleh Departemen Kimpraswil (2007), lereng dibagi menjadi beberapa kelas, yaitu: datar (0–8%), landai (8–15%), agak curam (15–25%), dan curam (25–45%), dan sangat curam. (>45%). Kemiringan lereng di Desa Petobo berkisar antara 0% hingga >45%. Namun, rata-rata berkisar antara 0-15%. Di daerah terdampak likuifaksi terlihat bahwa kemiringan lereng di daerah tersebut mayoritas berkisar 15-45% yang mana sedikit curam. Diidentifikasi bahwa kawasan Desa Petobo yang terdampak likuifaksi adalah Sungai Ngia (Kapopo) yang terlihat pada kawasan yang terbentuk seperti *oxbow lake* sungai mati.



Gambar 2. Peta Elevasi Desa Petobo

Elevasi atau ketinggian tempat pada daerah kajian di Desa Petobo terdapat tiga kelas klasifikasi yakni: 21-40 mdpl, 41-80 mdpl, dan 81-160 mdpl. Daerah terdampak likuifaksi berada pada ketinggian 21-81 mdpl. Arah likuifaksi sejalan dengan elevasi yang ada. Elevasi terlihat menurun ke arah barat Desa Petobo yang mana terdapat Sungai Palu di arah barat yang mana menjadi titik terendah di Kota Palu. Arah likuifaksi mengarah ke barat karena sifat likuifaksi yang mengikuti sifat air yang mengalir dari daerah tinggi ke rendah. Sehingga arah likuifaksi mengarah ke wilayah yang lebih rendah yaitu di kawasan Desa Petobo bagian barat.

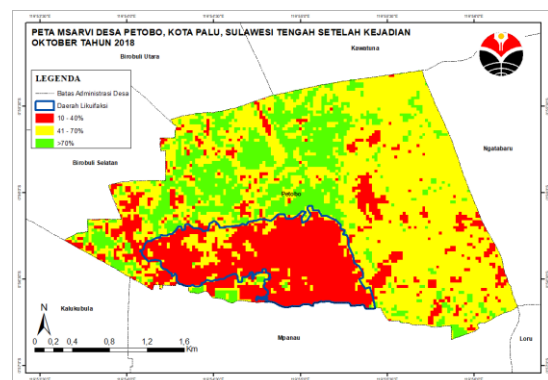


Gambar 3. Peta MSARVI Sebelum Kejadian Gempa Bumi

Tabel 1. Luas Area Nilai MSARVI Dampak Likuifaksi Sebelum Kejadian.

Presentase Kerapatan	Luas (Ha)
10 – 40 %	52,97046
41 – 70 %	54,93705
> 70 %	48,00171

Dari hasil MSARVI dari citra satelit Landsat 8 bulan Agustus 2018 sebelum kejadian terlihat bahwa Desa Petobo memiliki vegetasi yang jarang/ rendah dengan presentase kerapatan 10 – 40 %. Presentase rendah ditemukan dibagian timur Desa Petobo yang penggunaan lahannya merupakan Lahan Kosong yang jika dilihat pada citra seperti akan dibuat menjadi perumahan. Pada simbol berwarna biru tua merupakan daerah yang terdampak likuifaksi sebelum kejadian gempa bumi. Terlihat bahwa daerah tersebut untuk setiap presentase kerapatan vegetasinya memiliki luasan yang seimbang, dengan paling tinggi direntan 41 – 70 %.



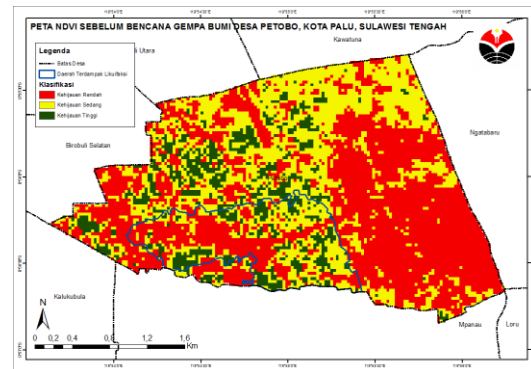
Gambar 4. Peta MSARVI Sesudah Kejadian Gempa Bumi

Tabel 2. Luas Area Nilai MSARVI Dampak Likuifaksi Setelah Kejadian.

Presentase Kerapatan	Luas (Ha)
10 – 40 %	130,5578
41 – 70 %	24,53595
> 70 %	0,867045

Dari Hasil MSARVI setelah kejadian gempa bumi dari data citra satelit Landsat 8 bulan Oktober 2018. Dari hasil tersebut kerapatan vegetasi meningkat dengan presentasi kerapatan 41 – 70 %, banyak ditemukan di bagian timur Desa Petobo. Hanya jarak 2 bulan kerapatan vegetasi meningkat, kemungkinan yang terjadi adalah karena musim penghujan sehingga vegetasi mulai bertumbuhan. Selanjutnya pada daerah yang diberi simbol biru tua merupakan bagian selatan Desa Petobo daerah yang terdampak likuifaksi, akibat gempa dan tsunami yang terjadi pada 28 September 2023. Perubahan signifikan terjadi karena banyak kehancuran yang terjadi pada daerah tersebut sehingga presentase kerapatan vegetasi menurun drastis menjadi 10 – 40 %. Dari awalnya kerapatan rendah memiliki luasan 52,97046 hektar menjadi 130,5578 hektar, artinya hampir 78 hektar atau sama dengan 150 % dari luasan awal mengalami penurunan kerapatan vegetasi. Dan daerah bervegetasi tinggi juga mengalami penurunan signifikan hampir 100 % dari luasan awal sebelum terjadi kejadian bencana tsunami dan gempa bumi.

NDVI



Gambar 5. Peta NDVI Sebelum Gempa bumi

Tabel 3. Luas Area Nilai NDVI Desa Petobo Sebelum Terjadi Likuifaksi

Rentang Klasifikasi	Luas (Ha)
Kehijauan Rendah (0,15< NDVI <0,25)	436,6311
Kehijauan Sedang (0,25< NDVI <0,35)	305,0844
Kehijauan Tinggi (0,35< NDVI <1)	93,89288

Dapat dilihat pada peta sebelum terjadinya bencana banjir desa Petobo ini bahwa, klasifikasi tingkat kehijauan vegetasi ini memiliki tiga(3) kelas. Hal ini dikarenakan pada Desa Petobo memiliki tingkat kehijauan yang rendah, yang didapatkan pada tingkat kehijauan paling rendah pada Desa Petobo ini adalah **0,222687924** dan yang paling tingginya adalah **0,466085374**. Namun menurut klasifikasi wahyunto bahwa NDVI itu memiliki 5 kelas, tingkat paling rendah kehijauan vegetasi pada dasarnya yakni -1 dan paling tinggi adalah 1. dapat disimpulkan bahwa daerah Kota Palu tepatnya Desa Petobo ini hanya memiliki 3 klasifikasi.

Hasil menggunakan metode NDVI pada Desa Petobo bahwa, NDVI sangat

berpengaruh dengan ada dan tidak adanya vegetasi pada suatu daerah. Dilihat dari visualisasi peta bahwa tingkat kehijauan rendah itu sangat mendominasi yang divisualisasikan menggunakan warna merah, lalu pada tingkat kehijauan sedang itu tidak terlalu mendominasi dibandingkan dengan tingkat kehijauan rendah yang divisualisasikan menggunakan warna kuning, dan klasifikasi tingkat kehijauan tinggi itu sangat sedikit dan jarang yang divisualisasikan menggunakan warna hijau. Selain melihat menggunakan visualisasi peta harus adanya data yang lebih akurat yakni menggunakan data luasan daerah tersebut. Pada hasil luasan Desa Petobo ini, yang pertama tingkat kehijauan rendah memiliki luasan 436,6311. Kemudian yang kedua tingkat kehijauan sedang memiliki luasan 305,0844, dan yang terakhir adalah tingkat kehijauan tinggi yang memiliki luas 93,89288.

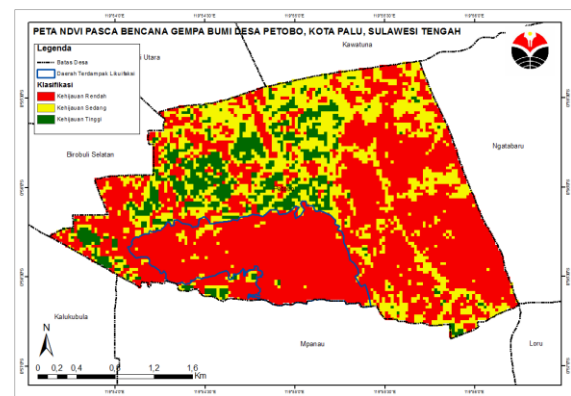
Semua data yang diolah ini diambil dari Citra Satelit Landsat 8 pada tahun 2018 bulan september tanggal 27, sebelum terjadinya gempa bumi dan likuifaksi.

Tabel 4. Luas Area Nilai NDVI Dampak Likuifaksi Sebelum Kejadian.

Rentang Klasifikasi	Luas (Ha)
Kehijauan Rendah ($0,15 < NDVI < 0,25$)	62,80245
Kehijauan Sedang ($0,25 < NDVI < 0,35$)	60,84181
Kehijauan Tinggi ($0,35 < NDVI < 1$)	31,78473

Tabel diatas mengambil data dari shapefile terdampak likuifaksi dan dijadikan luasan. Dari peta yang ditunjukkan shp luasan yang terdampak likuifaksi ini berwarna biru pada daerah selatan Desa Petobo. Hasil luasan yang

sudah diolah bahwa, tingkat kehijauan rendah pada daerah terdampak likuifaksi tersebut memiliki luasan 62,80245. Kemudian pada tingkat kehijauan sedang memiliki luasan 60,84181, dan yang terakhir tingkat kehijauan tinggi memiliki luasan 31,78473. Namun dari data diatas ini sebelum terjadi adanya bencana gempa bumi. Namun sebelum kejadian ini bahwa vegetasi yang terdapat pada dampak likuifaksi ini sangat rendah.



Gambar 6. Peta NDVI Pasca Gempa bumi

Tabel 5. Luas Area Nilai NDVI Desa Petobo setelah terjadi Likuifaksi

Rentang Klasifikasi	Luas (Ha)
Kehijauan Rendah ($0,15 < NDVI < 0,25$)	520,9935
Kehijauan Sedang ($0,25 < NDVI < 0,35$)	228,2084
Kehijauan Tinggi ($0,35 < NDVI < 1$)	86,94484

Dapat dilihat pada peta sesudah terjadinya gempa bumi pada daerah Kota Palu bagian Desa Petobo ini bahwa likuifaksi ini terjadi. Jika dilihat dari visualisasi peta yang terjadi ini bahwa dampak adanya likuifaksi pada Desa Petobo ini tidak semuanya terdampak, namun hanya beberapa bagian saja, yang sangat signifikan terjadinya likuifaksi ini pada bagian selatan. Namun luasan yang terjadi

dengan adanya bencana gempa bumi ini lumayan berpengaruh dengan pergerakan tanah pada Desa Petobo dan merubah vegetasi pada Desa tersebut. Pada luasan dengan tingkat kehijauan rendah sesudah terjadinya bencana gempa bumi dan likuifaksi ini adalah 520,9935 dengan selisih sebelumnya adalah -84,3624. Maka dapat disimpulkan bawah tingkat kehijauan rendah ini memiliki peningkatan sesudah terjadinya likuifaksi pada Desa Petobo. Kemudian tingkat kehijauan sedang setelah terjadinya likuifaksi ini adalah 228,2084 dan memiliki selisih dengan sebelum kejadian likuifaksi ini adalah 76,876 yang berarti memiliki penurunan lahan ber vegetasi . Dan yang terakhir tingkat kehijauan tinggi setelah terjadinya likuifaksi ini adalah 86,94484 dan memiliki sebelum dengan sebelum terjadinya likuifaksi ini adalah 6,94804. Maka dapat disimpulkan tingkat kehijauan tinggi ini memiliki penurunan lahan vegetasi pada Desa Petobo.

Data yang diolah ini didapatkan dari Citra Satelit Landsat 8 pada tahun 2018 bulan oktober tanggal 2, yakni sesudah terjadinya bencana gempa bumi di Kota Palu.

Tabel 6. Luas Daerah Dampak Likuifaksi Setelah Kejadian.

Rentang Klasifikasi	Luas (Ha)
Kehijauan Rendah (0,15< NDVI <0,25)	149,69
Kehijauan Sedang (0,25< NDVI <0,35)	5,568775
Kehijauan Tinggi (0,35< NDVI <1)	0,305188

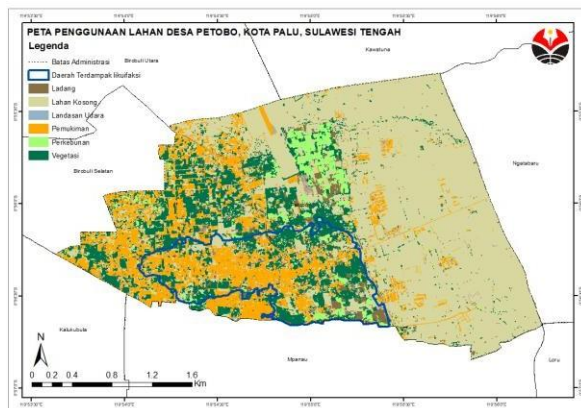
Dari hasil visualisai tersebut, kami mencoba untuk menganalisis daerah yang memili dampak terbesar likufaksi. Dapat di

digitasi bahwa dampak terbesar likuifaksi ini terjadi pada bagian selatan Desa Petobo. Setelah dibuat shp yang terdampak likuifaksi ini maka dapat dibuat luasannya. Luasan yang didapatkan pada hasil yang terdampak likuifaksi ini yang pertama ada tingkat kehijauan rendah yang memiliki luasan 149,69 dan dapat diselisihkan dengan luasan sbeleum kejadian yakni menjadi -86,88755, dapat disimpulkan bahwa kehijauan rendah ini mendapatkan peningkatan pada Desa Petobo, kemudian pada tingkat kehijauan sedang setelah terjadinya likuifaksi ini adalah 5,568788 lalu setelah diselisihkan dengan luasan sebelum terjadinya likuifaksi ini adalah 55,279035 yang berarti dampak adanya likuifaksi ini memiliki penuruna pada lahan yang memiliki vegetasi. Kemudian yang terakhir yakni tingkat kehijauan tinggi setelah terjadinya likuifaksi memiliki luasan 0,305188 dan dapat diselisihkan dengan luasan sebelum terjadinya likuifaksi ini menjadi 31,479542 yang berarti luasan pada tingkat kehijauan tinggi im mendapatkan penurunan lahan ber vegetasi.

OBIA (Pra – Likuifaksi)

Dilakukan pengolahan dengan menggunakan Metode OBIA (*Object Based Image Analysis*) yang memanfaatkan penggunaan Citra Maxar atau Citra Resolusi tinggi dengan resolusi 30 cm dan citra definisi tinggi turunan 15 cm yang menangkap obyek secara detail. Untuk pengolahan Citra maxar ini diambil pada bulan April tahun 2018 yang merupakan hasil pra likuifaksi atau sebelum terjadinya bencana yang menimpa di Desa Petobo, Kota Palu. Sehingga dapat kita lihat pada peta masih belum terlihat dampak dari likuifaksi yang menimpa Desa Petobo ini, dengan dilakukannya Metode OBIA ini diambil training sample sehingga dihasilkan beberapa klasifikasi yang

mempertimbangkan aspek spectral namun juga aspek spasial. Namun, metode OBIA juga tidak hanya bergantung pada nilai spektral saja tetapi juga mampu mengoptimasi fitur spasial dalam citra satelit sesuai dengan unsur interpretasi seperti bentuk, ukuran tekstur dan informasi konteks lainnya.



Gambar 7. Peta Penggunaan Lahan Pra – Likuifaksi dengan Metode OBIA.

Tabel 7. Luas Daerah Penggunaan lahan Desa Petobo

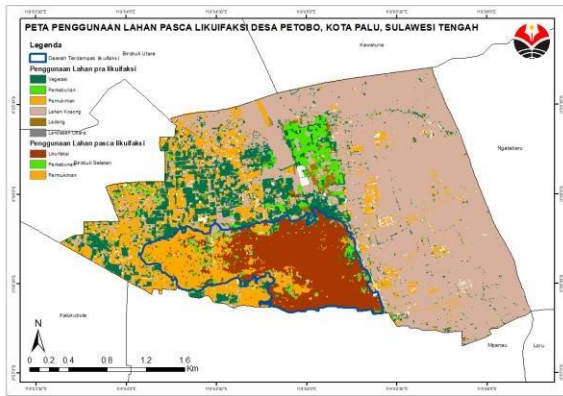
Klasifikasi	Luas Ha
Vegetasi	135.9016
Pemukiman	150.3752
Ladang	23.96687
Landasan Udara	0.6219628
Perkebunan	34.51482
Lahan Kosong	471.7373

Setelah dilakukan pengolahan dengan Metode OBIA ini didapat 6 kelas pada Desa Petobo yaitu berupa (Ladang, Lahan Kosong, Landasan Udara, Pemukiman, Perkebunan, dan Vegetasi). Dapat dilihat pada tabel bawah untuk penggunaan lahan vegetasi memiliki luas sekitar 135,9016 hektare, pada kelas penggunaan lahan Pemukiman di desa petobo memiliki luas sekitar 150.3752 hektare, lahan Ladang memiliki luas 23.96687, lahan landasan udara memiliki luas sekitar 0.6219628, perkebunan dengan

luas sekitar 34.51482, Lahan Kosong dengan luas sekitar 471.7373. Dapat disimpulkan dari data luas daerah berdasarkan penggunaan lahan diatas, Desa Petobo sangat di dominasi dengan kelas penggunaan lahan Lahan Kosong yang memiliki luas area paling tinggi di banding yang lainnya. Menurut PUPR lahan kosong itu saat ini dipenuhi rumput liar dan belum juga dimanfaatkan oleh warga, namun sebagian kecil dimanfaatkan untuk menyimpan kayu, membuat kandang ayam, membuat jemuran. hal itu dibuktikan juga pada peta yang dapat kita lihat Lahan Kosong sangat mendominasi wilayah Desa Petobo bagian Timur.

OBIA (Pasca – Likuifaksi)

Pengolahan OBIA selanjutnya masih digunakan Citra Maxar atau citra resolusi tinggi di Desa Petobo, Kota Palu. Untuk Citra yang digunakan ini adalah pasca atau setelah bencana yang menimpa Desa Petobo pada bulan Oktober tahun 2018 yang berarti 1 bulan setelah kejadian bencana itu terjadi. Untuk pengolahan metode OBIA sendiri masih sama dengan sebelumnya menggunakan proses klasifikasi spektral maupun spasial obyek, dengan proses segmentasi yang mana proses pengelompokan piksel dengan kualitas yang sama. Sebelum dilakukannya metode OBIA pada citra pun terlihat jelas daerah yang terdampak yaitu daerah bagian selatan Desa Petobo. Jika dibandingkan dengan pra terjadinya bencana dapat dianalisis bahwa penggunaan lahan yang sebelumnya adalah pemukiman dan berupa vegetasi sebelum terjadinya likuifaksi.



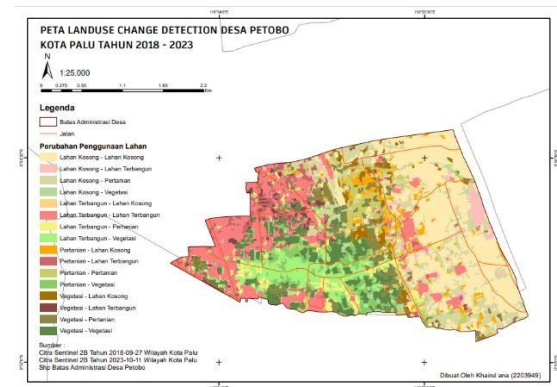
Gambar 8. Peta Penggunaan lahan Pasca – Likuifaksi dengan Metode OBIA.

Tabel 8. Luas Daerah yang terdampak Likuifaksi

Keterangan	Luas (Ha)
Daerah Terdampak Likuifaksi	156.0182

Dapat dilihat pada tabel diatas luas sekitar 156.0182 Hektare merupakan luas daerah yang terdampak likuifaksi, dari keseluruhan luas Desa Petobo sekitar 894 Hektare hasil tersebut didapatkan dari digitasi dengan citra menggunakan skala 1 : 5000. Pada Batas daerah terdampak likuifaksi yang ditandai dengan warna biru diatas masih terdeteksi pemukiman dan perkebunan, hal itu dikarenakan warna yang pada pemukiman dan perkebunan masih tertangkap dalam metode OBIA, memang benar namun pemukiman dan perkebunan tersebut sudah tercampur dengan dampak likuifaksi nya. Daerah yang terdampak akibat adanya gempa sehingga menyebabkan hilangnya kekuatan tanah sehingga tanah tersebut bergerak menyebabkan dorongan atau pergeseran terhadap penggunaan lahan yang berada di daerah tersebut tepatnya daerah selatan Desa Petobo, Kota Palu yang bisa dilihat pada peta pra likuifaksi sebelumnya penggunaan lahan tersebut merupakan pemukiman dan vegetasi yang tergeser di daerah tersebut.

Land use Change Detection



Gambar 9. Peta *Land use Change Detection* Tahun 2018 – 2023

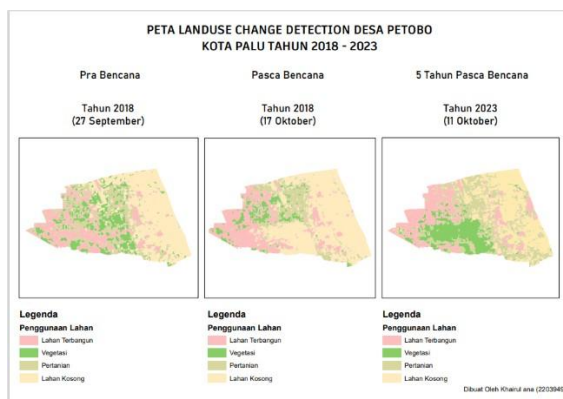
Peta *Land use / Land cover Change Detection* Desa Petobo berdasarkan hasil ekstrak dari citra Sentinel 2B tahun 2018 pra bencana Likuifaksi dan tahun 2023 saat ini menunjukkan perubahan penggunaan lahan yang cukup signifikan. Peta tersebut menunjukkan banyak sekali perubahan penggunaan lahan di seluruh wilayah desa yang dapat dirincikan pada tabel berikut.

Tabel 9. Perubahan Penggunaan Lahan Desa Petobo Tahun 2018 - 2023

No	<i>Land use Change Detection</i>	Luas (Ha)	Perse ntase %
1	Lahan Kosong - Lahan Kosong	212.8146	25.47
2	Lahan Kosong - Lahan Terbangun	21.07327	2.52
3	Lahan Kosong - Pertanian	81.24298	9.72
4	Lahan Kosong - Vegetasi	5.856217	0.70
5	Lahan Terbangun - Lahan Kosong	4.934941	0.59
6	Lahan Terbangun - Lahan Terbangun	110.9752	13.28
7	Lahan Terbangun - Pertanian	29.2077	3.50
8	Lahan Terbangun - Vegetasi	48.7035	5.83
9	Pertanian - Lahan Kosong	31.99677	3.83
10	Pertanian - Lahan Terbangun	44.04425	5.27
11	Pertanian - Pertanian	59.4248	7.11
12	Pertanian - Vegetasi	39.8123	4.77

13	Vegetasi - Lahan Kosong	22.4777 7	2.69
14	Vegetasi - Lahan Terbangun	17.9127	2.14
15	Vegetasi - Pertanian	44.3138 7	5.30
16	Vegetasi - Vegetasi	60.6344 3	7.26
Total		836.425 298	

Peta Change Detection dan data tabel atribut yang telah diekstrak memberikan kesimpulan bahwa selama 5 tahun semenjak bencana Likuifaksi terjadi menyebabkan perubahan penggunaan lahan yang signifikan pada Desa Petobo yang pada saat itu merupakan salah satu wilayah dengan dampak yang cukup parah. Selain itu proses pemulihan atau rekonstruksi dan rehabilitasi pasca bencana juga menjadi faktor perubahan penggunaan lahan di Desa Petobo.



Gambar 10. Peta *Land use Change Detection* Tahun 2018 – 2023

Peta tersebut menunjukkan perubahan penggunaan lahan desa Petobo secara temporal sebelum, sesudah dan 5 tahun setelah bencana likuifaksi di wilayah tersebut terjadi. Bencana Likuifaksi terjadi pada tanggal 28 September. Berdasarkan peta dan data hasil pengolahan, perbandingan antara luas vegetasi sebelum dan sesudah bencana pada tahun 2018

menurun hingga 4.5% (16.2% - 11.7%), luas lahan terbangun menurun hingga 2.4 % (24.4% - 21.7%), begitupun dengan luas lahan pertanian yang menurun hingga 6.1% (21% - 14.9%) dari luas lahan pra terjadinya bencana. Disisi lain luas lahan kosong meningkat hingga 13.3%. Data tersebut didapatkan berdasarkan interpretasi citra yang mana citra pasca bencana diambil pada tanggal 17 Oktober 2018 sekitar 19 hari setelah bencana terjadi. Maka dari itu luas lahan kosong yang meningkat berdasarkan interpretasi citra bisa saja menunjukkan lahan terdampak bencana yang menjadi lumpur atau reruntuhan bangunan sehingga kemudian diidentifikasi sebagai penggunaan lahan kosong.

Tabel 10. Perubahan Penggunaan Lahan Desa Petobo Pra & Pasca Bencana

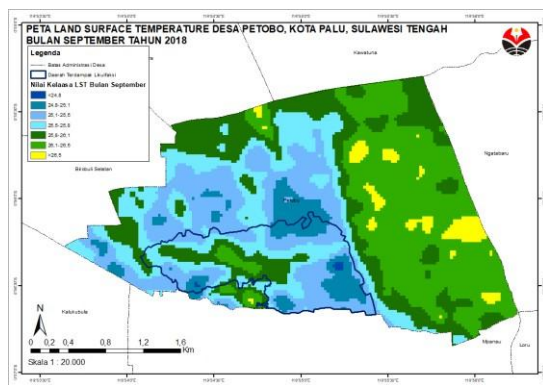
Jenis Lahan	Pra (09/2018)	%	Pasca (10/2018)	%
Vegetasi	135.5	16.2	97.9	11.7
Lahan Kosong	321.4	38.4	432.4	51.7
Lahan Terbangun	204.1	24.4	181.3	21.7
Pertanian	175.5	21.0	124.3	14.9
Total	836.5			

Jenis Lahan	5 Tahun Pasca	%
Vegetasi	155.1	18.5
Lahan Kosong	272.6	32.6
Lahan Terbangun	194.5	23.3
Pertanian	214.4	25.6
Total	836.5	

Untuk melengkapi analisis perubahan penggunaan lahan maka dilakukan interpretasi penggunaan lahan pada citra ketiga yang diambil pada tahun

2023 untuk membandingkan perubahan yang terjadi pasca bencana dan pasca rekonstruksi dan rehabilitasi wilayah desa Petobo 5 tahun terakhir. Data atribut peta menunjukkan Sebanyak 6.8% lahan vegetasi, 1.6% lahan terbangun, dan 10.7% lahan pertanian bertambah. Sedangkan lahan kosong berkurang hingga 19.1 %. Hal tersebut menunjukkan adanya rekonstruksi dan rehabilitasi lahan yang cukup masif pada 5 tahun terakhir. Sebagian besar lahan terdampak yang direhabilitasi, dialih fungsikan menjadi lahan pertanian ataupun lahan vegetasi.

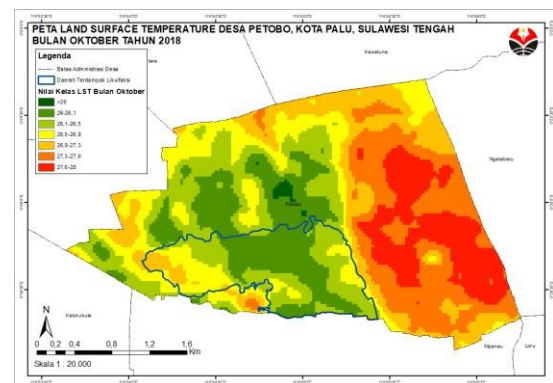
Land Surface Temperature (LST)



Gambar 11. Peta LST Bulan September 2018

Dari Hasil Pengolahan LST Citra Landsat 8 pada Tanggal 23 September 2018 tepatnya sebelum terjadinya Bencana Gempa bumi likuifaksi di Desa Petobo dapat terlihat pada daerah Terdampak Likuifaksi Suhu permukaan dominan berkisar pada angka 24,8°C - 26,5°C begitupun dengan daerah Desa Petobo yang berada disekitaran daerah likuifaksi suhu tertinggi mencapai 26°C, jika dilihat dari tutupan lahan pada daerah tersebut di dominasi oleh Pemukiman dengan suhu berkisar 25,1°C - 25,8°C dan Lahan Kosong dengan suhu 25,8°C - 26,5°C Dan jika dilihat dari faktor kehijauan pada daerah likuifaksi tergolong kedalam klasifikasi dengan kehijauan rendah berdasarkan Klasifikasi menggunakan

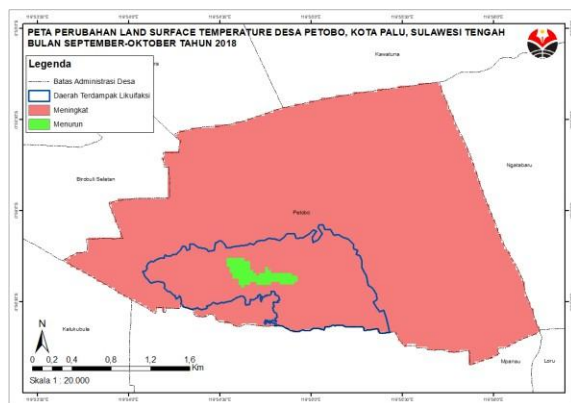
metode NDVI. Yang dimana dari kedua aspek tersebut sangat mempengaruhi Temperatur suhu di Desa Petobo. Adapun pengklasifikasian Land Temperature Surface di Desa Petobo di bagi menjadi 7 klasifikasi yang mengacu dari Modul Analisis Land Surface Temperatur yang disesuaikan dengan nilai hasil pengolahan LST di Daerah kajian dengan Suhu Minimum <24,8 dan Suhu Maksimum >26,5.



Gambar 12. LST Bulan Oktober 2018

Peta LST diatas merupakan peta hasil pengolahan Data Citra Landsat 8 tanggal 2 Oktober 2018 setelah terjadinya bencana Likuifaksi. Dapat dilihat pada Peta, suhu di Desa Petobo mengalami kenaikan yang semula suhu tertinggi hanya mencapai 26°C namun setelah terjadinya bencana suhu tertinggi mencapai lebih dari 28°C yang berarti dalam kurun waktu kurang lebih satu minggu pasca bencana, terjadi kenaikan suhu sebesar 2°C. Faktor perubahan tutupan lahan seperti berkurangnya lahan Hijau pada Desa Petobo tentunya memberikan dampak terhadap suhu permukaan. Seperti yang terjadi pada daerah bagian timur Desa Petobo yang merupakan lahan kosong, setelah terjadinya bencana Gempa bumi suhu nya mengalami peningkatan sebesar 2°C yaitu dalam kisaran 27,6°C - 28°C begitu pula dengan daerah bagian Selatan yang sebelumnya didominasi oleh

Pemukiman dan Vegetasi mengalami kenaikan suhu menjadi kisaran 26,9°C – 27,3°C. Sama seperti sebelumnya pengklasifikasian LST di Desa Petobo di bagi menjadi 7 klasifikasi yang mengacu dari Modul Analisis Land Surface Temperatur yang disesuaikan dengan nilai hasil pengolahan LST di daerah kajian setelah terjadinya Bencana dengan Suhu Minimum <26 dan Suhu Maksimum >28.



Gambar 13. Perubahan LST Bulan September-Oktober 2018

Tabel 11. Luas Lahan Perubahan LST

Perubahan LST Bulan September-Oktober	Luas (Ha)
Meningkat	826,74
Menurun	10,44

Tabel diatas merupakan pemvisualisasian Luas dari perubahan Suhu yang terjadi di Desa Petobo dengan menggunakan metode LST dengan data citra Landsat 8 tanggal 23 September 2018 – 02 Oktober 2018. Berdasarkan Hasil Raster Calculator yang berfungsi untuk melakukan perhitungan matematis untuk memperoleh Perubahan LST yang terjadi, disini kami menggunakan acuan dan kode yang bersumber dari Modul Land Surface Temperature yang disesuaikan dengan hasil dan pengolahan LST di desa Petobo, pada modul tersebut dijelaskan acuan dan kode pada proses raster calculator digunakan

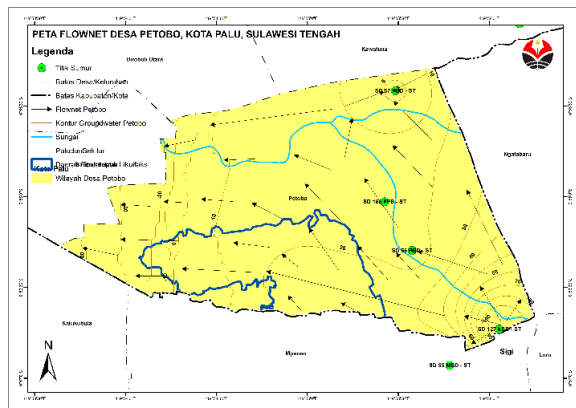
untuk mewakili nilai NDVI yang tetap, berkurang dan bertambah adapun acuan dan Kodenya sebagai berikut:

Tabel 13. Acuan Perubahan LST

Kondisi	Keterangan	Kode	Logika Matematis	Script raster Calculator
Kelas LST bulan September lebih kecil dari Kelas LST Bulan Oktober	LST Meningkat	0	When "LST_pra" < "LST_pasca" then 0	("LST_pra" < "LST_pasca") * 0 + ("LST_pra" > "LST_pasca") * 1 + ("LST_pra" = "LST_pasca") * 2
Kelas LST bulan September sama dari Kelas LST Bulan Oktober	LST Tetap	1	When "LST_pra" = "LST_pasca" then 1	("LST_pra" = "LST_pasca") * 1 + ("LST_pra" < "LST_pasca") * 0 + ("LST_pra" > "LST_pasca") * 2
Kelas LST bulan September lebih besar dari Kelas LST Bulan Oktober	LST Menurun	2	When "LST_pra" > "LST_pasca" then 2	("LST_pra" > "LST_pasca") * 2 + ("LST_pra" < "LST_pasca") * 0 + ("LST_pra" = "LST_pasca") * 1

Dari Acuan Tersebut diperoleh hasil dengan dua klasifikasi yaitu kode (0) yang berarti LST Meningkat dan (2) yang berarti LST menurun, dari hasil tersebut lalu dapat diketahui bahwa pada Desa Petobo relatif suhunya mengalami Peningkatan. Seperti yang ditampilkan pada gambar Peta Perubahan LST pada Bulan September-Oktober perubahan LST yang mengalami peningkatan Suhu memiliki luas lahan dengan total 826,74 (Ha) sedangkan Perubahan LST yang mengalami penurunan suhu memiliki luasan lahan yang lebih kecil yaitu dengan total luas 10,44 (Ha). Dari hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa Likuifaksi dapat berpengaruh terhadap perubahan Suhu Temperatur karna faktor berubahnya

Tutupan lahan yang disebabkan oleh Bencana likuifaksi.



Gambar 14. Peta Flownet di Desa Petobo

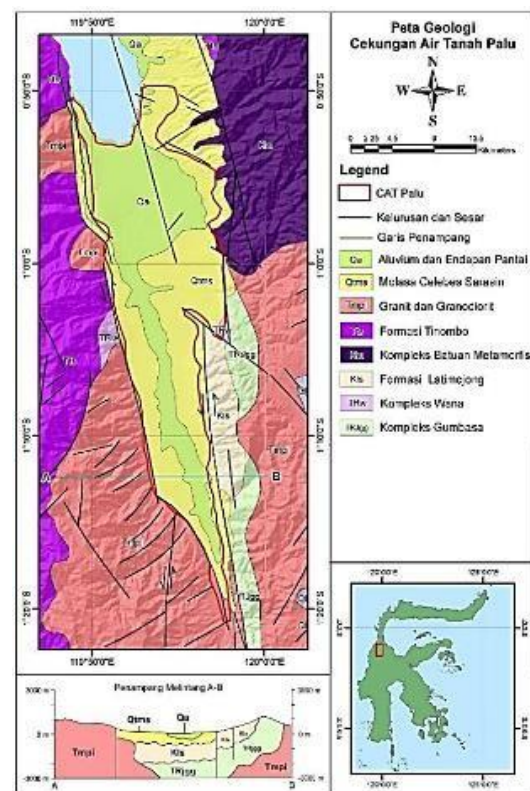
Pada **Gambar 14**. Terdapat peta flownet aliran air tanah di kawasan Desa Petobo, Kota Palu. Pengolahan data flownet menggunakan IDW (*Inverse Distance Weighting*). Data sumur di Desa Petobo, Kota Palu yang berasal dari Kementrian PUPR berupa sumur bor. Data sumur memiliki informasi sebagai berikut.

Tabel 14. Data Lokasi Sumur di desa Petobo

Kode Sumur	Kedalaman Sumur (m)	Elevasi Sumur (z; mdpl)	Elevasi Total Head
SD 57 PBD - ST	-	102	-
SD 166 PPS - ST	80	93	13
SD 56 PBD - ST	80	98	18
SD 127 LBD - ST	-	107	-

Dari data di atas, data sumur yang kedalamannya terdapat informasi hanya 2 dan dibantu dengan data kedalaman *total head* di luar Desa Petobo. Kontur groundwater terendah berada di kedalaman

–30 meter atau 30 meter di bawah permukaan laut dan tertinggi adalah 110 meter di atas permukaan laut. Arah flownet searah dengan arah gerak lumpur likuifaksi yakni ke arah barat dan bagian yang terdampak di selatan lumpur likuifaksi bergerak ke arah utara lalu ke barat. Hal ini menjadi indikasi bahwa likuifaksi mengikuti arah gerak kontur elevasi dan kontur groundwater, mengingat likuifaksi terjadi akibat ketika tanah jenuh atau jenuh sebagian kehilangan kekuatan dan kekakuannya secara signifikan akibat gempa bumi atau benturan yang tiba-tiba, sehingga menyebabkan material padat berubah menjadi cair.



Gambar 15. Peta Geologi dan CAT Palu

(Diambil dari: Santosa, D. P. P., Hadian, M. S. D., & Zakaria, Z. (2021))

Peta geologi di atas menggambarkan kondisi geologi pada zona CAT Palu yang menjadi sebab dari likuifaksi yang terjadi di Desa Petobo. Pada

kasus likuifaksi dan korelasinya terhadap kawasan geologi memperlihatkan bahwa Desa Petobo berada pada zona Alluvium Endapan Pantai yang memiliki materi: Kerikil, pasir dan lumpur. Endapan tersebut memiliki sifat material tidak solid dan rawan terkena efek liquidifikasi oleh air. Alhasil kawasan tersebut memiliki potensi likuifaksi.

Simpulan

Dapat disimpulkan bahwa dari luas keseluruhan Desa Petobo 894 hektare, terdapat di bagian selatan Desa Petobo sebesar 156.0182 hektare merupakan luas daerah yang terdampak likuifaksi. Daerah terdampak likuifaksi berada pada ketinggian 21-81 mdpl. Daerah terdampak likuifaksi memiliki kemiringan lereng berkisar 15-45% sedikit curam. likuifaksi mengikuti arah gerak kontur elevasi dan kontur groundwater, mengingat likuifaksi terjadi akibat ketika tanah jenuh atau jenuh sebagian kehilangan

kekuatan dan kekakuannya secara signifikan akibat gempa bumi atau benturan yang tiba-tiba, sehingga menyebabkan material padat berubah menjadi cair. Pada suhu pun juga berpengaruh, sebelum terjadi gempa memiliki suhu 26°C meningkat 2°C menjadi 28°C. Selanjutnya pada kerapatan vegetasi pun sangat berpengaruh. Pada daerah likuifaksi, kerapatan vegetasi turun 100% akibat likuifaksi atau hampir 78 hektar mengalami penurunan kerapatan vegetasi yang signifikan. Sebanyak 6.8% lahan vegetasi, 1.6% lahan terbangun, dan 10.7% lahan pertanian bertambah. Sedangkan lahan kosong berkurang hingga 19.1 %. Hal tersebut menunjukkan adanya rekonstruksi dan rehabilitasi lahan yang cukup masif pada 5 tahun terakhir. Sebagian besar lahan terdampak yang direhabilitasi, dialih fungsikan menjadi lahan pertanian ataupun lahan vegetasi

Daftar Rujukan:

- Kumalasari, F. dan Satoto, Y. (2011) Teknis Praktis Mengolah Air Kotor Menjadi air Bersih Hingga Layak Minum. Bekasi: Laskar Askara.
- Latue, P. C., Rakuasa, H., & Sihasale, D. A. (2023). Analisis Kerapatan Vegetasi Kota Ambon Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2 dengan Metode MSARVI Berbasis Machine Learning pada Google Earth Engine. *sudjo Jurnal Teknik Informatika*, 2(2), 68-77.
- Admin, "Petobo, Dari Daerah Perang Menjadi... - Kabar Sulteng Bangkit." *Facebook.com*, 2018, [m.facebook.com/kabarsultengbangkit/photos/a.721710788204631/766527843722925/](https://www.facebook.com/kabarsultengbangkit/photos/a.721710788204631/766527843722925/). Accessed 9 Dec. 2023.
- Utami, D. N. A. (2020). *Ta: Analisis Korelasi Suhu Permukaan Tanah Berbasis Citra Landsat 8 TIRS Dengan Data Terrain SRTM Di Kota Bandung Tahun 2015 Dan 2019* (Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Nasional Bandung).
- Himayah, S., & Ridwana, R. (2023, March 2). *Analisis Land Surface Temperature*. Retrieved December 10, 2023, from <https://classroom.google.com/u/0/c/NTI0MzE2ODQyOTQ1/a/NjMxNTI3NTk4NzIx/detai>
- Madutujuh, Nathan. "Rehabilitasi dan Mitigasi Pasca Bencana Gempa Palu 28 Sept 2018."
- Hadiyanti, A., Putri, S. S., Rahmasari, P., & Laksitaningrum, K. W. (2017). *Modul Training 2017 Kerapatan Vegetasi*. Bhumi Prasaja.
- Ningrum, W., & Narulita, I. (2018). Deteksi perubahan suhu permukaan menggunakan data satelit landsat multi-waktu studi kasus cekungan Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 145-154.
- Santosa, D. P. P., Hadian, M. S. D., & Zakaria, Z. (2021). Hidrostratigrafi Dan Geometri Akuiifer Cekungan Air Tanah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah Pasca Gempa Bumi. *Jurnal Sumber Daya Air*, 17(1), 25-38.
- Atika Nur Solikhah. (2017). Laporan Praktikum Sistem Informasi Geografis. Diakses pada: 10 Desember 2023. <https://123dok.com/document/zgr3637q-laporan-praktikum-sistem-informasi-geogr.html>