

**ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP  
LUAS PERMUKAAN AIR DANAU RANAU**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**MUHAMMAD NAIMULLAH  
NPM 1915013018**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP LUAS PERMUKAAN AIR DANAU RANAU

Oleh

MUHAMMAD NAIMULLAH

Danau Ranau merupakan danau yang termasuk sebagai 30 danau prioritas nasional. Danau Ranau berfungsi sebagai keberlanjutan ekosistem, sumber daya air, konservasi keanekaragaman hayati dan ekonomi lokal wisata. Perubahan iklim dan aktivitas manusia memberikan dampak negatif pada kualitas air dan ekosistem Danau Ranau. Untuk melestarikannya perlu dilakukan penyelamatan danau sebagai langkah preventif kerusakan yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik dari aktivitas manusia maupun faktor dari alam. Penggunaan teknologi SAR dinilai sebagai teknik yang efektif dan efisien dalam pemantauan wilayah sebagai upaya penyelamatan Danau Ranau.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau, menganalisis perubahan luas permukaan air Danau Ranau serta mengkaji hubungan perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau tahun 2016-2022. Data yang digunakan di antaranya citra Sentinel-1A IW GRDH tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022, DEM SRTM HGT 1 *arc-second*, peta tutupan lahan ESRI tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022 dan citra dari Google Earth. Analisis menggunakan klasifikasi *Support Vector Machine*, analisis spasial dan analisis regresi.

Hasil penelitian bahwa tutupan lahan tahun 2016-2022 badan air terjadi tren peningkatan 36,78 ha, vegetasi tren peningkatan 33,96 ha, lahan terbangun tren peningkatan 9,1 ha dan tanah terbuka tren penurunan 80,03 ha. Pada tahun 2016-2022 luas permukaan air Danau Ranau mengalami tren peningkatan 28,3 ha. Berdasarkan analisis regresi, menunjukkan adanya hubungan signifikan kelas badan air terhadap luas permukaan air Danau Ranau dengan  $r^2$  0,9988 atau 99,88%. Sedangkan hubungan kelas tanah terbuka  $r^2$  0,9492 atau 94,92%, vegetasi  $r^2$  0,6606 atau 66,06% dan lahan terbangun dengan  $r^2$  0,5686 atau 56,85%.

Kata kunci: danau, hubungan, luas permukaan air, perubahan tutupan lahan, support vector machine.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF LAND COVER CHANGES TO THE WATER SURFACE AREA OF RANAU LAKE**

**By**

**MUHAMMAD NAIMULLAH**

Lake Ranau is a lake that is included as 30 national priority lakes. Lake Ranau functions as ecosystem sustainability, water resources, biodiversity conservation and local tourism economy. Climate change and human activities have a negative impact on the water quality and ecosystem of Lake Ranau. To preserve it, it is necessary to save the lake as a preventive measure for damage that can be caused by various factors, both from human activities and natural factors. The use of SAR technology is considered as an effective and efficient technique in monitoring the area as an effort to save Lake Ranau. This study aims to analyze land cover changes in the Lake Ranau catchment area, analyze changes in the water surface area of Lake Ranau and examine the relationship between land cover changes and the water surface area of Lake Ranau in 2016-2022. The data used include Sentinel-1A IW GRDH imagery for 2016, 2018, 2020 and 2022, DEM SRTM HGT 1 arc-second, ESRI land cover maps for 2016, 2018, 2020 and 2022 and imagery from Google Earth. Analysis using the Support Vector Machine classification, spatial analysis and regression analysis. The results of the study showed that in 2016-2022 there was an increasing trend of 36.78 ha for water bodies, 33.96 ha for growing vegetation, 9.1 ha for built-up land, and 80.03 ha for open land. In 2016-2022 the water surface area of Lake Ranau has experienced an increasing trend of 28.3 ha. Based on the regression analysis, it shows that there is a significant relationship between the class of water bodies and the water surface area of Lake Ranau with  $r^2$  0.9988 or 99.88%. While the class relationship of open land  $r^2$  0.9492 or 94.92%, vegetation  $r^2$  0.6606 or 66.06% and built land with  $r^2$  0.5686 or 56.85%.

**Key words:** lake, relationship, water surface area, land cover change, support vector machine.

**ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP  
LUAS PERMUKAAN AIR DANAU RANAU**

**Oleh**

**MUHAMMAD NAIMULLAH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Program Studi Teknik Geodesi  
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Skripsi : ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN  
TUTUPAN LAHAN TERHADAP LUAS  
PERMUKAAN AIR DANAU RANAU

Nama : Muhammad Naimullah

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915013018

Program Studi : S1 Teknik Geodesi

Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Citra Dewi, S.T., M.Eng.  
NIP 19820112 200812 2 001

Pembimbing II

Rahma Anisa, S.T., M.Eng.  
NIP 19930716 202012 2 032

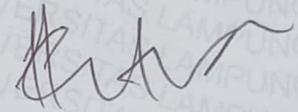
2. **Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika**

Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.  
NIP 19641012 199203 1 002

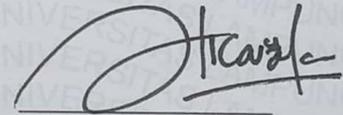
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

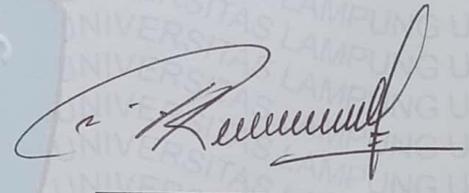
Ketua : Citra Dewi, S.T., M.Eng.



Sekretaris : Rahma Anisa, S.T., M.Eng.



Anggota : Romi Fadly, S.T., M.Eng.



### 2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. J  
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Mei 2023

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya Muhammad Naimullah, NPM 1915013018, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam skripsi yang berjudul "*ANALISIS HUBUNGAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP LUAS PERMUKAAN AIR DANAU RANAU*" adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Dosen Pembimbing I yaitu Citra Dewi, S.T., M.Eng. dan Dosen Pembimbing II yaitu Rahma Anisa, S.T., M.Eng., berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Skripsi ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil masukan dari beberapa sumber lain (buku, jurnal dan lain-lain) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 26 Mei 2023

Yang



Muhammad Naimullah  
NPM 1915013018

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Naimullah yang lahir di Kabupaten Tangerang, Banten pada tanggal 25 Agustus 2002. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Iswan dan Karnah serta merupakan anak asuh dari pasangan Suhandi dan Tati Suhaeti.

Jenjang akademis penulis pada tahun 2013 mulai menyelesaikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri Cikoneng 3 yang terletak di Desa Gombrang, Kecamatan Mandalawangi, Kabupaten Pandeglang. Kemudian pada tahun 2016 penulis menyelesaikan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP IT Al-Fatih 1 yang terletak pada Kelurahan Mekar Bakti, Kecamatan Panongan, Kabupaten Tangerang. Pada tahun 2019 penulis lulus di MA Negeri 1 Tangerang yang terletak pada Kelurahan Tapos, Kecamatan Tigaraksa, Kabupaten Tangerang. Pada tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan tinggi dan diterima menjadi mahasiswa jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada jalur masuk SBMPTN.

Penulis pada kegiatan organisasi kemahasiswaan baik internal ataupun eksternal kampus. Organisasi yang pernah diikuti penulis di antaranya pada tahun 2019 penulis menjadi bagian dari Fossi-FT Unila sebagai Anggota Muda Fossi divisi BSO-BBQ dan Birohmah Unila sebagai Keluarga Muda Birohmah divisi MTQ-SI, pada tahun 2020 penulis melanjutkan organisasi dengan menjadi staff ahli di Fossi-FT Unila divisi KSIK, Birohmah Unila divisi KIIK dan Dewan Perwakilan Mahasiswa Unila sebagai anggota komisi 1 Kelembagaan. Pada tahun 2021 penulis di Fossi-FT sebagai Sekretaris Jenderal dan menjadi bagian Himpunan Mahasiswa

Teknik Geodesi Unila sebagai anggota divisi Medpubinfo. Penulis aktif dalam kegiatan sukarela di antaranya menjadi bagian dari Scholars Official regional Sumatra sebagai anggota Media Analyst, Gooyoobs Indonesia sebagai *Branding Manager* dan Indopeta sebagai *volunteer*.

Pada bulan Januari hingga Februari 2022 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukanagara Kecamatan Carita Kabupaten Pandeglang dengan berpartisipasi dalam pembuatan Denah SD Negeri Sukanagara 2 dan Peta Administrasi Desa Sukanagara. Penulis pada bulan Juni hingga Agustus 2022 melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Badan Pertanahan Kota Bandar Lampung pada bidang Survei dan Pemetaan di Kota Bandar Lampung dengan judul **“Digitalisasi Data Pertanahan dalam Rangka Pembenahan Data Bidang Tanah Kluster 4 di Kelurahan Pahoman Kecamatan Enggal Kota Bandar Lampung”**. Penulis melaksanakan penelitian skripsi pada Daerah Tangkapan Air Danau Ranau dengan judul **“Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Luas Permukaan Air Danau Ranau”** dengan bimbingan Ibu Dewi Citra, S.T., M.Eng. dan Ibu Rahma Anisa, S.T, M.Eng pada tahun 2023.

Penulis memiliki riwayat publikasi karya ilmiah di tingkat nasional seperti Prosiding Seminar Nasional Geomatika VI (SNG) yang diadakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan judul **“Analisa Relasi Kecenderungan Perubahan Luas Permukiman Terhadap Kemiringan Lereng Berdasarkan Pengamatan Data Citra Satelit (Studi Kasus: DAS Way Sekampung, Kota Bandar Lampung)”** pada tahun 2022, penerbitan jurnal terakreditasi Sinta 3 Jurnal Fisika Flux dengan judul **“SIG Metode Skoring dan Overlay untuk Pemetaan Tingkat Kerawanan Longsor di Kabupaten Lebak, Banten”** serta berkontribusi dalam penulisan artikel dengan judul **“Hidrotermal Desa Kunjir Daerah Potensi Panasbumi Gunung Rajabasa Berdasarkan Analisis Petrografi dan Difraksi Sinar-X”** pada tahun 2023.

## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirabbil'alamin*

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya lah saya dapat menyelesaikan sebuah skripsi ini yang telah dibuat dengan penuh perjuangan dan pengorbanan.

Saya persembahkan karya ini dengan tulus kepada :

Ayah dan Ibu kandung serta asuh yang selalu memberikan kasih sayang yang tak terhingga, doa yang tak pernah henti di setiap shalat dan sujudnya demi keberhasilan anaknya, semangat di kala duka, yang selama ini telah memberikan yang terbaik untuk saya dan pengorbanan hidup yang tak bisa saya balas dengan apapun.

Kakak dan adik-adik saya yang teramat saya sayangi yang telah memberikan dukungan dan doa.

Semua guru dan dosen yang telah mengajarkan ilmu pengetahuan, wawasan, pandangan berpikir dan membimbing banyak hal.

Sahabat baik saya yang tiada hentinya memberikan motivasi kepada saya.

Teman-teman saya satu almamater terutama Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Angkatan 2019 Universitas Lampung yang telah memberikan kenangan, arti persahabatan dan kekeluargaan dalam kebersamaan kita selama ini.

Terima kasih atas dukungannya sehingga penelitian skripsi saya dapat terselesaikan.

## MOTTO

*“Keberhasilan bukan milik orang pintar. Keberhasilan milik mereka yang terus berusaha.”*

*(Prof. Dr. Ing. Ir. H. Bacharuddin Jusuf Habibie, FREng.)*

*“Anda mungkin bisa menunda, tapi waktu tidak akan menunggu.”*

*(Benjamin Franklin)*

*“Semua yang ditertawakan, disalahkan, diserang dan disepelkan di masa lalu adalah hal-hal yang luar biasa. Semua itu dilakukan untuk menghadirkan berbagai hal yang lebih kuat dan lebih berjaya dari sebuah perjuangan.”*

*(Nikola Tesla)*

*“Buatlah apapun menjadi mudah. Melakukan apa yang bisa dilakukan, kemudian bersyukur setelahnya. Kesuksesan tidak akan datang secara tiba-tiba, kesuksesan adalah hasil dari sebuah konsistensi.”*

*(Muhammad Naimullah)*

## SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya berupa kesehatan, kesempatan serta pengetahuan kepada penulis sehingga dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Luas Permukaan Air Danau Ranau*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Geomatika dan Program Studi S1 Teknik Geodesi Universitas Lampung;
2. Ibu Citra Dewi, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama atas ketersediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik maupun saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
3. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua atas ketersediaannya untuk memberikan bimbingan, kritik maupun saran dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji utama pada ujian skripsi. Terima kasih atas kritik, masukan dan saran pada seminar proposal terdahulu;
5. Bapak Ir. Armijon, S.T., M.T., IPU., selaku dosen pembimbing akademik;

6. Bapak dan Ibu Tenaga Pendidik Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung;
7. Staf administrasi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung;
8. Bapak dan Ibu Staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Lampung;
9. Kedua orang tua kandung, kedua orang tua asuh, kakak serta kedua adik penulis yang telah memberikan dukungan materil dan moril;
10. Keluarga besar dari orang tua yang telah memberikan semangat hidup;
11. Teman-teman Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung Angkatan 2019;
12. Kerabat penulis yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian penelitian skripsi ini;
13. Pasangan hidup penulis siapa pun kelak yang sangat berarti bagi penulis;
14. Almamater tercinta Universitas Lampung yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menikmati bangku perkuliahan dan telah mendawasakan dalam berpikir dan bertindak;
15. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian skripsi ini.

Bandar Lampung, 26 Mei 2023

**Muhammad Naimullah**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
1.3.1 Metodologi Pemikiran .....	3
1.3.2 Batasan Masalah .....	4
1.4 Hipotesis .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Landasan Konseptual .....	12
2.2.1 Sistem Informasi Geografis .....	12
2.2.2 Penginderaan Jauh .....	12
2.2.3 Daerah Tangkapan Air.....	12
2.2.4 Tutupan Lahan .....	13
2.2.5 <i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i> .....	13
2.2.6 Sentinel-1 .....	14
2.2.7 Kalibrasi Radiometrik.....	17
2.2.8 Koreksi Geometrik.....	18
2.2.9 <i>Speckle Filter</i> .....	19
2.2.10 Klasifikasi <i>Support Vector Machine (SVM)</i> .....	20
2.2.11 Uji Akurasi.....	21
2.2.12 Uji Korelasi dan Regresi.....	22
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.2 Bahan dan Alat.....	26
3.2.1 Bahan .....	26
3.2.2 Alat .....	28
3.3 Jadwal Kegiatan .....	29
3.4 Metode .....	29
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	29

3.6 Tahap Persiapan .....	31
3.7 Tahap Pengumpulan.....	31
3.8 Tahap Pengolahan.....	32
3.9 Tahap Akhir .....	48
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Hasil .....	49
4.1.1 Tutupan Lahan 2016-2022.....	49
4.1.1.1 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2016-2018 .....	52
4.1.1.2 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2018-2020 .....	54
4.1.1.3 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2020-2022 .....	56
4.1.1.4 Uji Akurasi Tutupan Lahan Tahun 2016-2022.....	58
4.1.2 Luas Permukaan Air Danau Ranau.....	60
4.1.3 Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Luas Danau .....	62
4.2 Pembahasan.....	63
4.2.1 Tutupan Lahan 2016-2022.....	63
4.2.1.1 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2016-2018 .....	65
4.2.1.2 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2018-2020 .....	66
4.2.1.3 Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2020-2022 .....	67
4.2.1.4 Uji Akurasi Tutupan Lahan Tahun 2016-2022.....	67
4.2.2 Luas Permukaan Air Danau Ranau.....	68
4.2.3 Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Luas Danau .....	68
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>70</b>
5.1 Simpulan .....	70
5.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>75</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu .....	10
2. Karakteristik Sentinel 1 .....	16
3. Matriks konfusi.....	22
4. Hubungan korelasi .....	23
5. Data penelitian .....	26
6. Informasi data citra Sentinel-1A.....	27
7. Jadwal kegiatan penelitian` .....	29
8. Interpretasi objek Sentinel-1A dengan citra validasi.....	39
9. Titik proyeksi citra dari Google Earth .....	44
10. Luas tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2016-2022.....	51
11. Matriks perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2016-2018 ....	53
12. Perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2016-2018.....	54
13. Matriks perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2018-2020 ....	55
14. Perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2018-2020.....	56
15. Matriks perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2020-2022 ....	57
16. Perubahan tutupan lahan DTA Danau Ranau tahun 2020-2022.....	58
17. Matriks konfusi matriks tutupan lahan tahun 2016 .....	59
18. Matriks konfusi matriks tutupan lahan tahun 2018 .....	59
19. Matriks konfusi matriks tutupan lahan tahun 2020 .....	59
20. Matriks konfusi matriks tutupan lahan tahun 2022 .....	60
21. Luas permukaan air Danau Ranau .....	61
22. Regresi tutupan lahan terhadap luas danau.....	62
23. Hasil regresi perubahan tutupan lahan terhadap luas danau .....	62

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian.....	25
2. Diagram alir penelitian .....	30
3. Pengolahan citra Sentinel-1A IW GRDH pada SNAP-S1Tbx.....	32
4. Citra Sentinel-1A IW GRDH sebelum dilakukan pemotongan.....	33
5. Citra Sentinel-1A IW GRDH setelah dilakukan pemotongan.....	33
6. Citra Sentinel-1A sebelum dilakukan <i>multilooking</i> .....	34
7. Citra Sentinel-1A setelah dilakukan <i>multilooking</i> .....	34
8. Citra Sentinel-1A sebelum dikalibrasi radiometrik .....	35
9. Citra Sentinel-1A setelah dikalibrasi radiometrik .....	35
10. Citra Sentinel-1A sebelum dikoreksi geometrik.....	36
11. Citra Sentinel-1A setelah dikoreksi geometrik.....	36
12. Citra Sentinel-1A sebelum dilakukan <i>speckle filtering</i> .....	37
13. Citra Sentinel-1A setelah dilakukan <i>speckle filtering</i> .....	37
14. Klasifikasi Citra Sentinel-1A IW GRDH .....	40
15. Citra Sentinel-1A IW GRDH Tahun 2016-2022 .....	41
16. Klasifikasi terbimbing <i>Support Vector Machine</i> .....	42
17. Citra dari Google Earth Tahun 2016-2022 .....	43
18. Peta Tutupan Lahan ESRI Tahun 2016-2022.....	44
19. Uji akurasi citra Sentinel-1A IW GRDH dengan citra dari Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI .....	45
20. Peta Tutupan Lahan DTA Danau Ranau Tahun 2016.....	49
21. Peta Tutupan Lahan DTA Danau Ranau Tahun 2018.....	50
22. Peta Tutupan Lahan DTA Danau Ranau Tahun 2020.....	50
23. Peta Tutupan Lahan DTA Danau Ranau Tahun 2022.....	51
24. Grafik perubahan tutupan lahan tahun 2016-2022 .....	52

25. Peta Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2016-2018.....	53
26. Peta Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2018-2020.....	55
27. Peta Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2020-2022.....	57
28. Peta Perubahan Luas Permukaan Danau Ranau Tahun 2016-2022.....	61
29. Grafik regresi perubahan tutupan lahan terhadap luas danau .....	63

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang dan Masalah**

Danau merupakan objek vital yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pengairan, kebutuhan air bersih, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), sarana rekreasi serta pemanfaatan lainnya. Perubahan fungsi lahan di sekitar danau dapat mempengaruhi kualitas air danau serta keberadaan flora dan fauna di sekitarnya. Pemantauan tutupan lahan dan monitoring perubahan fungsi lahan di daerah tangkapan air danau perlu dilakukan secara teratur, sehingga dapat diambil tindakan yang tepat untuk menjaga keberlangsungan danau dan lingkungan sekitarnya. Daerah Tangkapan Air (DTA) yang baik sangat penting untuk menjaga keberlangsungan danau serta fungsinya sebagai sumber daya air dan ekosistem (Kementerian Lingkungan Hidup, 2011). Kerusakan pada daerah tangkapan dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan menurunkan fungsi danau sebagai pengendali banjir, sumber irigasi, pembangkit tenaga listrik, usaha perikanan, sumber air dan tempat rekreasi/wisata.

Dalam rangka penyelamatan dan melestarikan sumber air, penyelamatan danau menjadi salah satu prioritas. Terdapat 30 danau prioritas nasional yang telah ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 283/KPTS/M/2020 (Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020) tentang Penetapan 30 Danau Prioritas Nasional, termasuk Danau Ranau. Upaya-upaya penyelamatan danau harus dilakukan secepat mungkin. Setiap danau prioritas nasional diberikan prioritas dalam pengelolaan dan pemulihan agar dapat berkontribusi secara optimal pada keberlanjutan sumber daya air di Indonesia.

Danau Ranau merupakan danau yang terletak di Sumatera Selatan yang memang menjadi salah satu danau yang mengalami degradasi dan membutuhkan upaya penyelamatan. Perlu adanya pemantauan wilayah sebagai salah satu upaya penyelamatan danau. Teknik pemantauan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan teknik penginderaan jauh sebagai sumber data dalam memberikan informasi spasial terutama pemantauan wilayah dan sistem informasi geografis yang melakukan pengolahan dan penyajian data yang telah diperoleh melalui penyajian penginderaan jauh (Puspitaningrum dan Murti, 2020), dengan kedua teknik tersebut, pemantauan wilayah lebih efektif dan efisien serta dapat memberikan informasi yang detail dan luas mengenai kondisi lingkungan di sekitar Danau Ranau.

Teknologi *Synthetic Aperture Radar* dapat digunakan untuk pemantauan wilayah khususnya tutupan lahan. SAR memiliki karakteristik menembus awan dalam karena memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dibandingkan gelombang optik biasanya (*visible bands*) serta SAR tidak terbatas oleh kondisi cuaca. Salah satu contoh pengaplikasian SAR yaitu pada citra Sentinel-1. Citra Sentinel-1 dapat menghasilkan citra resolusi tinggi dengan frekuensi pengambilan data yang cukup cepat. Pada penelitian ini penulis menggunakan produk Sentinel-1A pada mode *Interferometric Wide Swath (IW) Ground Range Doppler High-resolution (GRDH)*. *Interferometric Wide Swath (IW)* yang merupakan jenis pengamatan permukaan tanah standar milik Sentinel-1 yang sesuai digunakan untuk aplikasi interferometri (Yulyta, 2018). Sedangkan *Ground Range Doppler High-resolution (GRDH)* adalah perekaman terhadap pantulan jarak tanah yang umum digunakan dalam analisis tutupan lahan.

Citra Sentinel-1A IW GRDH dapat digunakan pemantauan wilayah setelah dilakukan proses klasifikasi. Klasifikasi citra yang digunakan pada penelitian ini adalah *Support Vector Machine* yang merupakan metode klasifikasi yang sesuai digunakan pada tutupan lahan dan lebih baik dibandingkan metode *maximum likelihood* (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020), karena menggunakan *hyperplane* sehingga dapat memisahkan objek dengan lebih jelas.

Dari permasalahan tersebut penulis ingin mengkaji bagaimana pengaruh perubahan tutupan lahan pada daerah tangkapan air Danau Ranau terhadap luas permukaan air Danau Ranau dengan citra multitemporal Sentinel-1A. Penelitian ini perlu dilakukan sebagai kajian dalam perubahan tutupan lahan yang dapat memengaruhi luas permukaan air Danau Ranau untuk menjaga ekosistem danau dan keseimbangan lingkungan agar tidak mengalami kerusakan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang dilakukan dalam studi ini di antaranya sebagai berikut :

1. Menganalisis perubahan tutupan lahan daerah tangkapan air (DTA) Danau Ranau periode tahun 2016-2022.
2. Menganalisis perubahan luas permukaan air Danau Ranau periode tahun 2016-2022.
3. Mengkaji hubungan perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau periode tahun 2016-2022.

## **1.3 Kerangka Pemikiran**

Pada kerangka pemikiran terdapat metodologi pemikiran dan batasan masalah, di antaranya sebagai berikut.

### **1.3.1 Metodologi Pemikiran**

Pengawasan dan pemantauan air permukaan Danau Ranau penting dilakukan untuk menjaga keberlangsungan ekosistem danau, kepentingan lingkungan dan kebutuhan masyarakat akan air. Perlu adanya pemantauan pada air permukaan danau sebagai upaya dalam menjaga serta penyelamatan Danau Ranau. Selain itu, perubahan tutupan lahan di sekitar Danau Ranau dapat memengaruhi kondisi dan kualitas air, sehingga pemantauan tutupan lahan juga penting dilakukan. Untuk melakukan klasifikasi luas permukaan air permukaan Danau Ranau dan tutupan lahan, penulis menggunakan metode *Support Vector Machine (SVM)* pada citra Sentinel-1A IW GRDH.

Hasil klasifikasi kemudian divalidasi dengan uji akurasi menggunakan metode *confusion matrix* dan *historical imagery* dari *software* Google Earth Pro. Selain itu, penulis juga melakukan pengujian korelasi dan regresi terhadap variabel yang dianggap berpengaruh terhadap perubahan luas permukaan air danau dan tutupan lahan di sekitar danau. Semua analisis ini dilakukan dengan menggunakan teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis.

Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi penting terkait perubahan luas permukaan air Danau Ranau yang dipengaruhi oleh adanya perubahan tutupan lahan. Informasi tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan danau dan konservasi lingkungan serta dalam menjaga ketersediaan air bagi masyarakat di sekitar Danau Ranau.

### **1.3.2 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini di antaranya sebagai berikut :

1. Objek dari penelitian ini berfokus kepada air DTA Danau Ranau dan tutupan lahan dengan menganalisis perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau dengan citra multitemporal Sentinel-1A IW GRDH.
2. Data yang digunakan merupakan data Citra Sentinel-1A *Interferometric Wide-swath Ground Range Doppler High-resolution* periode tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022.
3. Proses pengolahan citra menggunakan klasifikasi (*supervised*) dengan metode *Support Vector Machine* (SVM).
4. Hasil analisis menghasilkan tren perubahan tutupan lahan, luas permukaan air Danau Ranau dan pengaruhnya terhadap luas permukaan air Danau Ranau periode tahun 2016-2022.
5. Validasi citra menggunakan citra dari Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022.

#### **1.4 Hipotesis**

Danau Ranau ialah danau yang terletak di Provinsi Sumatera Selatan, peningkatan jumlah penduduk terjadi di setiap tahun. Dikarenakan meningkatnya jumlah penduduk pada tiap tahunnya, tentunya tutupan lahan akan mengalami perubahan yang cukup signifikan. Penulis meyakini bahwa tutupan lahan tersebut akan terus mengalami perubahan yang bisa memberikan dampak negatif bagi lingkungan terutama pada ekosistem danau. Perkembangan yang terjadi saat ini diduga disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang terindikasi akan menyebabkan terjadinya perubahan pemanfaatan lahan yang sebelumnya lahan vegetasi berubah menjadi lahan terbangun dan perubahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau.

Perubahan tutupan lahan di sekitar Danau Ranau dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap ekosistem danau. Penurunan luas lahan vegetasi yang berfungsi sebagai penyangga danau dapat menyebabkan masalah seperti erosi tanah, peningkatan sedimentasi dan peningkatan aliran air permukaan yang dapat mempengaruhi kualitas air danau. Selain itu, perubahan tutupan lahan juga dapat mempengaruhi ketersediaan air di danau. Jika tutupan lahan berubah dari lahan vegetasi menjadi lahan terbangun, maka kemampuan lahan untuk menahan dan menyimpan air juga akan berubah. Hal ini dapat mempengaruhi ketersediaan air di danau, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi keberlangsungan hidup makhluk hidup di danau.

Peningkatan jumlah penduduk di sekitar Danau Ranau juga dapat menyebabkan perubahan dalam pola tata guna lahan. Peningkatan jumlah penduduk akan menyebabkan peningkatan permintaan lahan untuk perumahan, pertanian dan industri. Hal ini dapat menyebabkan hilangnya habitat alami bagi flora dan fauna di sekitar danau dan dapat memperburuk keadaan lingkungan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Adapun tujuan dari kajian penelitian terdahulu yakni berguna dalam membantu menyelesaikan masalah penelitiannya dan menguasai ilmu pengetahuan yang terkait dengan mengacu teori dan hasil dari penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian yang dijadikan referensi dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Berdasarkan riset yang telah dilakukan oleh (Putri, 2017) menerapkan pemanfaatan dari citra Sentinel-1A yang merupakan data citra penginderaan jauh aktif yang memiliki kelebihan dapat menembus awan, sehingga lebih efektif untuk mengamati perubahan tutupan lahan. Adapun lokasi penelitian yang dilakukan pada daerah aliran sungai (DAS) Rawapening dengan penggunaan klasifikasi *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Data yang digunakan pada penelitian ini di antaranya citra Sentinel-1A dengan tipe produk IW GRDH periode bulan Mei 2015, bulan Desember 2015, bulan Mei 2016 dan bulan Desember 2016. Hasil penelitian menunjukkan data pada bulan Desember (musim hujan) mengalami penurunan luasan sebesar 562,022 ha pada periode tahun 2015 dan 212,704 ha pada periode tahun 2016 yang terdiri dari badan air, lahan pertanian, lahan vegetasi dan lahan terbangun.
2. Berdasarkan riset yang telah dilakukan oleh (Rotinsulu dkk., 2018) menggunakan citra Landsat 7 (2002) dan Landsat 8 (2015) dengan *Maximum Likelihood Classification* (MLC) menjelaskan perubahan tutupan lahan yang terjadi dalam kurun waktu 13 tahun (2002-2015). Perubahan tutupan lahan DAS Tondano berkontribusi terhadap bencana banjir dan longsor di Minahasa dan Manado pada awal tahun 2014. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan tutupan lahan DAS Tondano antara periode 2002 dan 2015 menggunakan data

3. penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan tutupan lahan yang signifikan dalam kurun waktu 13 tahun terjadi pengurangan luasan hutan 6510,42 ha, sawah 2975,13 ha dan gunung berapi 3,96 ha; peningkatan luasan lahan pertanian 5836,86 ha, pemukiman 3650,85 ha, badan air 1,8 ha. Konversi lahan hutan umumnya ke lahan pertanian kering dan konversi sawah ke lahan pertanian dan pemukiman.
4. Berdasarkan riset yang telah dilakukan oleh (Putra dkk., 2018) menggunakan metode pengolahan klasifikasi terbimbing (*Supervised*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan LST (*Land Surface Temperature*). Pengolahan data dilakukan menggunakan citra satelit Landsat tahun 1997, 2007 dan tahun 2016 yang dilakukan untuk mengetahui hubungan perubahan tutupan lahan terhadap suhu permukaan terkait fenomena *Urban Heat Island* Kota Surakarta. Hasil pengolahan berupa distribusi suhu permukaan kemudian dikorelasikan dengan nilai indeks vegetasi dan perubahan tutupan lahan menggunakan analisis korelasi spasial dan uji regresi linear sederhana.
5. Berdasarkan riset yang telah dilakukan oleh (Umar dkk., 2018) menggunakan citra Landsat 7 (2000, 2005 dan 2010) dan Landsat 8 (2020) dengan teknik analisis interpretasi citra yang menyimpulkan bahwa dinamika tutupan lahan kawasan danau dan sempadan danau cukup bervariasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 26 tahun (1991-2017), telah terjadi perubahan penggunaan lahan danau di sekitar Danau Limboto sebesar  $\pm 936,56$  ha menjadi lahan pertanian dan perkebunan,  $\pm 14,29$  ha menjadi lahan permukiman dan  $\pm 0,35$  ha menjadi kawasan wisata. Adapun proses perubahan penggunaan lahan secara fisik di sekitar Danau Limboto yaitu: (1) lahan danau berubah menjadi rawa kemudian berubah menjadi lahan pertanian (lahan basah dan lahan kering) dan perkebunan (kelapa); (2) lahan danau menjadi rawa kemudian menjadi lahan pertanian (lahan basah dan lahan kering) dan kemudian berubah menjadi lahan permukiman; (3) lahan danau berubah menjadi lahan permukiman; dan (4) lahan danau langsung berubah menjadi kawasan wisata.

6. Berdasarkan riset yang dilakukan oleh (Medina and Atehortúa, 2019) menggunakan citra RapidEye (2012) dengan metode *Support Vector Machine* (SVM) dan *Decision Tree* dibandingkan dengan *Maximum Likelihood Classification* (MLC) yang menyimpulkan bahwa metode SVM lebih baik dalam sampel vektor batas pemisahan yang lebih jelas dan menghindari kebingungan. Hasil yang diperoleh menunjukkan Estimasi *Maximum Likelihood* menyajikan persentase klasifikasi sebesar 68,95%. SVM diklasifikasikan dengan benar 81,325% kasus dan pohon keputusan diklasifikasikan dengan benar 78,925%. Uji kepercayaan untuk klasifikasi menunjukkan interval yang tidak tumpang tindih dan SVM memperoleh nilai tertinggi.
7. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Putra, 2021) menggunakan citra Landsat 7 (2000, 2005 dan 2010) dan Landsat 8 (2020) dengan teknik analisis interpretasi citra yang menyimpulkan bahwa dinamika tutupan lahan kawasan danau dan sempadan danau cukup bervariasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada luasan Danau Kerinci dari tahun 2000 sampai tahun 2020 selalu mengalami perubahan. Perubahan meningkat terjadi dari tahun 2000 sampai 2015 yang awalnya 4.404 ha untuk tahun 2000 sampai 4.439 ha untuk tahun 2015. Peningkatan luasan danau sekitar 35 ha, itu terjadi karena tingginya setiap tahun intensitas hujan menyebabkan danau meluas, air danau semakin naik menyebabkan banjir dan penumpukan sampah. Sawah dan rawa dulunya luas semakin kecil karena sudah tenggelam air danau. Pada tahun 2015 sampai tahun 2020 luasan danau makin mengecil lantaran peningkatan jumlah sedimen yang dibawa oleh air dari sungai-sungai ke danau dalam jumlah besar karena sering terjadi banjir besar dari hulu sungai yang bermuara ke danau dan banjir tersebut banyak membawa jenis sedimen dari hulu sungai. Pada tutupan lahan sempadan danau dari tahun 2000 sampai 2020 selalu mengalami perubahan yang cukup signifikan.
8. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Jupiardi dkk., 2022) menggunakan citra Landsat 5 (2009) dan Landsat 8 (2019) dengan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) yang menghasilkan *overall accuracy* sebesar 78,67% pada 2009 dan 85,33% pada 2019. Hasil riset ini menunjukkan bahwa

9. perubahan penggunaan lahan di DTA Danau Kerinci periode 2009-2019 mengalami peningkatan luas lahan pertanian kering yang signifikan sebesar 13% atau 13.151,05 ha dan penurunan luas hutan primer sebesar 6,76% atau 6.834,13 ha.
10. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Febianti dkk., 2023) menggunakan citra Landsat 8 (2016-2022) dengan metode *Support Vector Machine* (SVM) yang menunjukkan tutupan lahan di Kota Semarang pada tahun 2016 hingga 2022. Hasil penelitian menunjukkan tutupan lahan di Kota Semarang pada tahun 2016 hingga 2022 didominasi oleh vegetasi. Klasifikasi tutupan lahan menghasilkan tingkat akurasi pada tahun 2016 sebesar 89,53%, tahun 2019 sebesar 91,86% dan tahun 2022 sebesar 90,60%. Akurasi hasil prediksi tutupan lahan tahun 2022 memiliki nilai kappa 80,80% dan % of *Correctness* sebesar 88,96%. Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2031 memiliki luas tertinggi pada daerah vegetasi sebesar 185,33 km<sup>2</sup>. Hasil kesesuaian prediksi tutupan lahan tahun 2031 terhadap RDTRK Kota Semarang tahun 2011 – 2031 sebesar 266,12 km<sup>2</sup> atau 66,73%, sedangkan luas yang tidak sesuai sebesar 132,66 km<sup>2</sup> atau 33,27%.
11. Pada penelitian ini (Penulis, 2023) menggunakan citra Sentinel-1A dari tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di Daerah Tangkapan Air Danau Ranau dengan metode *Support Vector Machine* (SVM) dan mengkaji hubungan perubahan tutupan lahan dengan luas permukaan air danau melalui analisis regresi. SVM adalah salah satu metode *machine learning* yang dapat digunakan untuk klasifikasi citra satelit. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan informasi yang lebih terbaru tentang perubahan tutupan lahan di daerah tangkapan air Danau Ranau dalam beberapa tahun terakhir dan dampaknya terhadap luas permukaan danau. Hal ini dapat membantu dalam pengelolaan sumber daya air dan pengambilan keputusan yang berkelanjutan.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada penelitian terdahulu yang pernah dilakukan sebagai bahan perbandingan dan kajian. Beberapa penelitian yang dijadikan sebagai referensi dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Penelitian terdahulu

No	Pengarang (Tahun)	Judul	Keterangan
1	Vira Febianti, Bandi Sasmito, Nurhadi Bashit (2023)	Pemodelan Perubahan Tutupan Lahan Berbasis Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Semarang)	Penelitian ini menggunakan citra Landsat 8 (2016-2022) dengan metode <i>Support Vector Machine</i> (SVM) yang menunjukkan tutupan lahan di Kota Semarang pada tahun 2016 hingga 2022 (Febianti dkk., 2023).
2	Putra Jupiardi, Yayat Hidayat, Latief M. Rachman (2022)	Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Daerah Tangkapan Air Danau Kerinci	Penelitian ini menggunakan citra Landsat 5 (2009) dan Landsat 8 (2019) dengan metode <i>Maximum Likelihood Classification</i> (MLC) yang menghasilkan <i>overall accuracy</i> sebesar 78.67% pada 2009 dan 85.33% pada 2019 (Jupiardi dkk., 2022).
3	Dede Purnama Putra (2021)	Analisis Dinamika Luasan Danau dan Tutupan Lahan Sempadan Danau Kerinci Terhadap Perilaku Masyarakat di Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi	Penelitian ini menggunakan citra Landsat 7 (2000, 2005 dan 2010) dan Landsat 8 (2020) dengan teknik analisis interpretasi citra yang menyimpulkan bahwa dinamika tutupan lahan kawasan danau dan sempadan danau cukup bervariasi (Putra, 2021).
4	José Antonio Valero Medina, Beatriz Elena Alzate Atehortúa (2019)	<i>Comparison of Maximum Likelihood, Support Vector Machines, and Random Forest Techniques in Satellite Images Classification</i>	Penelitian ini menggunakan citra RapidEye (2012) dengan metode <i>Support Vector Machine</i> (SVM) dan <i>Decision Tree</i> dibandingkan dengan <i>Maximum Likelihood Classification</i> (MLC) yang menyimpulkan bahwa metode SVM lebih baik dalam sampel vektor batas pemisahan yang lebih jelas dan menghindari kebingungan (Medina and Atehortúa, 2019).
5	Indriani Umar, Agam Marsoyo, Bakti Setiawan (2018)	Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Sekitar Danau Limboto di Kabupaten Gorontalo	Penelitian ini menggunakan citra Landsat (1991, 2001, 2015 dan 2017) dengan teknik <i>overlay</i> yang menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 26 tahun (1991-2017) telah terjadi penggunaan lahan danau di sekitar Danau Limboto (Umar dkk., 2018).

6	Arfinna Kusuma Putra, Abdi Sukmono, Bandi Sasmito (2018)	Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Permukaan Terkait Fenomena <i>Urban Heat Island</i> Menggunakan Citra Landsat (Studi Kasus: Kota Surakarta)	Penelitian ini menggunakan metode pengolahan klasifikasi terbimbing ( <i>Supervised</i> ), NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ) dan LST ( <i>Land Surface Temperature</i> ). Pengolahan data dilakukan menggunakan citra satelit Landsat tahun 1997, 2007 dan tahun 2016 yang dilakukan untuk mengetahui hubungan perubahan tutupan lahan terhadap suhu permukaan terkait fenomena <i>Urban Heat Island</i> Kota Surakarta (Putra dkk., 2018)
7	Wiske Rotinsulu, Hengky Walangitan, Afandi Ahmad (2018)	Analisis Perubahan Tutupan Lahan DAS Tondano, Sulawesi Utara Selama Periode Tahun 2002 dan 2015	Penelitian ini menggunakan citra Landsat 7 (2002) dan Landsat 8 (2015) dengan <i>Maximum Likelihood Classification</i> (MLC) menjelaskan perubahan tutupan lahan yang terjadi dalam kurun waktu 13 tahun (2002-2015) (Rotinsulu dkk., 2018).
8	Rizky Annisa Putri (2017)	Analisis Perubahan Tutupan Lahan Daerah Aliran Sungai Rawapening Dengan Sentinel-1A Tahun 2015-2016	Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-1A (2015-2016) dengan metode <i>Maximum Likelihood Classification</i> yang menjelaskan perubahan kelas tutupan lahan (Putri, 2017).
9	Penulis	Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Luas Permukaan Air Danau Ranau	Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-1A (2016-2022) dengan metode <i>Support Vector Machine</i> (SVM) yang menjelaskan perubahan tutupan lahan dan hubungannya terhadap luas permukaan air danau pada Daerah Tangkapan Air Danau Ranau dengan analisis regresi (Penulis, 2023).

## **2.2 Landasan Konseptual**

Landasan konseptual yang terdapat pada penelitian ini menjelaskan beberapa teori dasar, di antaranya sebagai berikut.

### **2.2.1 Sistem Informasi Geografis**

Sistem Informasi Geografis adalah aplikasi yang dikembangkan untuk memberikan data informasi berupa visualisasi (Bahtiar dan Sifaunajah, 2018) yang memiliki informasi spasial (Ardhy, 2018) yang dibuat berdasarkan pemetaan geografis bumi (Vinandari dkk., 2019) dan merupakan sebuah teknologi yang menjadi alat bantu untuk menyimpan, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan kembali kondisi alam dengan bantuan data untuk dapat membantu menyelesaikan masalah yang terjadi (Ikhsan dkk., 2020).

### **2.2.2 Penginderaan Jauh**

Penginderaan Jauh merupakan suatu bidang ilmu, seni dan teknik untuk memperoleh informasi suatu objek, daerah, ataupun fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa harus kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand dkk., 2015). Salah satu produk teknologi penginderaan jauh adalah data citra satelit dan citra foto udara. Bidang ilmu ini merupakan teknik atau seni yang berlandaskan pada penggunaan gelombang elektromagnetik. Penginderaan Jauh adalah salah satu teknik yang tepat dalam memantau kondisi hutan, mampu memberikan data yang unik yang tidak bisa diperoleh dengan sarana lain, mempermudah pekerjaan lapangan dan mampu memberikan data yang lengkap dalam waktu yang relatif singkat dan biaya yang relatif murah.

### **2.2.3 Daerah Tangkapan Air**

Daerah tangkapan air merupakan daerah yang relatif luas yang terletak di dataran rendah atau dataran tinggi. Jika kawasan tersebut tidak tertata dengan baik dan sistem drainasenya tidak memadai, kawasan DAS ini bisa menjadi kawasan rawan banjir (Aji dkk., 2022). Daerah tangkapan air atau *catchment area* merupakan

cakupan tangkapan pada saat terjadi hujan. Semakin besar area tangkapan maka semakin besar debit yang terjadi. Daerah tangkapan air yaitu suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam antara lain tanah, air dan vegetasi serta sumber daya manusia sebagai penerima manfaat sumber daya alam. Prinsip dasar penentuan daerah tangkapan adalah dengan prinsip beda tinggi. Air akan mengalir dari daerah dataran tinggi ke dataran rendah. Untuk kawasan yang cenderung datar, daerah tangkapan dapat diasumsikan terbagi rata pada tiap sisi menuju drainase. Pada daerah berbukit, penentuan daerah tangkapan mengacu pada titik tertinggi, kemudian mengalir ke tempat rendah berdasarkan topografi.

#### **2.2.4 Tutupan Lahan**

Tutupan lahan merupakan jenis gambaran sekarang pada permukaan bumi dan penggunaan lahan merupakan aktivitas manusia atau asosiasi fungsi ekonomi dengan bagian spesifik lahan (Lillesand dkk., 2015). Tutupan lahan dapat menggambarkan keterkaitan antara alami dan sosial dan menyediakan tepat informasi untuk permodelan dan memahami fenomena alam di permukaan bumi. Peralihan bentuk dan lokasi tata guna lahan lama menjadi yang baru atau perubahan fungsi lahan pada waktu yang berbeda atau perubahan fungsi lahan pada waktu yang berbeda. Pemanfaatan lahan intensif tanpa memperhatikan keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan yang berdampak pada degradasi lahan dan bencana.

#### **2.2.5 *Synthetic Aperture Radar (SAR)***

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) merupakan instrumen yang sangat efisien untuk memudahkan dalam pemahaman yang lebih mendalam tentang lingkungan bumi, data SAR mewakili sumber informasi penting untuk berbagai ilmuwan di dunia. SAR merupakan sistem penginderaan jauh aktif karena memiliki sumber energi sendiri yang dibangkitkan dari sensor yang menyinari permukaan bumi dengan energi elektromagnetik, mendeteksi besarnya energi yang dipantulkan kembali oleh objek dan direkam sebagai sebuah citra. Salah satu citra radar yang mudah didapatkan adalah citra sentinel. Radar Sentinel-1A diluncurkan oleh *European Space Agency (ESA)* pada tahun 2014, kemudian Sentinel-1B diluncurkan pada

tahun 2016. Sentinel-1 membawa sensor Radar C-band dengan polarisasi tunggal dan ganda (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020). SAR terpolarisasi dapat menggambarkan karakteristik *landmark* yang lebih baik dari mulai tanah sampai dengan obyek hamburan terpolarisasi dan akan memberikan arah baru dalam pengenalan dan klasifikasi citra. Polarisasi radar ditentukan oleh struktur geometris dalam gelombang yang dipancarkan oleh antena, yang berada dalam sistem koordinat tertentu. Sumbu horizontal dan vertikal ditentukan oleh panjang dan pendeknya antena dan kedua komponen ortogonal ini menciptakan dua gelombang terpolarisasi yang disebut *elips*.

Gelombang terpolarisasi dibuat oleh sistem radar, yang dirancang untuk mengirimkan dan menerima gelombang dalam dua keadaan polarisasi yang paling umum yaitu linier horizontal (H) dan linier vertikal (V). Dengan mengirim dan menerima polarisasi oleh sepasang simbol, sistem radar yang menggunakan polarisasi linier H dan V dengan demikian dapat memiliki saluran berikut :

- HH untuk pengiriman horizontal dan penerimaan horizontal
- VV untuk pengiriman vertikal dan penerimaan vertikal
- HV untuk pengiriman horizontal dan penerimaan vertikal
- VH untuk pengiriman vertikal dan penerimaan horizontal.

### **2.2.6 Sentinel-1**

Citra satelit Sentinel-1A adalah citra yang dikembangkan oleh *European Space Agency* (ESA) pada tahun 2014. Citra ini merupakan citra radar dengan kemampuan untuk mengamati permukaan bumi pada waktu siang dan malam hari, serta dapat melewati awan, hujan dan kabut. Sentinel-1A menggunakan teknologi *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang dapat memberikan citra dengan resolusi spasial yang tinggi.

Citra Sentinel-1A memiliki tiga jenis produk yang tersedia, yaitu:

- a) *Single Look Complex* (SLC): Jenis produk ini menghasilkan citra dalam bentuk data kompleks dengan resolusi spasial yang tinggi. Data ini digunakan untuk memproses citra radar yang lebih lanjut dan menghasilkan citra yang lebih terperinci.

- b) *Ground Range Detected High-resolution (GRDH)*: Jenis produk ini menghasilkan citra dalam bentuk data yang telah diproses secara ground range detected dan dengan resolusi spasial yang tinggi. Data ini biasanya digunakan untuk aplikasi yang memerlukan deteksi perubahan pada permukaan bumi.
- c) *Ocean (OCN) Level-2*: Jenis produk ini digunakan untuk memantau permukaan laut dan aktivitas oseanografi. Data ini mencakup parameter seperti tinggi gelombang laut, arah angin dan kecepatan arus laut.

Citra Sentinel-1A dan produk-produknya dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti pemantauan lingkungan, pemetaan tanah, pengamatan cuaca, pemantauan kelautan dan sebagainya. Sentinel-1A memang memiliki kemampuan untuk mengamati permukaan bumi pada waktu siang dan malam hari. *Repeat cycle* atau periode pengulangan pemantauan menggunakan satelit Sentinel-1A adalah setiap 12 hari, yang artinya satelit ini dapat memperbarui data citra setiap 12 hari sekali.

Sentinel-1A memiliki empat mode akuisisi yang berbeda, yaitu :

- a) *Strip Map (SM)* : Mode akuisisi ini memberikan citra dengan resolusi spasial paling tinggi, yaitu sekitar 5 meter hingga 20 meter. Mode ini sesuai untuk memetakan area yang luas dengan detail yang tinggi, seperti memetakan wilayah perkebunan atau hutan.
- b) *Interferometric Wide Swath (IW)* : Mode akuisisi ini menghasilkan citra dengan lebar swath sekitar 250 km dan resolusi spasial sekitar 5 meter hingga 20 meter. Mode ini sesuai untuk pemantauan daerah yang luas dengan tingkat detail yang tinggi, seperti memantau daerah pertanian atau perkotaan.
- c) *Extra Wide Swath (EW)* : Mode akuisisi ini memberikan citra dengan lebar swath sekitar 400 km dan resolusi spasial sekitar 40 meter hingga 100 meter. Mode ini sesuai untuk pemantauan daerah yang sangat luas, seperti memantau wilayah lautan atau daratan yang luas.
- d) *Wave (WV)* : Mode akuisisi ini dikhususkan untuk memantau gelombang laut dan aktivitas laut lainnya dengan resolusi spasial sekitar 5 meter hingga 20 meter.

Mode akuisisi IW pada Sentinel-1A memang difokuskan pada area dengan radius 250 km<sup>2</sup> dan resolusi spasial 5 meter hingga 20 meter, yang memungkinkan penggunaan citra ini untuk memetakan area yang luas dengan detail yang tinggi, seperti pemantauan kehutanan atau pengamatan bencana alam. Adapun informasi detail karakteristik citra Sentinel-1 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik Sentinel-1 (Sumber : European Space Agency, 2015)

Misi	Sentinel-1
Konstelasi	Sentinel-1A dan Sentinel-1B
Sensor	C-band (frekuensi tengah: 5,405 GHz)
Pemanfaatan	Pemantauan laut Pemantauan darat Layanan manajemen darurat
Diluncurkan	Sentinel-1A (3 April 2014) dan Sentinel-1B (25 April 2016)
Waktu Perekaman	12 hari, Kedua Konstelasi 6 hari <i>repeat cycle</i>
Mode	<i>Strip Map (SM)</i> : 80 km swath, 5 x 5 m resolusi spasial (HH+HV, VV+HH) <i>Interferometric Wide Swath (IW)</i> : 250 km swath, 5 x 20 m resolusi spasial (HH+HV, VV+HH) <i>Extra-Wide Swath (EW)</i> 400 km swath, 20 x 40 m resolusi spasial (HH+HV, VV+HH) <i>Wave (WV)</i> : 20 x 20 km, 5 x 5 m resolusi spasial (HH, VV)

Produk	<p><i>Raw Level-0</i> data (untuk penggunaan khusus) (ukuran standar 1 GB/produk)</p> <p><i>Level-1 Single Look Complex</i> data yang terdiri dari citra kompleks dengan amplitudo dan fase (distribusi sistematis terbatas pada area relevan tertentu) (ukuran tipikal 8 GB/produk)</p> <p><i>Level-1 Ground Range</i> data yang terdeteksi hanya dengan intensitas <i>multilook</i> (didistribusikan secara sistematis) (ukuran tipikal 1GB/produk)</p> <p><i>Level-2 Ocean</i> data untuk parameter geofisika laut yang diambil (didistribusikan secara sistematis).</p>
Area Pemanfaatan	<p>Pemantauan tanah hutan, air, tanah dan pertanian</p> <p>Deteksi perubahan iklim</p> <p>Pengamatan es laut dan pemantauan gunung es</p> <p>Bagan es beresolusi tinggi</p> <p>Memetakan tumpahan minyak</p> <p>Deteksi kapal laut</p>

### 2.2.7 Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik diperlukan atas dasar dua alasan, yaitu memperbaiki kualitas visual citra dan sekaligus memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran objek yang sebenarnya. Salah satu bentuk koreksi radiometrik adalah menghilangkan *noise* yang diakibatkan oleh nilai pada atmosfer (Beisl dkk., 2008). Kalibrasi radiometrik dilakukan untuk mengkoreksi *noise* pada citra dengan mengubah *Digital Number* (DN) pada citra menjadi nilai pantulan (Farichah, 2019). Baris atau bagian baris yang bernilai tidak sesuai dengan yang seharusnya dikoreksi dengan mengambil nilai piksel satu baris di atas dan di bawahnya, kemudian dirata-ratakan. Koreksi radiometrik dilakukan dengan mengubah *Digital Number* (DN) pada citra menjadi nilai pantulan objek yang sebenarnya. Dengan demikian, nilai piksel pada citra akan merepresentasikan tingkat pantulan atau pancaran dari objek yang diamati dengan lebih akurat. Salah satu masalah yang sering ditemukan pada citra satelit adalah adanya *noise* atau gangguan yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti efek atmosfer, sistem sensor, atau sinyal yang terpantul dari permukaan bumi yang tidak stabil. Untuk menghilangkan *noise* pada citra, perlu dilakukan koreksi radiometrik yang tepat.

Salah satu teknik koreksi radiometrik adalah teknik *destriping*, yang dapat digunakan untuk menghilangkan efek *stripe* atau garis-garis pada citra yang disebabkan oleh perbedaan sensitivitas detektor pada sensor. Kemudian dilakukan *thermal noise removal* untuk menghapuskan efek termal dari citra. Teknik ini dapat dilakukan dengan mengambil nilai piksel pada satu baris di atas dan di bawahnya, kemudian merata-ratakan untuk menghasilkan nilai piksel yang lebih akurat dan menghilangkan *noise* pada citra.

### 2.2.8 Koreksi Geometrik

Variasi topografi disebabkan oleh kemiringan sensor citra, akibatnya jarak dapat terdistorsi (Putri, 2017). Koreksi medan atau *terrain correction* digunakan untuk memastikan representasi geometris citra sesuai dengan koordinat lapangan (Septiana dkk., 2017). *Range Doppler Terrain Correction* adalah koreksi distorsi geometris yang disebabkan oleh topografi, seperti *foreshortening* (pemendekan) dan bayangan, menggunakan model elevasi digital untuk mengoreksi lokasi setiap piksel. *Range Doppler Terrain Correction* operator tersedia pada *software* SNAP dengan mengimplementasikan metode orthorektifikasi *Range Doppler* untuk geocoding adegan SAR dari citra dalam geometri radar.

Variasi topografi dapat menyebabkan distorsi pada citra satelit karena kemiringan sensor citra yang menyebabkan jarak terdistorsi. Koreksi medan atau *terrain correction* digunakan untuk memastikan representasi geometris citra sesuai dengan koordinat lapangan. *Range Doppler Terrain Correction* adalah salah satu teknik koreksi medan yang digunakan untuk mengatasi distorsi geometris pada citra satelit akibat topografi, seperti *foreshortening* dan bayangan. Teknik ini menggunakan model elevasi digital untuk mengoreksi lokasi setiap piksel pada citra satelit.

Untuk melakukan koreksi medan dengan teknik *Range Doppler Terrain Correction*, dapat digunakan operator yang tersedia pada *software* SNAP. Metode *orthorectification Range Doppler* digunakan untuk *geocoding* adegan SAR dari citra dalam geometri radar. Dengan teknik ini, citra satelit dapat dikoreksi secara akurat sehingga dapat digunakan untuk analisis dan interpretasi data dengan lebih tepat dan akurat.

### 2.2.9 Speckle Filter

Interferensi acak yang ditimbulkan oleh penyinaran radar koheren dengan hamburan balik mengakibatkan rata-rata fluktuasi sel resolusi meningkatkan intensitas acak yang tajam dari gelap dan terang pada citra SAR. Intensitas acak yang tajam disebut *speckle*. Bintik warna atau *speckle* dapat mempengaruhi kualitas suatu citra, sehingga menyulitkan kita untuk melihat sesuatu dengan jelas. Pengurangan bintik adalah cara untuk membuat citra terlihat lebih halus. Salah satu cara melakukannya adalah dengan menggunakan filter untuk menghilangkan bintik-bintik kecil dan acak pada citra. Filter akan bekerja paling baik jika ditempatkan dekat dengan titik yang perlu dihilangkan, berdasarkan faktor seperti jarak dari pusat filter, faktor kabut dan variasi lokal.

Penggunaan filter untuk mengurangi *speckle* pada citra SAR adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan. Beberapa jenis filter yang sering digunakan ialah dapat dilihat sebagai berikut.

- a) *Median filter* adalah filter non-linear yang bekerja dengan mengganti nilai piksel dengan nilai median dari nilai piksel yang berada di sekitarnya. Filter ini sangat efektif dalam mengurangi bintik pada citra, tetapi dapat mengurangi ketajaman citra.
- b) *Mean filter* adalah filter linier yang bekerja dengan mengganti nilai piksel dengan rata-rata dari nilai piksel yang berada di sekitarnya. Filter ini cenderung kurang efektif dalam mengurangi bintik pada citra.
- c) *Lee filter* adalah salah satu filter yang paling sering digunakan untuk mengurangi *speckle* pada citra SAR. Filter ini bekerja dengan menggabungkan informasi dari dua daerah yang berbeda pada citra, yaitu daerah yang mengandung *speckle* dan daerah yang bebas *speckle*. Filter *Lee* menghasilkan citra yang lebih halus tanpa mengurangi ketajaman citra.
- d) *Frost filter* adalah filter yang bekerja dengan meminimalkan energi dari variasi *speckle* pada citra. Filter ini lebih efektif dalam mengurangi bintik pada citra dibandingkan filter *Lee*, tetapi dapat menghasilkan citra yang lebih buram.
- e) *Kuan filter* adalah filter yang bekerja dengan menggunakan nilai histogram pada citra untuk menentukan apakah sebuah piksel perlu dihapus atau tidak.

### 2.2.10 Klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM)

Klasifikasi *Support Vector Machine* adalah klasifikasi analisis statistik non parametrik (Akbar, 2022). Klasifikasi *Support Vector Machine* tidak hanya memiliki asumsi apabila *training data* yang inti dapat terdistribusi, ini dikarenakan klasifikasi dapat mengidentifikasi kelas spektral serta menganalisis tingkatan keterkaitan dengan beberapa piksel. Secara akurasi keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa metode *Support Vector Machine* (SVM) lebih baik digunakan dalam klasifikasi citra SAR dibandingkan dengan menggunakan *Maximum Likelihood* (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020). *Support Vector Machine* (SVM) adalah metode klasifikasi yang populer dan banyak digunakan dalam pengolahan citra, termasuk citra SAR. SVM bekerja dengan mencari *hyperplane* (bidang pemisah) yang terbaik untuk memisahkan data dari kelas yang berbeda. SVM memperhitungkan jarak antara data dan *hyperplane* yang dipilih dan berusaha memaksimalkan jarak tersebut. Keuntungan dari SVM dalam klasifikasi citra SAR adalah kemampuannya untuk menangani data yang tidak terdistribusi secara normal. Selain itu, SVM juga dapat menangani data dengan dimensi yang tinggi, sehingga sesuai untuk digunakan pada citra SAR yang memiliki banyak fitur.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa SVM memiliki kinerja yang lebih baik dalam klasifikasi citra SAR dibandingkan dengan metode klasifikasi lainnya, seperti *Maximum Likelihood*. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020) menunjukkan bahwa SVM memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam klasifikasi citra SAR dibandingkan dengan *Maximum Likelihood*. Pilihan metode klasifikasi yang tepat untuk digunakan dalam klasifikasi citra SAR bergantung pada kondisi dan karakteristik citra yang akan diolah. Perlu dilakukan uji coba beberapa metode klasifikasi untuk menemukan metode yang paling sesuai untuk aplikasi tertentu.

### 2.2.11 Uji Akurasi

Uji akurasi digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan secara visual hasil klasifikasi suatu area. Akurasi ketelitian pemetaan dilakukan dengan membuat matriks konfusi atau matriks kesalahan yang membandingkan kategori per kategori (kelas per kelas), hubungan antara data referensi (*ground truth*) dengan data hasil klasifikasi seperti pada Tabel 3, *User's accuracy* menunjukkan kemungkinan suatu piksel tertentu diklasifikasikan ke dalam kelas tertentu yang mewakili kelas yang bersangkutan.

Matriks konfusi adalah tabel yang menunjukkan jumlah piksel yang diklasifikasikan ke dalam setiap kelas, baik dengan benar maupun salah. Matriks ini memungkinkan untuk menghitung beberapa ukuran kinerja klasifikasi, seperti *presisi*, *recall* dan akurasi. Dalam matriks konfusi, terdapat empat kemungkinan hasil klasifikasi, yaitu *true positive* (TP), *false positive* (FP), *true negative* (TN) dan *false negative* (FN). TP adalah jumlah piksel yang diklasifikasikan dengan benar ke dalam kelas yang benar, sedangkan FP adalah jumlah piksel yang salah diklasifikasikan ke dalam kelas yang salah. TN adalah jumlah piksel yang benar diklasifikasikan ke dalam kelas yang tidak bersangkutan dan FN adalah jumlah piksel yang seharusnya diklasifikasikan ke dalam kelas yang benar, tetapi salah diklasifikasikan ke dalam kelas yang salah.

Dari matriks konfusi, dapat dihitung beberapa ukuran kinerja klasifikasi, seperti *user's accuracy* dan *producer's accuracy*. *User's accuracy* menunjukkan seberapa sering piksel yang sebenarnya termasuk dalam suatu kelas diklasifikasikan sebagai kelas tersebut. Sedangkan, *producer's accuracy* menunjukkan seberapa sering piksel yang diklasifikasikan sebagai kelas tertentu benar-benar termasuk dalam kelas tersebut. Kedua ukuran ini penting untuk mengevaluasi kinerja klasifikasi citra dan menentukan tingkat akurasi klasifikasi yang dilakukan.

Tabel 3 Matriks konfusi (Putri, 2017)

Data Klasifikasi	Data Referensi				Total Baris	User's Accuracy
	A	B	C	D		
A	X <sub>ii</sub>	...	...	...	X <sub>+i</sub>	X <sub>ii</sub> /X <sub>+i</sub>
B	...	...	...	...	...	...
C	...	...	...	...	...	...
D	...	...	...	...	...	...
Total Kolom	X <sub>i+</sub>	...	...	X <sub>ii</sub>	N	...

Secara matematis akurasi dari Tabel 3 adalah sebagai berikut :

$$User's Accuracy = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$Overall Accuracy = \frac{\sum_i^r X_{ii}}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$Kappa (k) = \frac{N \sum_i^r X_{ii} - \sum_i^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_i^r X_{i+} X_{+i}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- X<sub>ii</sub> = Nilai diagonal matriks kontingensi baris ke-I dan kolom ke-i
- X<sub>i+</sub> = Jumlah piksel dalam kolom ke-i
- X<sub>+i</sub> = Jumlah piksel dalam baris ke-i
- N = Banyaknya piksel dalam contoh
- $\sum_i^r X_{ii}$  = Jumlah nilai diagonal matriks kontingensi baris ke-I dan kolom ke-i
- $\sum_i^r X_{i+} X_{+i}$  = Jumlah perkalian X<sub>i+</sub> dan X<sub>+i</sub>

Nilai *kappa* < 0,20 adalah buruk, 0,21-0,40 adalah kurang dari sedang, 0,41-0,60 adalah sedang, 0,61-0,80 adalah baik dan 0,81-1,00 adalah sangat baik (Altman, 1991).

**2.2.12 Uji Korelasi dan Regresi**

Penelitian ini menggunakan dua pengujian hubungan di antaranya adalah uji korelasi dan uji regresi linear sederhana. Uji korelasi atau uji korelasi merupakan mengetahui keeratan hubungan antara dua variabel atau lebih. Uji korelasi

umumnya digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya suatu hubungan dari suatu variabel dengan variabel yang lain. Jika terdapat hubungan antara variabel yang berkaitan maka jika terdapat perubahan pada satu variabel akan menyebabkan perubahan juga pada variabel yang lain. Secara konsep, dua variabel dapat tidak berhubungan ( $r = 0$ ) disebut tidak ada korelasi atau dapat berhubungan sempurna ( $r = 1$ ) disebut korelasi sempurna atau kemungkinan terdapat di antara angka tersebut ( $0 < r < 1$ ). Arah korelasi dapat dibedakan menjadi arah korelasi positif yaitu berhubungan searah yaitu ditandai dengan peningkatan variabel X yang akan diikuti peningkatan variabel Y dan arah korelasi negatif yaitu berhubungan berlawanan yang ditandai oleh peningkatan variabel X akan diikuti penurunan variabel Y atau sebaliknya (Santoso, 2010).

Persamaan korelasi dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

- X : Variabel independen
- Y : Variabel dependen
- n : Banyaknya sampel
- r : Koefisien korelasi

Tabel 4 Hubungan korelasi

Interval Kelas	Tingkat Hubungan
0,00-0,199	Sangat Rendah
0,20-0,399	Rendah
0,40-0,599	Cukup Kuat
0,60-0,799	Kuat
0,80-1,00	Sangat Kuat

Pada Tabel 4 menjelaskan tingkatan hubungan korelasi yang dimulai dari sangat rendah hingga sangat kuat. Pada interval (0,00-0,199) menunjukkan sangat rendah, (0,20-0,399) menunjukkan rendah, (0,40-0,599) menunjukkan cukup kuat, (0,60-0,799) menunjukkan kuat dan (0,80-1,00) menunjukkan sangat kuat.

Sedangkan analisis regresi merupakan pengujian untuk memprediksikan seberapa jauh pengaruh dari variabel tersebut. Dalam uji regresi, dibagi menjadi 2 jenis yaitu regresi linear sederhana (*simple linear regression*) dan regresi linear berganda (*multiple linear regression*). Analisis regresi linear sederhana adalah hubungan secara linear atau garis lurus yang memiliki satu polinomial pada model tersebut. Metode ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel X dan variabel Y apakah positif atau negatif serta mengetahui seberapa besarnya pengaruh dari variabel independen X dan variabel dependen Y. Model yang dihasilkan digunakan dalam memprediksi nilai dari variabel dependen Y lainnya jika variabel independen X diubah.

Dalam regresi linear sederhana, model ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai Y berdasarkan nilai X. Regresi linear sederhana sangat berguna dalam memahami hubungan antara dua variabel dan digunakan dalam berbagai bidang seperti ekonomi, ilmu sosial dan ilmu sains. Selain regresi linear sederhana, terdapat juga regresi linear berganda, yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu variabel dependen (Y) dan dua atau lebih variabel independen (X1, X2, X3, dst.). Regresi linear berganda dapat membantu dalam memahami bagaimana beberapa variabel independen berkontribusi pada variabel dependen dan dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang diberikan.

Persamaan regresi linear sederhana dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$a = \frac{\sum Y - b(\sum X)}{n} \dots\dots\dots (6)$$

$$y = a + bX + \varepsilon \dots\dots\dots (7)$$

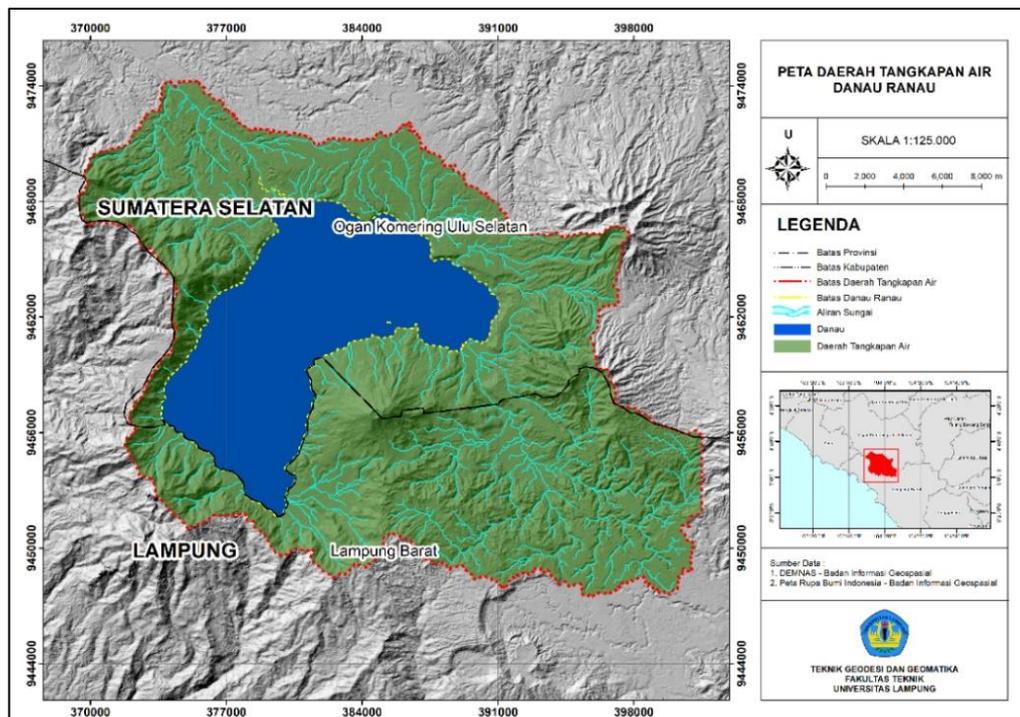
Keterangan :

- Y : Nilai yang diramalkan
- a : Konstanta
- b : Koefisien regresi
- X : Variabel bebas
- $\varepsilon$  : Nilai residu

### III. METODOLGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini dilaksanakan pada Januari 2023 hingga Maret 2023 pada daerah tangkapan air (DTA) Danau Ranau. Secara geografis DTA Danau Ranau berada di  $4^{\circ}51'49.017''$  Lintang Selatan dan  $103^{\circ}55'28.284''$  Bujur Timur. Secara administratif Danau Ranau berada di perbatasan antara Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan dan Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Danau Ranau terletak pada *Universal Transverse Mercator* (UTM) *zone-48S*. Berikut merupakan Gambar 1 yang merupakan lokasi penelitian Daerah Tangkapan Air Danau Ranau yang dihasilkan dari delineasi daerah tangkapan air.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

### 3.2 Bahan dan Alat

Terdapat beberapa bahan dan alat dalam penelitian ini, adapun informasi lebih lanjut dapat dilihat sebagai berikut.

#### 3.2.1 Bahan

Bahan atau data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Data penelitian

Data	Jenis	Sumber
Citra Sentinel-1A IW GRDH	Raster	<a href="https://scihub.copernicus.eu">https://scihub.copernicus.eu</a>
DEM SRTM HGT 1 arc-second	Raster	<a href="https://scihub.copernicus.eu">https://scihub.copernicus.eu</a>
Peta Rupa Bumi Indonesia (batas administrasi)	Vektor	<a href="http://tanahair.indonesia.go.id">http://tanahair.indonesia.go.id</a>
Peta Tutupan Lahan (ESRI) Tahun 2016, 2018, 2020, 2022	Raster	<a href="https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer">https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer</a>
Citra dari Google Earth Tahun (2016, 2018, 2020, 2022)	Raster	Software Google Earth Pro

Data citra Sentinel-1A IW GRDH dengan jenis produk *Interferometric Wide-swath Ground Range Doppler High-resolution*, resolusi spasial 10,21 x 9,93 m, frekuensi C-band (*middle frequency*: 5,405 GHz) dengan polarisasi (VV+VH) dan resolusi spasial hasil pengolahan 5 x 5 m. Citra Sentinel-1A IW GRDH diambil pada rentang yang sama yakni dengan setiap 2 tahun yang diambil pada bulan Mei.

Citra hasil pengolahan dilakukan komposit RGB dengan *Dual Pol Ratio (Gamma)* db, yaitu polarisasi dengan *Red (Gamma\_VV\_db)*, *Green (Gamma\_VH\_db)*, *Blue (Gamma\_VV\_db/Gamma\_VH\_db)*, komposit RGB tersebut menggunakan *band VV* dan *VH* yang telah dikonversi menjadi desibel (db) yang digunakan untuk *increase of amplitude* agar mempermudah interpretasi.

Adapun penjelasan lebih lanjut terkait informasi data citra Sentinel-1A *Interferometric Wide Swath (IW) Ground Range Doppler High-resolution (GRDH)* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Informasi data citra Sentinel-1A

No	ID Scene	Granule Details
1	S1A_IW_GRDH_1SDV _20160511T224116_20160511T224141 _011217_010F54_DE10	Acquisition Date : 2016-05-11 Instrument : SAR-C Acquisition Mode : IW Product : GRD Resolution : High Satellite : Sentinel-1 Absolute Orbit : 11217 Pass Direction : Descending Polarization : VV+VH Frequency : C-Band Radar Frequency : 5405,000454334349 MHz
2	S1A_IW_GRDH_1SDV _20180525T224135_20180525T224159 _022067_02629D_417F	Acquisition Date : 2018-05-25 Instrument : SAR-C Acquisition Mode : IW Product : GRD Resolution : High Satellite : Sentinel-1 Absolute Orbit : 22067 Pass Direction : Descending Polarization : VV+VH Frequency : C-Band Radar Frequency : 5405,000454334349 MHz
3	S1A_IW_GRDH_1SDV _20200502T224146_20200502T224211 _032392_03C01C_8E0D	Acquisition Date : 2020-05-02 Instrument : SAR-C Acquisition Mode : IW Product : GRD Resolution : High Satellite : Sentinel-1 Absolute Orbit : 32392 Pass Direction : Descending Polarization : VV+VH Frequency : C-Band Radar Frequency : 5405,000454334349 MHz

4	S1A_IW_GRDH_1SDV _20220504T224157_20220504T224222 _043067_052499_EC7A	<i>Acquisition Date</i> : 2020-05-02 <i>Instrument</i> : SAR-C <i>Acquisition Mode</i> : IW <i>Product</i> : GRD <i>Resolution</i> : High <i>Satellite</i> : Sentinel-1 <i>Absolute Orbit</i> : 43067 <i>Pass Direction</i> : Descending <i>Polarization</i> : VV+VH <i>Frequency</i> : C-Band <i>Radar Frequency</i> : 5405,000454334349 MHz
---	---	--

### 3.2.2 Alat

Berikut merupakan alat yang digunakan pada penelitian ini, di antaranya sebagai berikut.

#### a) Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan adalah Laptop *Acer* dengan *type Aspire A514-51G*, *operating system Windows 10 Enterprise*, *memory (HDD 1 TB, SSD 512 GB dan RAM 20 GB)*, *processor Intel Core i5-8265U*, *graphics NVIDIA GeForce MX230*.

#### b) Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan ialah SNAP–S1Tbx (*Sentinel-1 Toolbox*) untuk pengolahan citra Sentinel-1A IW GRDH, ENVI untuk klasifikasi citra dengan metode *Support Vector Machine*, ArcGIS untuk analisis spasial tutupan lahan dan luas permukaan air Danau Ranau, Google Earth Pro untuk mendapatkan citra validasi dari Google Earth dan Microsoft Office 2019 untuk analisis data atribut dan regresi.

### 3.3 Jadwal Kegiatan

Berikut merupakan jadwal kegiatan penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Jadwal kegiatan penelitian`

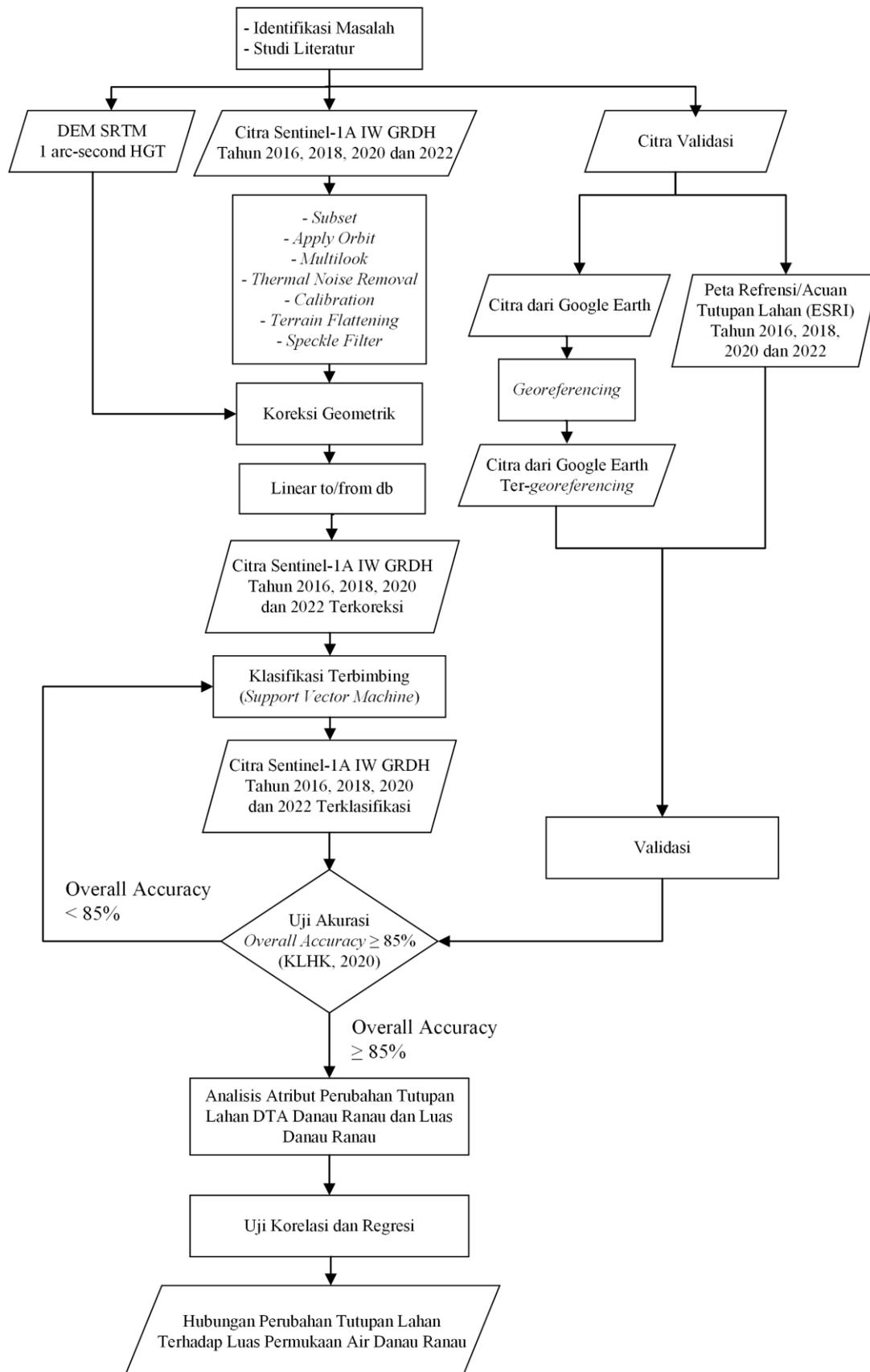
No	Kegiatan	Januari 2023				Februari 2023				Maret 2023			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Identifikasi Masalah	■											
2.	Studi Literatur	■	■										
3.	Penyusunan Proposal	■	■										
4.	Administrasi			■	■								
5.	Pengumpulan Data					■	■						
6.	Pengolahan Data					■	■	■	■				
7.	Analisis Data							■	■	■			
8.	Laporan Akhir									■	■	■	■

### 3.4 Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mengimplementasikan pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Metode ini dilakukan dengan mengolah data citra Sentinel-1A IW GRDH menggunakan *software* SNAP-ESA S1Tbx. Data citra yang digunakan berupa citra multitemporal Sentinel-1A tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022. Data tersebut diambil pada rentang waktu yang sama yaitu dengan rentang waktu tiap 2 tahun. Proses klasifikasi citra menggunakan *Support Vector Machine* karena memiliki akurasi lebih baik daripada *Maximum Likelihood* (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020). Hasil dari proses pengolahan ini berupa peta tutupan lahan multitemporal pada Daerah Tangkapan Air Danau Ranau dan dilakukan analisis hubungan dengan luas permukaan air Danau Ranau.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir metodologi penelitian. Berikut merupakan diagram alir metodologi penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

### 3.6 Tahap Persiapan

Adapun beberapa tahap persiapan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

#### a) Identifikasi Masalah

Pada tahapan identifikasi masalah dilakukan penentuan masalah yang dibahas dalam penelitian ini. Permasalahan pada penelitian ini berupa bagaimana tutupan lahan yang terjadi pada area DTA Danau Ranau dalam beberapa tahun ke belakang dan bagaimana kondisi Danau Ranau dari tahun ke tahunnya apakah terjadi penurunan luasan permukaan, atau sebaliknya.

#### b) Studi Literatur

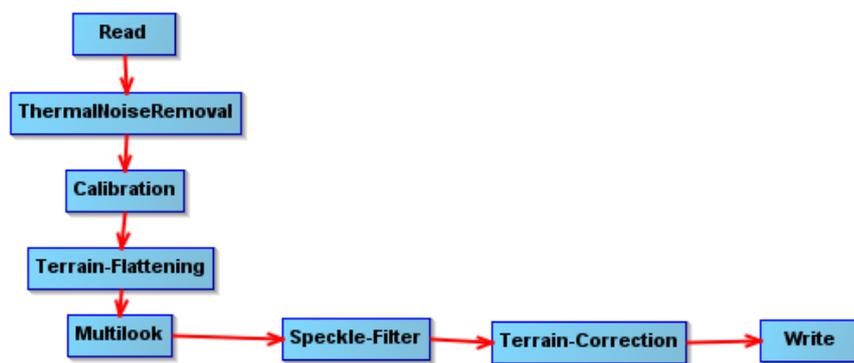
Pada tahapan studi literatur dilakukan pengumpulan referensi yang berkaitan dengan penelitian meliputi kajian tutupan lahan, pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis, metode klasifikasi citra, pemanfaatan SAR (*Synthetic Aperture Radar*), perubahan luasan, matriks konfusi dan lainnya. Referensi literatur lain yang mendukung berdasarkan buku, jurnal, majalah, skripsi, internet dan lain sebagainya.

### 3.7 Tahap Pengumpulan

Tahap pengumpulan data yang dibutuhkan untuk penelitian tentang analisis perubahan tutupan lahan di DTA Danau Ranau adalah data citra radar Sentinel-1A IW GRDH, data vektor DTA Danau Ranau yang didapat dari hasil delineasi tangkapan air menggunakan DEM, DEM SRTM HGT 1 *arc-second* (*Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission*), Peta Rupa Bumi Indonesia, titik uji validasi *ground truth*, Peta Tutupan Lahan tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022. Data pengujian klasifikasi pada penelitian ini menggunakan 400 titik pengujian lapangan yang terbagi menjadi badan air, lahan terbangun, tanah terbuka dan vegetasi yang masing-masing terdiri dari 100 titik pengujian.

### 3.8 Tahap Pengolahan

Pada penelitian ini menggunakan beberapa tahapan analisis, pertama yang dilakukan pra-klasifikasi citra adalah dengan melakukan pengolahan data citra yang telah didapatkan dari ESA Copernicus dengan menggunakan *software* SNAP-S1Tbx, tahapan tersebut digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengolahan Citra Sentinel-1A IW GRDH pada SNAP-S1Tbx

Berdasarkan pada gambar di atas, beberapa proses pra-klasifikasi citra dengan metode *Support Vector Machine* dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### a) Pemotongan Citra

Pada tahap ini dilakukan pemotongan citra dengan tujuan melakukan pengolahan data citra yang lebih ringan. Pada tahap pemotongan citra khususnya pada pengolahan citra SAR disebut dengan *subset*. Subset merupakan proses pemotongan citra dengan bekerja mempertahankan struktur dan karakteristik citra namun secara signifikan dapat mengurangi jumlah data yang diolah. Pada *subset image* ini mengurangi jumlah data yang diolah sehingga mempermudah dalam kegiatan analisa citra yang diklasifikasi dengan membatasi luasan sesuai dengan *area of interest*.



Gambar 4 Citra Sentinel-1A IW GRDH sebelum dilakukan pemotongan



Gambar 5 Citra Sentinel-1A IW GRDH setelah dilakukan pemotongan

Pada Gambar 4 merupakan tampilan yang menunjukkan *raw data* sebelum pemotongan citra (*subset image*), kemudian pada Gambar 5 merupakan citra Sentinel-1A IW GRDH yang telah dilakukan tahapan pemotongan citra (*subset image*). Terlihat dengan jelas bahwa Gambar 5 dipangkas beberapa data menjadi lebih kecil wilayah cakupannya setelah melalui proses *subset image*.

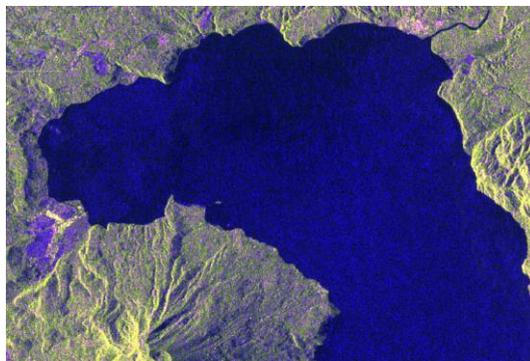
#### b) *Multilooking*

Pada tahap ini dibutuhkan proses *multilooking* yang merupakan proses dalam upaya mengurangi *speckle* pada citra SAR dari bentuk *slant-range* menjadi *ground-range* dengan menggunakan nilai-nilai dari hasil pengurangan *speckle* (Moreira, 1990). *Multilooking* bekerja mengurangi *speckle* dari pantulan permukaan yang terdapat pada citra yang menyebar pada permukaan kasar dan mengubah citra menjadi resolusi yang lebih baik. *Multilooking* bekerja meningkatkan resolusi radiometrik pada citra dengan merata-ratakan *Digital Number* (Schmitt, 2016).

Tahap *Multilooking* mengombinasikan citra yang memiliki *noise* sehingga dapat mengurangi kenampakan dari *speckle-speckle* yang dapat mengubah citra menjadi resolusi berbeda. Pada tahap *multilooking* ini berjalan dengan memasukkan nilai *Ground Range Square Pixel* berdasarkan rentang yang ditetapkan melalui perangkat lunak ESA-S1Tbx seperti nilai dengan *range* 1 dan nilai *azimuth* 4, 2 dengan 8, 3 dengan 12 dan seterusnya. Pada Gambar 7 menunjukkan hasil tahapan *multilooking* citra Sentinel-1A dengan *range* 1 dan *azimuth* 1 pada *mean GR Square Pixel* 10,001285.



Gambar 6 Citra Sentinel-1A sebelum dilakukan *multilooking*

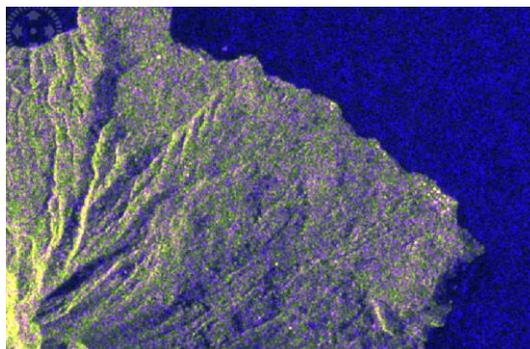


Gambar 7 Citra Sentinel-1A setelah dilakukan *multilooking*

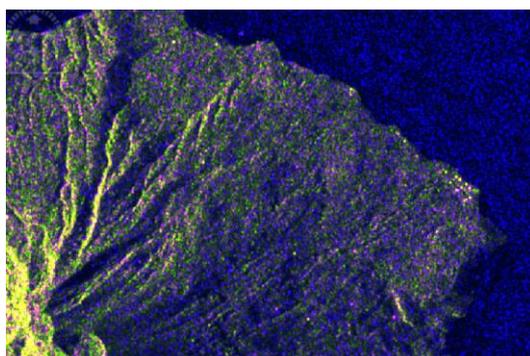
Pada Gambar 6 merupakan citra sebelum dilakukan tahapan *multilooking* yang masih terdapat kenampakan *speckle* pada citra. Sedangkan Gambar 7 merupakan hasil pengolahan *multilooking* di mana *speckle* berkurang. Untuk mengurangi efek *speckle* pada citra SAR, salah satu teknik yang umum digunakan adalah *multilooking*.

### c) Kalibrasi Radiometrik

Tahap kalibrasi radiometrik merupakan tahapan dalam mengoreksi citra SAR sehingga nilai piksel benar-benar merepresentasikan hamburan balik radar yang dipantulkan oleh objek. Kalibrasi ini dilakukan melalui menu kalibrasi radiometrik pada SNAP-S1Tbx (*Sentinel-1 Toolbox*) yang menghasilkan nilai *sigma nought* ( $\sigma_0$ ). Tujuan kalibrasi citra SAR adalah untuk mengoreksi gangguan yang terdapat pada *raw data*, selain itu untuk mendapatkan nilai piksel yang sesuai dengan keadaan permukaan. Nilai piksel akan mempresentasikan nilai hamburan balik dari permukaan objek yang terdapat di permukaan bumi. Hasil tahapan ini dilakukan untuk menganalisis hasil perekaman secara kuantitatif.



Gambar 8 Citra Sentinel-1A sebelum dikalibrasi radiometrik



Gambar 9 Citra Sentinel-1A setelah dikalibrasi radiometrik

Pada Gambar 8 merupakan citra sebelum dilakukan tahap kalibrasi radiometrik di mana nilai piksel belum merepresentasikan objek permukaan sebenarnya, berbeda dengan Gambar 9 yang menunjukkan citra yang telah melalui tahapan kalibrasi radiometrik dengan *thermal noise removal*.

*Thermal noise removal* bertujuan untuk menghapus *noise* gerak *thermal* yang mengganggu serta melakukan *calibrate* yang merepresentasikan nilai pantulan hamburan balik sebenarnya dari objek permukaan bumi yang dilakukan perekaman.

d) Koreksi Geometrik

Variasi topografi disebabkan oleh kemiringan sensor citra, akibatnya jarak dapat terdistorsi (Putri, 2017). Koreksi medan atau *terrain correction* digunakan untuk memastikan representasi geometris citra sesuai dengan koordinat lapangan (Septiana dkk., 2017). Pada proses koreksi geometrik menggunakan menu *geometric* pada SNAP-S1Tbx (Sentinel-1 *Toolbox*) dan memilih metode *Range Doppler Terrain Correction* yang melibatkan data DEM dan *orbit file* yang didapat secara otomatis oleh *software* SNAP-S1Tbx untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan pada citra SAR.



Gambar 10 Citra Sentinel-1A sebelum dikoreksi geometrik

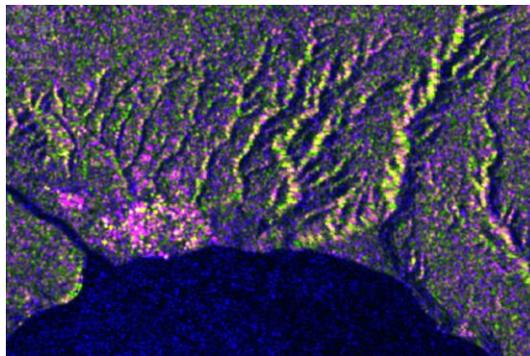


Gambar 11 Citra Sentinel-1A setelah dikoreksi geometrik

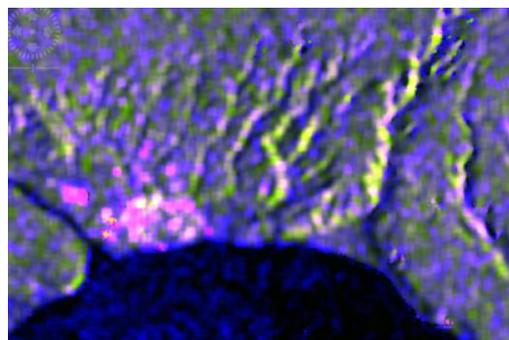
Pada Gambar 10 menunjukkan citra yang belum terkoreksi geometrik sehingga menampilkan citra yang belum sesuai secara geometris. Sedangkan Gambar 11 merupakan citra yang telah dikoreksi geometrik dengan *Range Doppler Terrain Correction* pada SNAP-S1Tbx. Citra dikoreksi dengan menggunakan *Digital Elevation Model SRTM HGT (Shuttle Radar Topography Mission Height) 1 arc-second*. Pada koreksi geometrik menggunakan proyeksi UTM (*Universal Transverse Mercator*) zone-48S yang sesuai dengan wilayah kajian.

e) *Speckle Filtering*

Tahap *speckle filtering* digunakan untuk mengurangi *speckle (noise)* yang menjadi salah satu masalah pada pengolahan citra radar. *Speckle filtering* yang digunakan adalah filter *Gamma Map* dengan ukuran jendela piksel (*filter size*) 5 x 5. *Speckle filtering* harus dikurangi sebelum citra akan dilakukan interpretasi, dengan tahap *speckle filtering* ini dapat menyaring dan menghilangkan secara menyeluruh *speckle* yang ada pada citra (Hatwar, 2015). Semakin tinggi ukuran jendela pikselnya maka akan lebih luas cakupan penyaringannya.



Gambar 12 Citra Sentinel-1A sebelum dilakukan *speckle filtering*



Gambar 13 Citra Sentinel-1A setelah dilakukan *speckle filtering*

Pada Gambar 12 merupakan citra sebelum dilakukan tahap *speckle filtering* yang masih menampilkan efek *noise* pada tiap piksel sehingga dapat menyulitkan interpretasi objek. Sedangkan Gambar 13 menunjukkan citra yang telah dilakukan tahapan *speckle filtering* dengan melakukan penyaringan terhadap bintik-bintik *noise* pada citra yang dianggap mengganggu dengan filter *Gamma Map* pada *filter size* 5 x 5 (cakupan penyaringan lebih luas) sehingga menghasilkan citra yang lebih halus dan terlihat jelas ketika dilakukan interpretasi dan tidak mengubah informasi spasialnya.

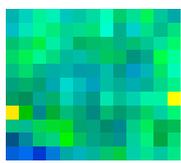
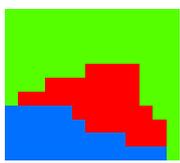
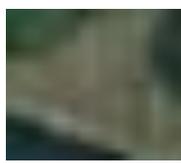
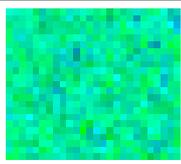
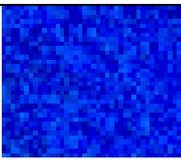
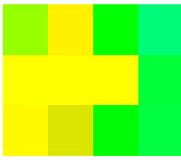
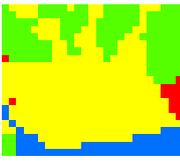
#### f) Klasifikasi Citra

Data Sentinel-1A IW GRDH tahun 2016-2022 telah dianalisis menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) *Support Vector Machine* pada perangkat lunak ENVI dan ArcGIS. Metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) menggunakan data pelatihan untuk mengklasifikasikan data pengamatan ke dalam kelas-kelas yang telah ditentukan sebelumnya. Sementara itu, *Support Vector Machine* (SVM) adalah salah satu algoritma klasifikasi yang digunakan dalam analisis citra dan *machine learning*. SVM mencari garis atau permukaan yang memisahkan dua atau lebih kelas dalam data dengan margin terbesar, sehingga pengklasifikasian dapat dilakukan dengan tepat. SVM dapat memisahkan kelas-kelas pada citra dengan membuat sebuah *hyperplane* (garis batas) yang berjarak paling jauh dari data latihan (*training data*). *Hyperplane* tersebut berfungsi untuk meminimalkan kesalahan klasifikasi dan memaksimalkan jarak antar kelas.

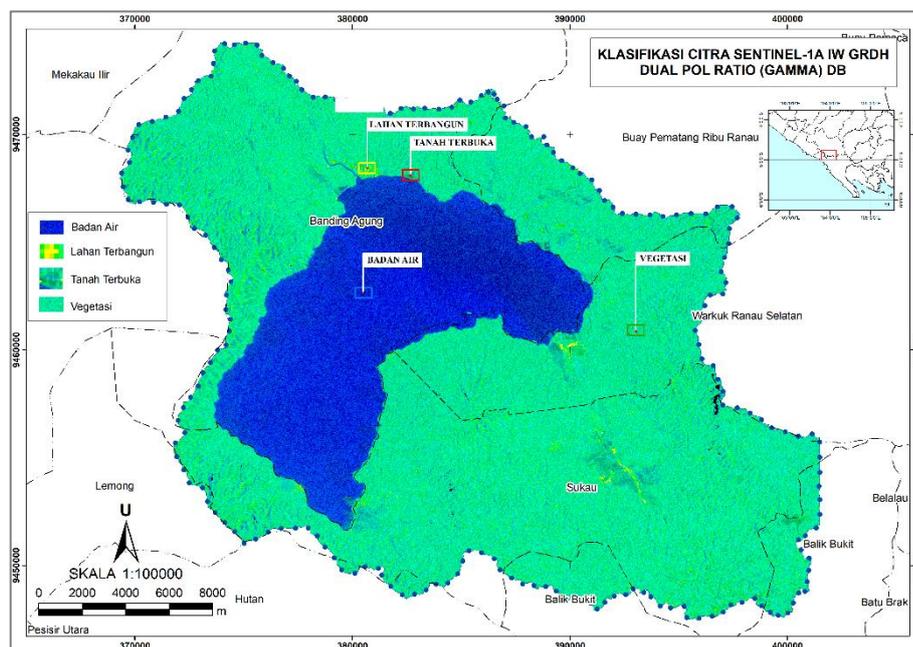
ENVI adalah perangkat lunak pengolahan citra satelit dan data geospasial yang digunakan untuk memproses, menganalisis dan memvisualisasikan data citra satelit. Dalam ENVI, SVM merupakan salah satu dari berbagai algoritma klasifikasi yang tersedia untuk melakukan pengklasifikasian citra satelit. Sedangkan ArcGIS adalah perangkat lunak GIS (*Geographic Information System*) yang digunakan untuk mengolah dan menganalisis data geografis, termasuk data citra satelit. Dengan ArcGIS, pengguna dapat melakukan analisis spasial, analisis

data, serta membuat dan membagikan peta. SVM juga dapat digunakan dalam analisis citra satelit pada ArcGIS. Pada penelitian ini, klasifikasi dilakukan untuk memetakan tutupan lahan menggunakan 4 kelas yaitu tanah terbuka, vegetasi, badan air dan lahan terbangun. Keempat kelas tersebut merupakan kelas umum yang sering digunakan dalam pemetaan tutupan lahan. Dalam pemetaan tutupan lahan, SVM dapat memberikan hasil yang akurat dengan ketepatan klasifikasi yang tinggi. Klasifikasi citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) berbeda dengan citra optik pada umumnya karena SAR menggunakan gelombang mikro untuk membentuk citra daripada cahaya seperti yang digunakan dalam citra optik. Sehingga perlu pengujian lebih lanjut untuk menginterpretasi objek pada citra Sentinel-1A. Berikut merupakan kenampakan piksel yang mewakili objek tutupan lahan disandingkan dengan kenampakan peta tutupan lahan ESRI dan citra yang bersumber dari Google Earth.

Tabel 8 Interpretasi objek Sentinel-1A dengan citra validasi

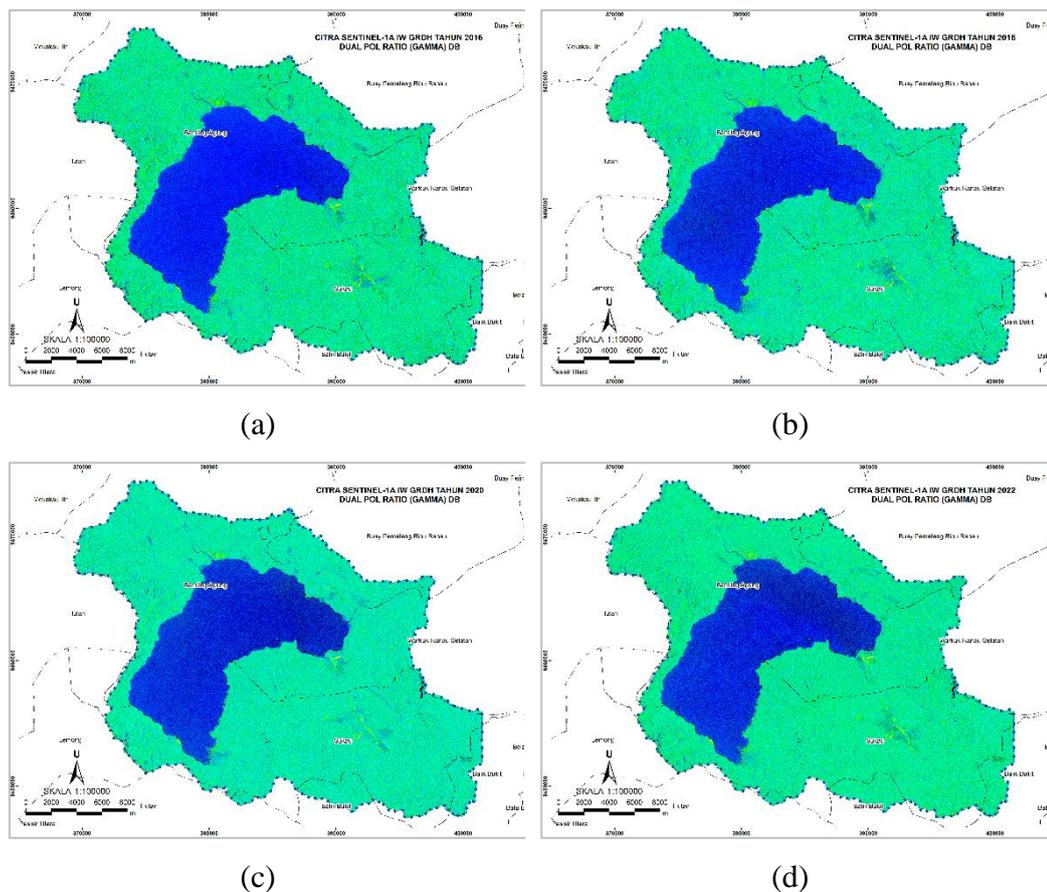
No	Objek	Deskripsi	Sentinel-1A IW GRDH	ESRI	Citra dari Google Earth
1	Tanah terbuka/lahan kosong	Tanah kosong, ruang terbuka, pasir, tempat pembuangan sampah			
2	Vegetasi	Taman, pohon, padang rumput, lahan pertanian			
3	Badan air	Sungai, lahan basah danau, kolam dan waduk			
4	Lahan terbangun	Perumahan, kawasan komersial dan industri, jaringan transportasi			

Pada Tabel 8, citra hasil pengolahan dari *software* SNAP-S1Tbx dilakukan komposit warna RGB (*Red, Green, Blue*) dengan memanfaatkan polarisasi. Polarisasi komposit RGB yang digunakan ialah dengan menggunakan polarisasi komposit RGB citra SAR *dual-pol ratio (gamma) db (VV+VH)* yang merujuk pada jenis citra SAR menggunakan dua polarisasi transmisi, yaitu polarisasi horizontal (H) dan vertikal (V) dan memperoleh empat polarisasi menerima (HH, HV, VH dan VV) sebagai hasilnya. Adapun interpretasi citra dapat dilihat pada Gambar 14.



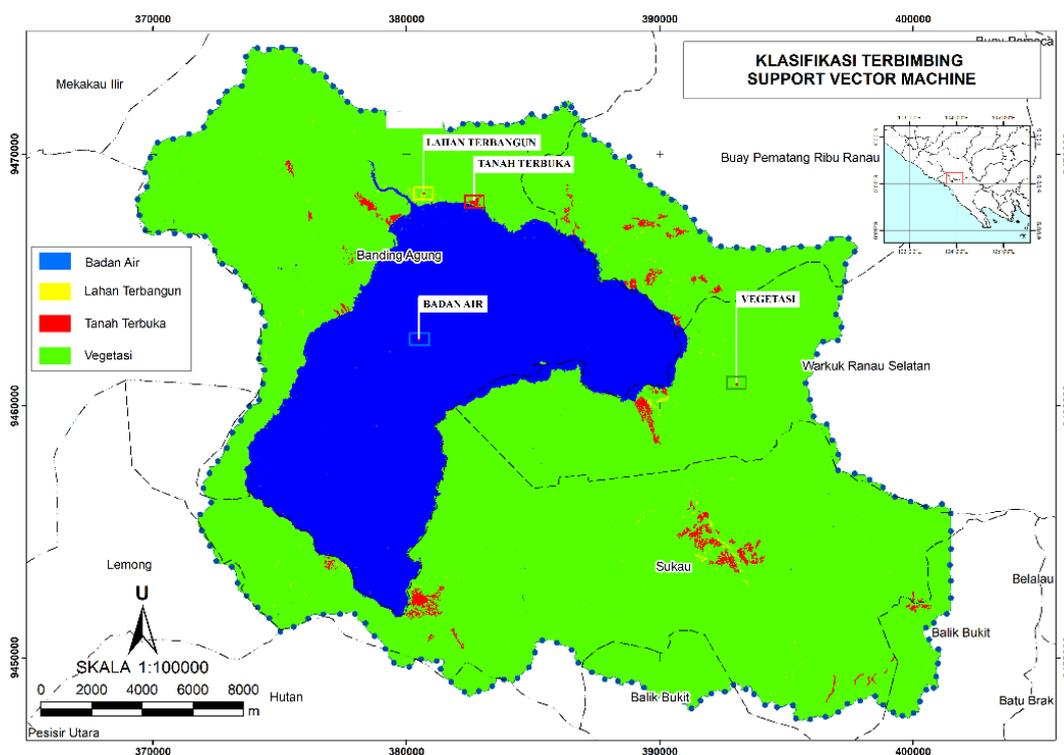
Gambar 14 Klasifikasi Citra Sentinel-1A IW GRDH

Dalam citra SAR *dual-pol ratio (Gamma) db*, polarisasi transmisi H dan V dipancarkan secara bergantian oleh antena dan kemudian sinyal pantulan dari objek di permukaan bumi diterima oleh antena dalam keempat polarisasi yang berbeda. Pada citra SAR *dual-pol ratio (Gamma) db*, polarisasi HH mengacu pada sinyal pantulan dari polarisasi H yang diterima oleh antena dalam polarisasi H, sedangkan polarisasi HV mengacu pada sinyal pantulan dari polarisasi H yang diterima oleh antena dalam polarisasi V dan seterusnya. Citra yang telah dilakukan komposit RGB (*Red, Green, Blue*) dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Citra Sentinel-1A IW GRDH tahun 2016-2022 (a) Citra Tahun 2016 (b) Citra Tahun 2018 (c) Citra Tahun 2020 (d) Citra Tahun 2022

Berdasarkan hasil penafsiran pada gambar di atas, terlihat bahwa objek badan air yaitu berwarna biru yang mewakili objek danau maupun badan air, objek tanah terbuka yang meliputi sawah dan lahan pertanian kering berwarna coklat kehitaman, objek lahan terbangun berwarna kuning, objek vegetasi yang meliputi hutan, kebun serta vegetasi hijau lainnya berwarna hijau. Berdasarkan interpretasi, dilakukan pengolahan klasifikasi menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM). Klasifikasi citra dilakukan berdasarkan pengenalan piksel-piksel yang mewakili. Hasil klasifikasi citra tersebut dapat dilihat pada Gambar 16.



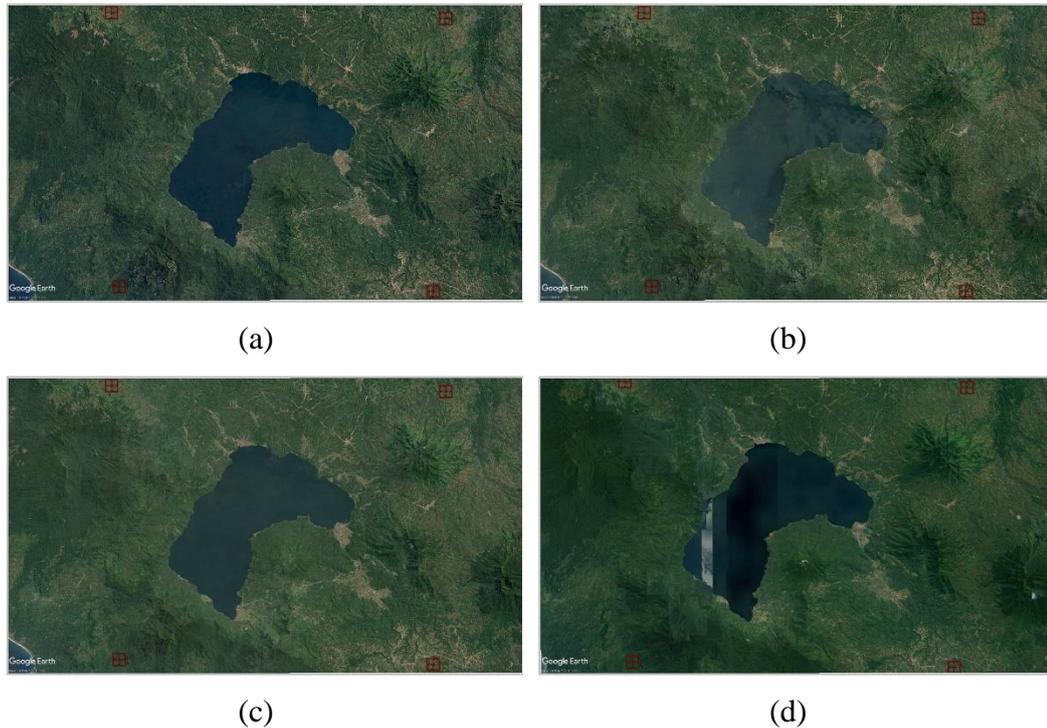
Gambar 16 klasifikasi terbimbing *Support Vector Machine*

Pada Gambar 16 menunjukkan contoh dari hasil klasifikasi citra dengan metode SVM. Gambar 16 tersebut menunjukkan bahwa objek tanah terbuka dijelaskan pada klasifikasi berwarna merah, objek vegetasi diklasifikasi berwarna hijau, objek badan air diklasifikasi pada warna biru dan objek lahan terbangun diklasifikasi berwarna kuning.

#### g) Uji Akurasi

Setelah melalui proses klasifikasi citra Sentinel-1A IW GRDH tahun 2016-2022 menggunakan metode SVM dengan 4 kelas tutupan lahan. Tahap selanjutnya ialah melakukan pengujian dengan uji akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan. Uji akurasi digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan secara visual hasil klasifikasi suatu area. Akurasi ketelitian pemetaan dilakukan dengan membuat matriks konfusi dan syarat tutupan lahan dianggap valid dengan *Overall Accuracy*  $\geq 85\%$  (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dkk., 2020).

Setelah melakukan klasifikasi citra Sentinel-1A IW GRDH tahun 2016-2022 menggunakan metode SVM dengan 4 kelas tutupan lahan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian akurasi hasil klasifikasi tersebut. Data yang digunakan sebagai validasi adalah citra dari Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI. Citra dari Google Earth dapat dilihat pada Gambar 17.



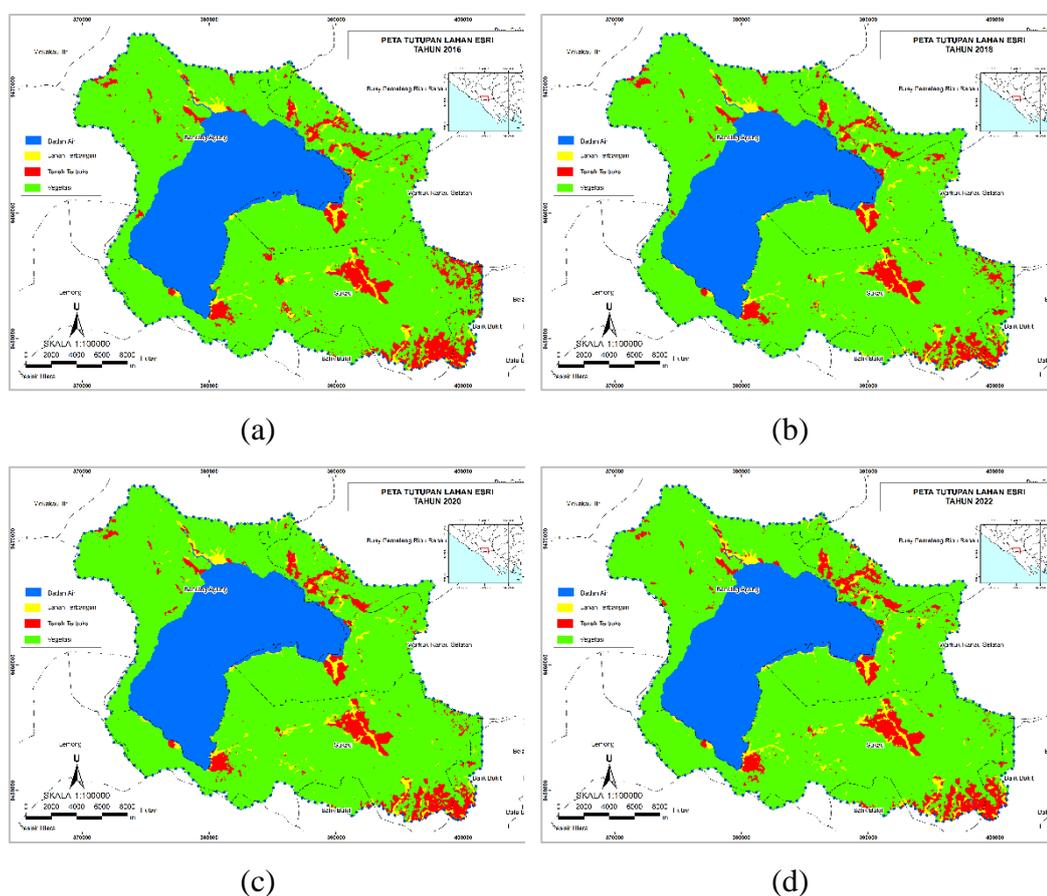
Gambar 17 Citra dari Google Earth Tahun 2016-2022 (a) Citra tahun 2016 (b) Citra tahun 2018 (c) Citra tahun 2020 (d) Citra tahun 2022

Citra dari Google Earth tersebut digunakan sebagai citra validasi yang kemudian dilakukan *georeferencing/rectify* dengan 4 titik koordinat proyeksi dengan tujuan bahwa citra dari Google Earth tersebut dapat sesuai dengan koordinat sebenarnya. Citra tersebut diproyeksikan ke dalam koordinat UTM *Zone 48S (South)*. Adapun titik proyeksi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Titik proyeksi citra dari Google Earth

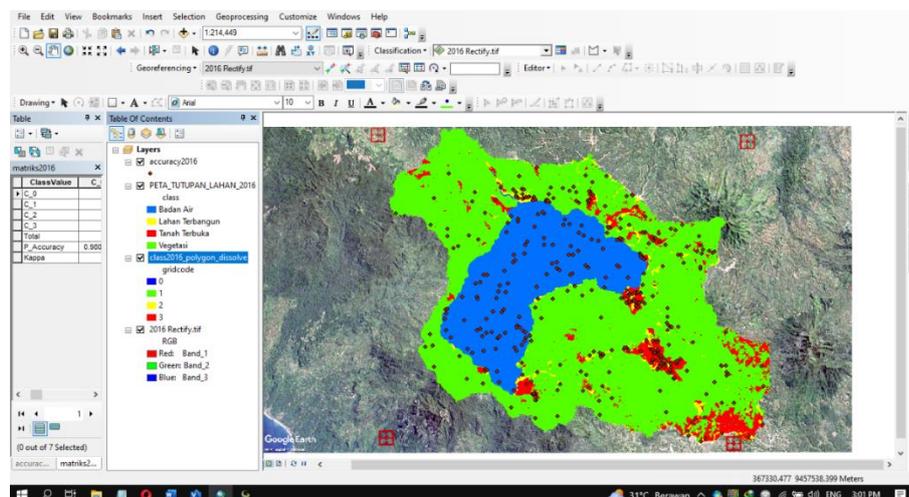
Titik Proyeksi	Easting/X (E)	Northing/Y (N)
Titik 1	368365,00 m E	9473714,00 m S
Titik 2	399599,00 m E	9473158,00 m S
Titik 3	398440,00 m E	9447465,00 m S
Titik 4	369086,00 m E	9447945,00 m S

Selain menggunakan citra dari Google Earth, validasi hasil klasifikasi citra Sentinel-1A IW GRDH juga menggunakan peta tutupan lahan referensi, peta tutupan lahan referensi yang digunakan bersumber dari ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) pada tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022. Peta referensi tersebut antara lain dapat dilihat pada Gambar 18 berikut.



Gambar 18 Peta Tutupan Lahan ESRI Tahun 2016-2022 (a) Peta Tutupan Lahan Tahun 2016 (b) Peta Tutupan Lahan Tahun 2018 (c) Peta Tutupan Lahan Tahun 2020 (d) Peta Tutupan Lahan Tahun 2022

Langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam melakukan pengujian akurasi di antaranya ialah menentukan titik-titik sampel di lapangan yang mewakili masing-masing kelas tutupan lahan yang telah diklasifikasikan pada citra satelit, sampel ini digunakan sebagai data referensi untuk membandingkan hasil klasifikasi, kemudian memproses citra satelit untuk menghasilkan hasil klasifikasi tutupan lahan, selanjutnya membuat matriks konfusi dengan membandingkan hasil klasifikasi dengan data referensi dari sampel lapangan. Matriks konfusi akan menunjukkan jumlah piksel yang diklasifikasikan dengan benar dan salah untuk setiap kelas tutupan lahan. Menghitung parameter akurasi seperti *Overall Accuracy*, *Producer's Accuracy*, *User's Accuracy* dan *Kappa Coefficient* dari matriks konfusi. Kemudian mengevaluasi hasil akurasi dengan membandingkan *Overall Accuracy* dengan syarat tutupan lahan yang valid ( $\geq 85\%$ ) dan melihat nilai parameter-parameter lainnya untuk mengevaluasi tingkat keakuratan klasifikasi secara lebih rinci dan mendalam.



Gambar 19 Uji akurasi citra Sentinel-1A IW GRDH dengan citra dari Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI

Pada Gambar 19 menunjukkan tahapan pengolahan uji akurasi citra Sentinel-1A IW GRDH dengan citra sumber Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI yang dianggap benar sebagai data lapangan (*ground truth*). Pengujian menggunakan 400 titik yang masing-masing terdapat 100 *point* sampel pada tiap kelas tutupan lahan. Hal ini menunjukkan bahwa Gambar 19 merupakan pengolahan untuk memverifikasi akurasi citra Sentinel-1A IW GRDH dengan membandingkannya dengan citra Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI yang dianggap sebagai data lapangan yang akurat. Proses pengujian akurasi seperti ini biasa dilakukan untuk memastikan kualitas citra dan meminimalkan kesalahan dalam pengolahan data.

Dalam Gambar 19 terdapat visualisasi perbandingan antara citra Sentinel-1A IW GRDH dengan citra Google Earth dan peta tutupan lahan ESRI. Hasil pengolahan tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas citra. Jika hasil akurasi tidak memenuhi syarat tutupan lahan yang valid, maka perlu dilakukan klasifikasi kembali hingga memenuhi persyaratan. Setelah memperbaiki klasifikasi dan pengambilan sampel lapangan, maka langkah-langkah pengujian akurasi dapat diulangi untuk memastikan hasil klasifikasi yang akurat.

#### h) Uji Korelasi dan Regresi

Dalam tahap ini dilakukan pengujian korelasi dan regresi terhadap analisis luasan perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau. Untuk melakukan pengujian korelasi dan regresi linear pada analisis luasan perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau yaitu dengan mempersiapkan data di antaranya luasan perubahan tutupan lahan, luas permukaan air Danau Ranau selama periode tahun 2016-2022.

Nilai korelasi akan memberikan informasi tentang seberapa kuat hubungan antara kedua variabel tersebut. Selanjutnya, melakukan analisis regresi linear berganda untuk menguji pengaruh luasan perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau. Dalam analisis regresi, luasan perubahan tutupan lahan akan menjadi variabel independen (X), sedangkan luas permukaan air Danau Ranau akan menjadi variabel dependen (Y).

Dalam analisis regresi linear berganda, dapat mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi luas permukaan Danau Ranau, seperti curah hujan, suhu dan sebagainya. Hal ini dilakukan dengan memasukkan variabel-variabel ini sebagai variabel independen tambahan dalam model regresi.

Kemudian melakukan Interpretasi hasil, setelah melakukan analisis korelasi dan regresi linear berganda, hal yang dilakukan adalah dengan menginterpretasikan hasilnya. Jika nilai korelasi positif dan signifikan, artinya luasan perubahan tutupan lahan memiliki pengaruh yang positif terhadap luas permukaan air Danau Ranau. Dalam analisis regresi, dapat melihat besarnya koefisien regresi untuk luasan perubahan tutupan lahan, yang menunjukkan seberapa besar pengaruh variabel tersebut terhadap luas permukaan air Danau Ranau. Dengan melakukan pengujian korelasi dan regresi linear ini, dapat memperoleh informasi yang lebih rinci dan akurat mengenai hubungan antara luasan perubahan tutupan lahan dengan luas permukaan air Danau Ranau dan juga faktor-faktor lain yang mempengaruhi luas permukaan air Danau Ranau.

#### i) Analisis

Dalam tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil klasifikasi data citra Sentinel-1A IW GRDH DTA Danau Ranau periode tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022, hasil uji korelasi dan regresi dengan menghasilkan data atau informasi luasan maupun perubahan tutupan lahan. Berdasarkan hasil analisis klasifikasi citra dan analisis korelasi dan regresi, dapat menghasilkan informasi tentang luasan perubahan tutupan lahan, perubahan luas permukaan air Danau Ranau serta pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap luas permukaan air Danau Ranau selama periode tahun 2016-2022.

### 3.9 Tahap Akhir

Pada tahap akhir pada penelitian skripsi ini adalah pembuatan laporan mengenai analisis perubahan tutupan lahan di Daerah Tangkapan Air terhadap luas permukaan air Danau Ranau menggunakan Sentinel-1A IW GRDH tahun 2016, 2018, 2020 dan 2022 dengan metode *Support Vector Machine*. Terdapat beberapa bagian penting, antara lain sebagai berikut. Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian dan sebagainya. Tinjauan Pustaka, berisi teori-teori atau penelitian terkait dengan topik penelitian. Metodologi Penelitian, berisi tentang teknik dan metode yang digunakan dalam penelitian. Hasil dan Pembahasan, berisi hasil penelitian dan pembahasan mengenai hasil penelitian. Simpulan dan Saran, berisi simpulan dari penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya. Daftar Pustaka, berisi daftar referensi yang digunakan dalam penulisan laporan skripsi.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kelas tutupan lahan badan air mengalami penurunan sebesar 3,22 ha pada tahun 2016-2018 kemudian meningkat atau mengalami peningkatan sebesar 91,4 ha pada tahun 2018-2020 dan mengalami penurunan sebesar 51,4 ha pada tahun 2020-2022. Sehingga pada tahun 2016-2022, terjadi perubahan kelas tutupan lahan pada badan air sebesar 36,78 ha dengan tren peningkatan. Kelas vegetasi terjadi peningkatan pada tahun 2016-2018 sebesar 28,16 ha kemudian terjadi peningkatan kembali sebesar 22,9 ha pada tahun 2018-2020 dan mengalami penurunan sebesar 17,1 ha pada tahun 2020-2022. Sehingga pada tahun 2016-2022, terjadi perubahan kelas tutupan lahan pada vegetasi sebesar 33,96 ha dengan tren peningkatan. Kelas lahan terbangun terjadi peningkatan sebesar 3 ha pada tahun 2016-2018, kemudian mengalami peningkatan kembali sebesar 4,6 ha pada tahun 2018-2020 dan peningkatan sebesar 1,5 ha pada tahun 2020-2022. Sehingga pada tahun 2016-2022, terjadi perubahan kelas tutupan lahan pada lahan terbangun sebesar 9,1 ha dengan tren peningkatan. Kelas tanah terbuka mengalami penurunan dari tahun 2016-2018 sebesar 28,33 ha dan mengalami penurunan kembali sebesar 119,06 ha pada tahun 2018-2020, kemudian pada tahun 2020-2022 terjadi peningkatan sebesar 67,36 ha. Sehingga pada tahun 2016-2022, terjadi perubahan kelas tutupan lahan pada tanah terbuka sebesar 80,03 ha dengan tren penurunan.

2. Luas permukaan Danau Ranau pada tahun 2016-2018 mengalami penurunan sebesar 3,4 ha kemudian mengalami peningkatan sebesar 67,3 ha pada tahun 2018-2020 dan mengalami penurunan kembali pada tahun 2020-2022 sebesar 35,6 ha. Sehingga perubahan luas permukaan Danau Ranau pada tahun 2016-2022 sebesar 28,3 ha dengan tren peningkatan.
3. Hasil uji regresi linear sederhana yang dilakukan pada beberapa kelas tutupan lahan untuk mengetahui hubungan atau korelasi antara perubahan luas tutupan lahan luas permukaan danau. Kelas tanah terbuka memiliki korelasi ( $r$ ) sebesar -0,99743 (garis hubungan negatif) dengan persamaan  $y = -0,4698x + 12.898$  dengan tingkat hubungan sangat kuat dan koefisien determinasi ( $r^2$ ) sebesar 0,9492. Kelas vegetasi memiliki korelasi ( $r$ ) sebesar 0,8128 (garis hubungan positif) dengan persamaan  $y = 1,1958x - 3.6017$  dengan tingkat hubungan sangat kuat dan koefisien determinasi ( $r^2$ ) sebesar 0,6606. Kelas badan air memiliki korelasi ( $r$ ) sebesar 0,9994 (garis hubungan positif) dengan persamaan  $y = 0,7332x + 3.356$  dengan tingkat hubungan sangat kuat dan koefisien determinasi ( $r^2$ ) sebesar 0,9988. Kelas lahan terbangun memiliki korelasi ( $r$ ) sebesar 0,7540 (garis hubungan positif) dengan tingkat hubungan sangat kuat dan koefisien determinasi ( $r^2$ ) sebesar 0,5686.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan terdapat beberapa saran, sebagai berikut :

1. Penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode klasifikasi yang berbeda;
2. Pengecekan di lapangan untuk memvalidasi hasil klasifikasi;
3. Penggunaan kualitas air untuk memantau kualitas Danau Ranau;
4. Penggunaan citra beresolusi tinggi seperti citra SPOT, Quick bird dan lain sebagainya sebagai citra referensi/validasi dalam uji akurasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji, A., Hayati, R., Benardi, A.I., Laksono, H.B. dan Zahra, D.A. 2022. Bencana Banjir Pada Masa Pandemi Covid-19 di Kota Semarang. *Konservasi Alam*, 1(2022), hal. 25–46.
- Akbar, A.M. 2022. *Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Terbangun Kota Bandar Lampung Tahun 2030 Menggunakan Model Cellular Automata*. Universitas Lampung.
- Altman, D.G. 1991. *Practical Statistics for Medical Research*. London: Chapman and Hall.
- Ardhy, F. 2018. Sistem Informasi Geografis Penyedia Jasa Rumah Kos Berbasis Website (Studi Kasus: Wilayah Kotabumi Lampung Utara). *SIMADA (Jurnal Sistem Informasi & Manajemen Basis Data)*, 1(1), hal. 41. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30873/simada.v1i1.1113>.
- Ariyantoni, J. dan Rokhmana, C.A. 2020. Evaluasi Polarisasi Citra SAR (Syththetic Aperture Radar) untuk Klasifikasi Obyek Tutupan Lahan. *Elipsoida : Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 3(01), hal. 22–29. Tersedia pada: <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2020.7761>.
- Bahtiar, N.D. dan Sifaunajah, A. 2018. Perancangan Sistem Informasi Geografis Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Wilayah Jombang. *Saintekbu*, 10(1), hal. 83–91. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32764/saintekbu.v10i1.165>.
- Beisl, U., Telaar, J. dan Schönermark, M.V. 2008. Atmospheric Correction, Reflectance Calibration and BRDF Correction for ADS40 Image Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 37(April 2014).
- European Space Agency. 2015. *Sentinel-1 Data Access and Product*. ESA Copernicus.
- Farichah, D. 2019. *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan Jalan Tol di Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Citra Satelit Multitemporal*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Febianti, V., Sasmito, B. dan Bashit, N. 2023. Pemodelan Perubahan Tutupan Lahan Berbasis Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 11(3), hal. 111–120.
- Hatwar, P.A. 2015. Analysis of Speckle Noise Reduction in Synthetic Aperture Radar Images. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(01), hal. 508–512.
- Ikhsan, A., Najib, M. dan Ulum, F. 2020. Sistem Informasi Geografis Toko Distro Berdasarkan Rating Kota Bandar Lampung Berbasis Web. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi (JTSI)*, 1(2), hal. 71–79.
- Jupiardi, P., Hidayat, Y. dan Rachman, L.M. 2022. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Daerah Tangkapan Air Danau Kerinci. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 6(1), hal. 77–86.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. *Profil 15 Danau Prioritas Nasional 2010-2014*. Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. *Akurasi Data Penutupan Lahan Nasional Tahun 1990-2016*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. dan Chipman, J. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation. 7th Edition*. John Wiley & Sons.
- Medina, J.A.V. dan Atehortúa, B.E.A. 2019. Comparison of Maximum Likelihood, Support Vector Machines, and Random Forest Techniques in Satellite Images Classification. *Tecnura*, 23(59), hal. 3–10.
- Moreira, A. 1990. Improved Multi-Look Techniques Applied to SAR and Scansar Imager. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, (June), hal. 321–324. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1109/igarss.1990.688487>.
- Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2020. *Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 283/KPTS/M/2020*. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Puspitaningrum, D. dan Murti, S.H. 2020. Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis dalam Pemetaan Potensi Daerah Resapan Air untuk Pelestarian Waduk Selorejo Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Bumi Indonesia*, hal. 1–19.
- Putra, A.K. Sukmono, A. dan Sasmito, B. 2018. Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Suhu Permukaan Terkait Fenomena Urban Heat Island Menggunakan Citra Landsat (Studi Kasus: Kota Surakarta). *Jurnal*

*Undip*,7(3), hal. 22–31.

- Putra, D.P. 2021. Analisis Dinamika Luasan Danau dan Tutupan Lahan Sempadan Danau Kerinci Terhadap Perilaku Masyarakat di Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi. *Jurnal Kependudukan dan Pembangunan Lingkungan*, 2(2), hal. 56–66. Tersedia pada: <http://jkpl.ppj.unp.ac.id/index.php/JKPL/article/view/114>.
- Putri, R.A. 2017. *Analisis Perubahan Tutupan Lahan Daerah Aliran Sungai Rawapening dengan Sentinel- 1a Tahun 2015-2016*. Surabaya.
- Rotinsulu, W., Walangitan, H. dan Ahmad, A. 2018. Analisis Perubahan Tutupan Lahan DAS Tondano, Sulawesi Utara Selama Periode Tahun 2002 dan 2015. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), hal. 161–169. Tersedia pada: <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.161-169>.
- Santoso, S. 2010. *Statistik Nonparametik*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Schmitt, A. 2016. Multiscale and Multidirectional Multilooking for SAR Image Enhancement. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(9), hal. 5117–5134. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2555624>.
- Septiana, B. Wijaya, A.P. dan Suprayogi, A. 2017. Analisis Perbandingan Hasil Orthorektifikasi Metode Range Doppler Terrain Correction dan Metode SAR Simulation Terrain Correction Menggunakan Data SAR Sentinel – 1. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), hal. 148–157. Tersedia pada: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/15363>.
- Umar, I. Marsoyo, A. dan Setiawan, B. 2018. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Sekitar Danau Limboto di Kabupaten Gorontalo. *Tata Kota dan Daerah*, 10(2), hal. 77–90. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21776/ub.takoda.2018.010.02.3>.
- Vinandari, N., Hafidz, K.A. dan Noor, M. 2019. Sistem Informasi Geografis Wisata Religi Berbasis Web Mobile. *Jurnal Sains dan Informatika*, 5(1), hal. 41–49. Tersedia pada: <https://doi.org/10.34128/jsi.v5i1.161>.
- Yulyta, S.A. 2018. *Aplikasi Metode SBAS-DInSAR Menggunakan Data untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah di Kota Surabaya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.