

**PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP POTENSI LONGSOR DI
KECAMATAN MAKALE, KABUPATEN TANA TORAJA**

(Skripsi)

Oleh

**FITRI FIANNISA BILQISTI
NPM 2115013026**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP POTENSI LONGSOR DI
KECAMATAN MAKALE, KABUPATEN TANA TORAJA**

Oleh

FITRI FIANNISA BILQISTI

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP POTENSI LONGSOR DI KECAMATAN MAKALE, KABUPATEN TANA TORAJA

Oleh

FITRI FIANNISA BILQISTI

Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja merupakan wilayah dengan tingkat bencana longsor yang cukup parah akibat kondisi geografis yang bergunung. Peningkatan alih fungsi lahan memperburuk stabilitas lereng dan berkontribusi terhadap meningkatnya potensi bencana longsor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor di Kecamatan Makale.

Penelitian ini menggunakan citra *landsat 8* dengan metode klasifikasi *supervised* algoritma *Classification and Regression Trees* (CART), dengan memanfaatkan *Google Earth Engine* untuk analisis tutupan lahan, validasi hasil klasifikasi tutupan lahan dilakukan menggunakan *Google Earth Pro*, dan dilakukan uji akurasi menggunakan matriks konfusi. Serta menggunakan metode *overlay* dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menganalisis potensi longsor menggunakan skoring dan pembobotan bersumber Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/2007, dan proses validasi potensi longsor menggunakan InaRISK.

Hasil analisis menunjukkan perubahan tutupan lahan pada tahun 2020 dan tahun 2024 terbesar terjadi pada lahan terbuka yang meningkat sebesar 40,2006 hektar, sedangkan penurunan terbesar terjadi pada hutan lahan kering sebesar 86,578 hektar. Potensi longsor didominasi oleh kategori sedang seluas 2.592,77 hektar, rendah 685,56 hektar, dan tinggi 695,23 hektar. Hasil analisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor menunjukkan total luas perubahan tutupan lahan tahun 2020 hingga 2024 mencapai 1.157,03 hektar yaitu, perubahan dengan potensi longsor sedang mencakup 663,63 hektar, diikuti oleh potensi longsor tinggi sebesar 339,80 hektar, dan potensi longsor rendah sebesar 153,59 hektar. Potensi longsor rendah didominasi oleh perubahan hutan lahan kering menjadi sawah dengan luas 84,21 hektar, potensi longsor sedang didominasi oleh perubahan sawah menjadi lahan terbuka dengan luas 75,77 hektar, adapun potensi longsor tinggi didominasi oleh perubahan hutan lahan kering menjadi lahan terbuka, dengan luas 59,33 hektar.

Kata Kunci: Tutupan Lahan, Potensi Longsor, *Google Earth Engine*, Sistem Informasi Geografis (SIG), Kecamatan Makale.

ABSTRACT

LAND COVER CHANGE ON LANDSLIDE POTENTIAL IN MAKALE SUB-DISTRICT, TANA TORAJA DISTRICT

By

FITRI FIANNISA BILQISTI

Makale Sub-district, Tana Toraja Regency is an area with severe landslides due to its mountainous geography. Increased land use change worsens slope stability and contributes to the increased potential for landslides. This research uses Landsat 8 images using supervised classification method of Classification and Regression Trees (CART) algorithm, utilizing Google Earth Engine for land cover analysis, validation of land cover classification results using Google Earth Pro, and accuracy test using confusion matrix. And using overlay method with Geographic Information System (GIS) to analyze landslide potential using scoring and weighting based on Minister of Public Works Regulation No. 22/2007, and validation process of landslide potential using InaRISK. The results of the analysis show that the largest land cover change in 2020 and 2024 occurred in open land which increased by 40.2006 hectares, while the largest decrease occurred in dryland forest by 86.578 hectares. Landslide potential is dominated by moderate category covering 2,592.77 hectares, low 685.56 hectares, and high 695.23 hectares. The results of the analysis of land cover change towards landslide potential show that the total area of land cover change from 2020 to 2024 reached 1,157.03 hectares, namely, changes with moderate landslide potential covered 663.63 hectares, followed by high landslide potential of 339.80 hectares, and low landslide potential of 153.59 hectares. Low landslide potential is dominated by the change of dryland forest to paddy fields with an area of 84.21 hectares, medium landslide potential is dominated by the change of paddy fields to open land with an area of 75.77 hectares, while high landslide potential is dominated by the change of dryland forest to open land, with an area of 59.33 hectares.

Key words: Land Cover, Landslide Potential, Google Earth Engine, Geographic Information System (GIS), Makale Sub-district.

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN
TERHADAP POTENSI LONGSOR DI
KECAMATAN MAKALE, KABUPATEN
TANA TORAJA

Nama Mahasiswa : Fitri Fiannisa Bilqisti

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115013026

Program Studi : SI Teknik Geodesi

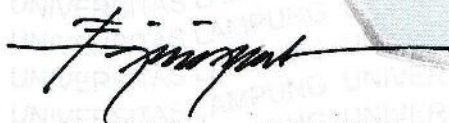
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



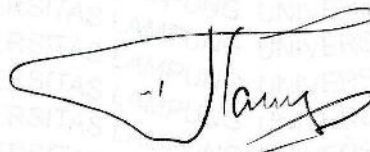
Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.
NIP 197203022006041002



Rahma Anisa, S.T., M.Eng.
NIP 199307162020122032

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



Ir. Fauzan Mardapa, M.T., IPM.
NIP 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Fajriyanto, S.T., M.T.



Sekretaris

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



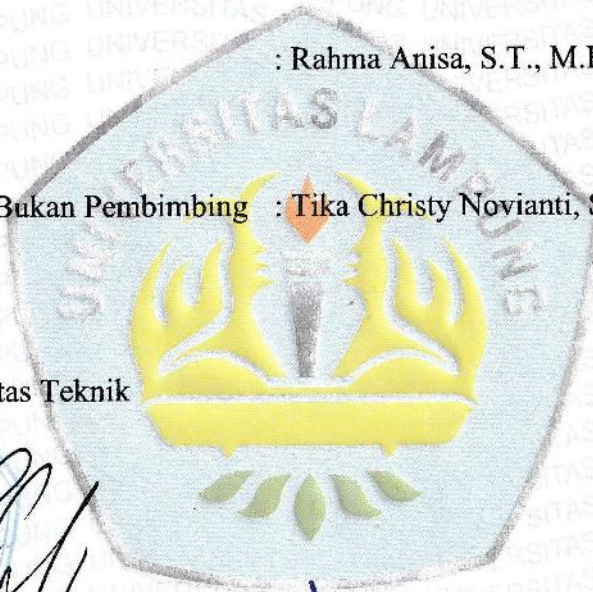
Penguji Utama Bukan Pembimbing : Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 16 Juli 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Penulis adalah FITRI FIANNISA BILQISTI dengan NPM 2115013026 dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam skripsi ini adalah hasil karya penulis berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah penulis dapatkan. Skripsi ini berisi material yang dibuat sendiri dengan hasil dari rujukan beberapa sumber lain seperti (buku dan jurnal) yang dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini penulis buat dan dapat dipertanggungjawabkan apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka penulis siap untuk mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 31 Juli 2025

Yang membuat pernyataan



Fitri Fiannisa Bilqisti

NPM 2115013026

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 14 Mei 2003 sebagai anak pertama dari Bapak Sunoto dan Ibu Susilawati. Penulis memiliki adik yang bernama Syifa Aura Salsabila. Penulis tumbuh di keluarga yang harmonis serta penuh dukungan yang menjadikan penulis tumbuh dengan nilai-nilai kedisiplinan, tanggung jawab, dan semangat untuk terus belajar.

Jenjang akademis penulis dimulai dengan menyelesaikan pendidikan di MI Al-Istiqomah pada tahun 2015. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 2 sekinceau dan lulus pada tahun 2018. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Belalau dengan jurusan Ilmu Pengetahuan Alam pada tahun 2021. Selama menempuh pendidikan dasar hingga menengah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademik maupun ekstrakurikuler yang mendukung pengembangan wawasan serta keterampilan sosial.

Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa program S1 Teknik Geodesi di Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis telah banyak berpartisipasi dalam berbagai kegiatan akademik maupun non-akademik. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi kemahasiswaan. Penulis juga berkesempatan melaksanakan kerja praktik di BAPPERIDA Kota Bandar Lampung dalam program pembuatan peta misi RPJMD Kota Bandar Lampung yang berlangsung dari bulan Agustus 2024 hingga bulan November 2024. Penulis juga mengerjakan skripsi dengan judul “PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP POTENSI LONGSOR DI KECAMATAN MAKALE KABUPATEN TANA TORAJA.”

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah: 286)

“Tidak ada mimpi yang terlalu tinggi. Tak ada mimpi yang patut diremehkan.
lambungkan setinggi yang di inginkan dan gapailah dengan selayaknya yang
harapkan”

(Maudy Ayunda)

“Terlambat bukan berarti gagal, cepat bukan berarti hebat. Terlambat bukan menjadi alasan untuk menyerah, setiap orang memiliki proses yang berbeda. Percaya proses itu yang paling penting, karena Allah telah mempersiapkan hal baik dibalik kata proses yang kamu anggap rumit”

(Edwar Satria)

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan yang Maha Esa, atas segala rahmat dan nikmat yang telah dilimpahkan sepanjang proses penyelesaian skripsi ini. Hanya dengan pertolongan, kemudahan, dan kelancaran dari-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas ini dengan baik. Dengan penuh kerendahan hati, penulis mengucapkan, "Alhamdulillah rabbil 'alamin."

Ucapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Sunoto dan Ibu Susilawati, yang telah memberikan kasih sayang tanpa batas, dukungan yang tak pernah surut, serta doa yang selalu menyertai setiap langkah penulis dalam menjalani kehidupan. Tanpa pengorbanan dan cinta mereka, penulis tidak akan berada di titik ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan cinta yang telah mereka berikan.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada sahabat-sahabat dan teman-teman seperjuangan yang telah menjadi sumber inspirasi dan motivasi. Bantuan, dukungan, serta masukan-masukan berharga dari kalian selama proses penyusunan skripsi ini sangat berarti dan tidak akan pernah terlupakan.

Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri. Untuk semua perjuangan dan kerja keras yang telah dilakukan. Terima kasih telah bertahan dan tidak menyerah, karena setiap langkah yang diambil adalah bagian dari perjalanan menuju impian yang lebih besar. Semoga semua usaha ini menjadi berkah dan bermanfaat bagi banyak orang. Aamiin.

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat-Nya berupa kesehatan, kesempatan serta pengetahuan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu. skripsi dengan judul ‘PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP POTENSI LONGSOR DI KECAMATAN MAKALE KABUPATEN TANA TORAJA.’ yang merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung. Penelitian yang penulis jalani dan proses penyusunan skripsi ini berhasil berjalan dengan baik berkat peran serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Sunoto dan Ibu Susilawati yang sangat saya banggakan karena tiada hentinya melangitkan doa untuk kebaikan anak-anaknya, selalu memberikan kasih sayang, cinta, dukungan, dan motivasi. Menjadi suatu kebanggaan memiliki orang tua yang selalu mendukung anaknya untuk menggapai cita-cita. Terima kasih selalu berjuang untuk kehidupan penulis. Sehat selalu dan hiduplah lebih lama lagi, Bapak dan Ibu harus selalu ada disetiap perjalanan dan pencapaian hidup saya;
2. Adik saya Syifa Aura Salsabila yang telah menjadi sumber semangat dan inspirasi tersendiri bagi penulis. Terima kasih untuk setiap dukungan yang membuat penulis lebih termotivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
4. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung;
5. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. selaku Dosen Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Program Studi S1 Teknik Geodesi, Universitas Lampung;
6. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah membantu

dan memberikan arahan dalam penyusunan skripsi;

7. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu untuk memberikan banyak arahan dalam penyusunan skripsi;
8. Ibu Tika Christy Novianti, S.T., M.Eng. yang berkenan menjadi dosen penguji dan memberikan kritik dan saran pada skripsi ini;
9. Seluruh Staff Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah membantu dan memberikan pengarahan dalam proses kepengurusan berkas perkuliahan;
10. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Fajar Mulya Fatwa Negara. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan karya tulis ini, baik tenaga, waktu, maupun materi penulis. Telah menjadi rumah pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, dan memberi semangat untuk pantang menyerah;
11. Kepada Nanggroe Al Kautsar yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi kepada penulis;
12. Kepada seluruh teman-teman Teknik Geodesi Universitas Lampung angkatan 2021 yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis;
13. Serta pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis dari awal pelaksanaan Kerja Praktik sampai akhir penulisan skripsi;
14. Terakhir, kepada diri saya, Fitri Fiannisa Bilqisti. Terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap memilih berusaha dan merayakan dirimu sendiri sampai dititik ini, walau sering kali merasa putus asa atas apa yang diusahakan dan belum berhasil, namun terima kasih tetap menjadi manusia yang selalu berusaha. Terima kasih karena memutuskan tidak menyerah sesulit apapun proses penyusunan skripsi ini dan telah menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin, ini merupakan pencapaian yang patut dirayakan untuk diri sendiri. Berbahagialah selalu dimanapun berada. Apapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.

Semoga skripsi ini dapat menjadi sumber referensi untuk meningkatkan pengetahuan bagi pembaca. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan atau kekurangan dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi. Demikian yang dapat penulis sampaikan, atas perhatian semua pihak dan kontribusinya penulis sampaikan terima kasih.

Bandar Lampung, 31 Juli 2025

Fitri Fiannisa Bilqisti

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vi
--------------------	----

DAFTAR GAMBAR.....	vii
--------------------	-----

I. PENDAHULUAN.....	1
---------------------	---

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Masalah	5

II. TINJAUAN PUSTAKA	7
----------------------------	---

2.1. Penelitian Terdahulu.....	7
2.2. Tutupan Lahan.....	10
2.3. Pemetaan Potensi Longsor	11
2.3.1. Parameter Bencana Tanah Longsor	11
2.4. <i>Google Earth Engine</i>	15
2.4.1. Klasifikasi Terbimbing (<i>Supervised</i>)	16
2.5. <i>Geographic Information System</i> (GIS).....	17
2.5.1. <i>Overlay</i>	18

III. METODOLOGI PENELITIAN	19
----------------------------------	----

3.1. Lokasi Penelitian	19
3.2. Diagram Alir.....	20
3.3. Persiapan	21
3.3.1. Studi Literatur	21
3.3.2. Pengumpulan Data Spasial.....	21
3.4. Pengolahan Data	22
3.4.1. Pengolahan Data Citra <i>Landsat</i>	23
3.4.2. Parameter Jenis Batuan	40
3.4.3. Parameter Jenis Tanah.....	41
3.4.4. Parameter Tutupan Lahan	42
3.4.5. Parameter Kemiringan Lereng	43
3.4.6. Parameter Curah Hujan	43

3.4.7.	Pengolahan Potensi longsor	45
3.4.8.	Pengolahan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor....	48
3.4.9.	Analisis Peta Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor .	48
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1.	Kondisi Tutupan Lahan Kecamatan Makale	49
4.1.1	Tutupan Lahan Tahun 2020	49
4.1.2	Tutupan Lahan Tahun 2024	51
4.1.3	Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2020 dan 2024	54
4.2.	Potensi Longsor di Kecamatan Makale	59
4.3.	Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor.....	61
V.	PENUTUP	66
5.1.	Kesimpulan.....	66
5.2.	Saran	67
	DAFTAR PUSTAKA	68
	LAMPIRAN A (TAHAP PENGOLAHAN DATA)	72
	LAMPIRAN B (PETA).....	133

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu	7
2. Klasifikasi Parameter Kemiringan Lereng.....	12
3. Klasifikasi Parameter Curah Hujan.....	13
4. Klasifikasi Parameter Jenis Tanah	13
5. Klasifikasi Parameter Tutupan Lahan	14
6. Klasifikasi Parameter Jenis Batuan.....	15
7. Matrik Konfusi	17
8. Perangkat Keras	21
9. Perangkat Lunak.....	22
10. Data Penelitian	22
11. Klasifikasi Tutupan Lahan	25
12. Validasi Tutupan Lahan Tahun 2020.....	29
13. Validasi Tutupan Lahan Tahun 2024.....	34
14. Luas Area Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2020	50
15. Hasil Uji Akurasi <i>Confution Matrix</i> Tahun 2020	51
16. Luas Area Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2024	52
17. Hasil Uji Akurasi <i>Confution Matrix</i> Tahun 2024	53
18. Hasil Analisis Tutupan Lahan Tahun 2020 dan Tutupan Lahan 2024.....	54
19. Klasifikasi Perubahan Tutupan Lahan	58
20. Luas Area Tingkat Potensi Longsor Kecamatan Makale.....	60
21. Tabel Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor	106
22. Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor	62
23. Luas Klasifikasi potensi Longsor Berdasarkan Tutupan Lahan Kecamatan Makale	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian	19
2. Diagram Alir Penelitian	20
3. Citra <i>Landsat</i> 8 yang telah Dikoreksi Awan Tahun 2020.....	24
4. Citra <i>Landsat</i> 8 yang telah Dikoreksi Awan Tahun 2024.....	24
5. Pengambilan <i>Sample Training Area</i> tahun 2020	26
6. Pengambilan <i>Sample Training Area</i> tahun 2024	26
7. Klasifikasi <i>Supervised</i> Tahun 2020.....	27
8. Klasifikasi <i>Supervised</i> Tahun 2024.....	27
9. Validasi Lapangan Tahun 2020	28
10. Validasi Lapangan (Sawah Tahun 2020)	29
11. Validasi Lapangan Tahun 2024	33
12. Validasi Lapangan (Sawah Tahun 2024)	33
13. Uji Akurasi Matrik Konfusi Tahun 2020.....	37
14. Uji Akurasi Matrik Konfusi Tahun 2024.....	38
15. Peta tutupan lahan Kecamatan Makale tahun, Kabupaten Tana Toraja tahun 2020	39
16. Peta tutupan lahan Kecamatan Makale tahun, Kabupaten Tana Toraja tahun 2024	39
17. Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan	40
18. Pengolahan Jenis Batuan.....	41
19. Hasil Pengolahan Jenis Batuan	42
20. Hasil Pengolahan Data Tutupan Lahan.....	42
21. Hasil Pengolahan Data Kemiringan Lereng.....	43
22. Data Curah Hujan BMKG Tahunan Sulawesi Selatan	44

23. Data Curah Hujan BMKG Tahunan Tana Toraja	44
24. Hasil Pengolahan Data Curah Hujan.....	45
25. Hasil Pengolahan Potensi Longsor.....	46
26. Validasi Peta Potensi Longsor	47
27. Hasil Peta Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor	48
28. Peta Tutupan Lahan Tahun 2020 Kecamatan Makale	49
29. Peta Tutupan Lahan Tahun 2024	52
30. Diagram Batang (Sawah)	55
31. Diagram Batang (Hutan Lahan Kering).....	55
32. Diagram Batang (Lahan Terbangun)	56
33. Diagram Batang (Lahan Terbuka)	56
34. Diagram Batang (Badan Air)	57
35. Peta Perubahan Tutupan Lahan Kecamatan Makale.....	57
36. Peta Rawan Longsor Kecamatan Makale	60
37. Peta Rawan Longsor Berdasarkan Tutupan Lahan Kecamatan Makale	62
38. Menampilkan Citra <i>Landsat</i> 8 Setelah Koreksi Awan 1.....	73
39. Menampilkan Citra <i>Landsat</i> 8 Setelah Koreksi Awan 2.....	73
40. Menampilkan Citra <i>Landsat</i> 8 Setelah Koreksi Awan 3.....	74
41. Pengambilan <i>Training Area Sample</i> 1	75
42. Pengambilan <i>Training Area Sample</i> 2	75
43. Pengambilan <i>Training Area Sample</i> 3	76
44. Melakukan Uji Akurasi 1	77
45. Melakukan Uji Akurasi 2	77
46. Melakukan Uji Akurasi 3	78
47. Mengunduh Citra <i>Landsat</i> 8 yang telah Diklasifikasi 1	78
48. Mengunduh Citra <i>Landsat</i> 8 yang telah Diklasifikasi 2	79
49. Mengunduh Citra <i>Landsat</i> 8 yang telah Diklasifikasi 3	79
50. Mengunduh Citra <i>Landsat</i> 8 yang telah Diklasifikasi 4	80
51. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 1	80
52. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 2	81

53. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 3	81
54. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 4	82
55. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 5	82
56. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 6	83
57. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 7	83
58. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 8	84
59. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 9	84
60. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 10	85
61. Mengolah Data Tutupan Lahan pada Pengolahan Data Spasial 11	85
62. Klasifikasi Perubahan Tutupan Lahan 1	86
63. Klasifikasi Perubahan Tutupan Lahan 2	87
64. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 1	88
65. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 2	88
66. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 3	89
67. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 4	89
68. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 5	90
69. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 6	90
70. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 7	91
71. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 8	91
72. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 9	92
73. Pengolahan Parameter Kemiringan Lereng 10	92
74. Pengolahan Parameter Curah Hujan 1	93
75. Pengolahan Parameter Curah Hujan 2	93
76. Pengolahan Parameter Curah Hujan 3	93
77. Pengolahan Parameter Curah Hujan 4	94
78. Pengolahan Parameter Curah Hujan 5	94
79. Pengolahan Parameter Curah Hujan 6	95
80. Pengolahan Parameter Curah Hujan 8	95
81. Pengolahan Parameter Curah Hujan 9	96
82. Pengolahan Parameter Curah Hujan 10	96

83. Pengolahan Parameter Jenis Tanah 1	97
84. Pengolahan Parameter Jenis Tanah 2	97
85. Pengolahan Parameter Jenis Batuan 1	98
86. Pengolahan Parameter Jenis Batuan 2	98
87. Pengolahan Potensi Longsor 1	99
88. Pengolahan Potensi Longsor 2	99
89. Pengolahan Potensi Longsor 3	100
90. Pengolahan Potensi Longsor 4	100
91. Pengolahan Potensi Longsor 5	101
92. Pengolahan Potensi Longsor 6	101
93. Kelas Rendah	102
94. Kelas Sedang	103
95. Kelas Tinggi	103
96. Pengolahan Potensi Longsor 7	104
97. Melakukan Klasifikasi Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Longsor 1	104
98. Melakukan Klasifikasi Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Longsor 2	105

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana longsor merupakan suatu peristiwa yang dapat mengancam dan membahayakan kehidupan manusia baik yang disebabkan oleh faktor alam maupun non alam seperti perilaku manusia yang dapat mengakibatkan timbulnya kerusakan lingkungan, bahkan dapat menimbulkan korban jiwa. Longsor terjadi akibat ketidakseimbangan gaya pada lereng, di mana sebagian massa tanah atau batuan bergerak turun akibat pengaruh gravitasi (Purwoko dkk., 2020). Terdapat dua faktor yang mempengaruhi tanah longsor yaitu faktor pengontrol dan faktor pemicu. Faktor pengontrol yaitu geologi, kemiringan lereng, litologi, sesar, dan kekar pada susunan bebatuan, sedangkan faktor pemicu seperti curah hujan, erosi, gempa bumi, serta aktivitas manusia (Naryanto dkk., 2021). Sepanjang tahun 2023 tercatat 1.524 kejadian tanah longsor di Indonesia, dengan korban meninggal dunia sebanyak 210 jiwa dan kerusakan infrastruktur mencapai lebih dari 2.500 rumah (BNPB, 2024). Salah satu aktivitas manusia yang berpengaruh adalah pembangunan fisik, yang memengaruhi kondisi tutupan lahan, di mana lahan yang awalnya tidak terbangun akan beralih menjadi lahan terbangun. Oleh karena itu, pemantauan perubahan tutupan lahan perlu dilakukan untuk mengidentifikasi dampaknya terhadap kerusakan lingkungan.

Perubahan tutupan lahan yang disebabkan oleh pembangunan merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam pemantauan lingkungan, dikarenakan proses perubahan dan memperkirakan pengaruhnya terhadap lingkungan dan habitat pada berbagai tahap memerlukan pemantauan konstan terhadap perubahan tutupan lahan (Febianti dkk., 2023). Berdasarkan laporan *Global Forest Watch* (2024), Indonesia

kehilangan sekitar 1,47 juta hektar tutupan pohon pada tahun 2023, yang sebagian besar berkontribusi pada meningkatnya risiko bencana tanah longsor. Perubahan tutupan lahan menjadi lahan terbangun memperburuk infiltrasi air ke dalam tanah, mempercepat erosi, dan meningkatkan risiko longsor (Setiawan dkk., 2021). Fenomena ini juga terjadi secara nyata di berbagai daerah, salah satunya di Kabupaten Tana Toraja, yang memiliki kondisi geografis rawan longsor. Kabupaten Tana Toraja, khususnya Kecamatan Makale termasuk wilayah dengan tingkat kerawanan longsor yang cukup tinggi. Berdasarkan peta risiko bencana nasional, Kabupaten Tana Toraja dikategorikan sebagai zona rawan longsor tingkat sedang hingga tinggi (PVMBG, 2024). Karakteristik morfologi wilayah yang berbukit hingga bergunung, dengan curah hujan tahunan yang mencapai 3.000–3.500 mm (BMKG Toraja, 2024).

Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja merupakan wilayah dengan tingkat bencana longsor yang cukup parah akibat kondisi geografis yang bergunung dan curah hujan tahunan yang tinggi. Peningkatan alih fungsi lahan memperburuk stabilitas lereng dan berkontribusi terhadap meningkatnya potensi bencana longsor. Pesatnya pembangunan tidak selalu dibarengi dengan perencanaan tata ruang yang memperhatikan daya dukung dan daya tampung lingkungan. Akibatnya, kejadian longsor di wilayah ini terus meningkat. Data BPS (2020) mencatat 6 kejadian longsor hanya dalam satu tahun di Kecamatan Makale, yang mengakibatkan 3 korban jiwa dan kerusakan fasilitas umum (Kementerian Sosial RI). Puncaknya, longsor berskala besar yang termasuk dalam kelas bahaya tinggi terjadi pada tahun 2024 di Kelurahan Manggau menyebabkan 20 korban meninggal dunia dan terputusnya akses jalan utama, sehingga menghambat proses evakuasi dan logistik (Kemenko PMK RI, 2024). Seiring dengan tingginya curah hujan dan kondisi morfologi yang rentan, perubahan tutupan lahan di Kecamatan Makale semakin memperparah tingkat kerawanan longsor. Urgensi lainnya terletak pada kerentanan sosial. Dampak bencana longsor di Kecamatan Makale tidak hanya menyebabkan kerugian fisik, tetapi juga memperburuk kondisi sosial dan ekonomi masyarakat. Terhambatnya akses jalan dan terputusnya layanan publik berdampak pada aktivitas ekonomi lokal, distribusi pangan, dan layanan

kesehatan. Terlebih lagi bencana ini memperlemah ketahanan masyarakat terhadap risiko lingkungan, terutama bagi kelompok rentan seperti anak-anak, lansia, dan petani yang menggantungkan hidup dari lahan yang terus terancam.

Perubahan tutupan lahan merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya longsor, karena perubahan tersebut berdampak pada penurunan kualitas tanah dan kestabilan lereng. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih dalam terhadap perubahan tutupan lahan untuk mengurangi dampak potensi longsor. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Afdahul Roihan dan Ilhan B. Pada tahun 2023 (Roihan dan Badaruddin, 2023) telah menganalisis tingkat kerawanan longsor di Kabupaten Tana Toraja menggunakan metode *Critical Mapping Analysis* (CMA). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa 83,4% wilayah tergolong aman, 9,51% tidak rawan, 2,18% rawan, dan 4,77% sangat rawan terhadap longsor. Salah satu wilayah yang termasuk dalam kategori sangat rawan adalah Kecamatan Makale, yang memiliki peran penting sebagai pusat pemerintahan, ekonomi, dan budaya Kabupaten Tana Toraja. Mengingat pentingnya peran strategis Kecamatan Makale dan tingginya tingkat kerawanan longsor di wilayah ini, maka diperlukan kajian lebih lanjut yang mengkaji keterkaitan antara perubahan tutupan lahan dengan potensi terjadinya longsor di Kecamatan Makale.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor di Kecamatan Makale menggunakan sistem informasi geografis (SIG) metode *overlay* menggunakan skoring dan pembobotan bersumber Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007, dengan memanfaatkan data tutupan lahan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan yang diperoleh melalui *Google Earth Engine* menggunakan metode *supervised*. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan hasil analisis yang lebih akurat dan komprehensif. Selain itu, hasil analisis ini dapat mendukung perencanaan tata ruang yang lebih aman dan adaptif terhadap perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor, Penelitian ini juga memberikan kontribusi bagi pengembangan metode pemetaan perubahan tutupan lahan terhadap

potensi longsor serta dapat menjadi referensi untuk penelitian serupa di masa mendatang.

1.2. Rumusan Masalah

Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja merupakan wilayah dengan tingkat bencana longsor yang cukup parah akibat kondisi geografis yang bergunung dan curah hujan tahunan yang tinggi. Peningkatan alih fungsi lahan turut memperburuk stabilitas lereng dan berkontribusi terhadap meningkatnya potensi bencana longsor. Pada tahun 2020 tercatat 6 kejadian longsor yang menewaskan 3 korban jiwa dan merusak fasilitas umum. Puncaknya, longsor besar terjadi pada 2024 di Kelurahan Manggau dan Desa Lembang Randan Batu, menewaskan 20 korban jiwa. Rumusan masalah tersebut menimbulkan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi tutupan lahan Kecamatan Makale tahun 2020 dan 2024?
2. Bagaimana tingkat potensi longsor di Kecamatan Makale?
3. Bagaimana perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor di Kecamatan Makale?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kondisi tutupan lahan Kecamatan Makale tahun 2020 dan 2024.
2. Mengetahui tingkat ancaman bencana longsor di Kecamatan Makale.
3. Menganalisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor Kecamatan Makale.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

Penelitian ini menjadi ruang belajar dalam meningkatkan kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman peneliti yang berkaitan dengan Penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis.

2. Bagi Masyarakat

Hasil penelitian ini diharapkan sebagai sumber informasi dalam mengetahui perubahan tutupan lahan terhadap bencana longsor dan meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana serta memberikan rekomendasi pengelolaan risiko bencana melalui perencanaan tata ruang rehabilitasi.

3. Bagi Pemerintah

Hasil penelitian ini diharapkan akan menjadi bahan analisis pemerintah yang dapat digunakan dalam perencanaan tata ruang serta kebijakan mitigasi bencana longsor di Kabupaten Tana Toraja.

1.5. Batasan Masalah

Adapun penelitian ini memiliki batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada analisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja;
2. Data spasial yang digunakan untuk pemetaan potensi longsor meliputi jenis tanah, jenis batuan, kemiringan lereng, tutupan lahan, dan curah hujan, serta citra *landsat* 8 tahun 2020 dan 2024 untuk klasifikasi tutupan lahan;
3. Penelitian ini menggunakan metode *overlay* untuk menganalisis pemetaan potensi longsor menggunakan skoring dan pembobotan bersumber Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007, serta klasifikasi *supervised* untuk

menganalisis perubahan tutupan lahan, dengan memanfaatkan data tutupan lahan tahun 2020 dan 2024 melalui *platform Google Earth Engine* (GEE);

4. Pengolahan data menggunakan pengolahan data spasial;
5. Analisis yang dihasilkan akan memberikan informasi mengenai perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor di Kecamatan Makale;

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan penelitian terdahulu yang serupa. Penelitian tersebut membantu penulis dalam memahami topik serta memberikan masukan untuk pengkajian penelitian ini. Penjelasan terkait penelitian terdahulu, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Hanifudin dkk., 2024	Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Ancaman Bencana Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Kebumen).	Metode yang digunakan ialah AHP untuk pemetaan bencana longsor dan <i>Frequency ratio</i> (FR) untuk mengetahui analisis perubahan tutupan lahan.	Analisis pada longsor menunjukkan pada 2016, luas ancaman kelas rendah adalah 97.151,55 hektar (73,17%) dan kelas sedang 31.640,86 hektar (23,83%). Pada 2022, kelas rendah menjadi 96.293,63 hektar (72,53%) dan kelas sedang 32.465,61 hektar (24,45%).
2	Rahmadi dkk., 2023	Perubahan Vegetasi terhadap Daerah Rawan Longsor di Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat.	Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan metode <i>unsupervised classification</i> .	Terjadi peningkatan luas lahan terbangun dan penurunan vegetasi rendah baik di daerah yang tidak rawan longsor maupun di daerah dengan Indeks Rawan Longsor rendah dan titik longsor yang terjadi pada bulan November 2022.

Tabel 1. (lanjutan)

No	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
3.	Roihan, dkk	Analisis Kerawanan Longsor Menggunakan metode CMA di Kabupaten Tana Toraja.	Metode <i>Composite Mapping Analysis</i> (CMA) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG).	Wilayah dengan tingkat kerawanan longsor dapat dikategorikan menjadi 4 kelas, yaitu aman, tidak rawan, rawan, dan sangat rawan. Berdasarkan data yang tersedia., wilayah dengan kategori aman memiliki luas paling besar, yaitu 1661 ha atau sekitar 83,54% dari total area dan terawan memiliki luas wilayah 94.77 ha atau sekitar 4.76% dari wilayah penelitian.
4	Firdaus, 2021	Pengaruh Perubahan Curah Hujan dan Perubahan Tutupan Lahan terhadap Bencana Longsor berdasarkan Analisis Spasial.	Teknik analisis yang digunakan mencakup <i>supervised classification</i> dan analisis tingkat bencana longsor berdasarkan kondisi eksisting bencana longsor dari tahun 2018 hingga 2020.	Kabupaten Bandung Barat (2018-2020) menunjukkan bahwa pada tahun 2018, area rendah mencapai 31.309,90 ha (24,47%) dan sedang 96.660,06 ha (75,53%) dengan 150 kejadian. Pada tahun 2019, luas wilayah rendah meningkat 31.752,25 ha (24,84%) dengan 152 kejadian. Pada tahun 2020, luas wilayah rendah menurun menjadi 15.280,42 ha (11,94%), sedang 108.381,46 ha (84,69%), dan tinggi 4.308,11 ha (3,37%) dengan 144 kejadian.
5	Rabby, 2022	<i>Impact of Land Use/Land Cover Change on Landslide Susceptibility in Rangamati Municipality of Rangamati District, Bangladesh.</i>	Penelitian ini menggunakan automata seluler berbasis jaringan saraf tiruan (ANN-CA) untuk mensimulasikan perubahan LULC dan memprediksi peta LULC tahun 2028, serta model Hut Acak (<i>Random Forest</i>).	Perubahan LULC di Kotamadya meningkatkan kerentanan longsor. Model Hutan Acak menunjukkan elevasi sebagai faktor utama, dan perencanaan LULC dapat mengurangi peningkatan zona kerentanan tinggi. Zona kerentanan tinggi baru diprediksi menyebar di sekitar yang ada.

Tabel 1. (Lanjutan)

No	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
6	Liu dkk., 2021	<i>Analysis of Changes in Landslide Susceptibility according to Land Use over 38 Years in Lixian County, China</i>	Metode yang digunakan adalah <i>Random Forest</i> untuk menilai kerentanan longsor, dan <i>Algoritma Frequency Ratio</i> digunakan untuk menganalisis dampak subkategori faktor kondisi terhadap longsor. Data penggunaan lahan diperoleh dari foto udara dan survei lapangan, sementara faktor topografi dihitung menggunakan model elevasi <i>digital</i> (DEM) resolusi 12,5 m.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan pertanian, padang rumput dengan tutupan rendah, area air, dan lahan konstruksi memiliki kerentanan tinggi terhadap longsor, sedangkan hutan, padang rumput dengan tutupan sedang dan tinggi, serta lahan tandus menunjukkan kerentanan lebih rendah. Dari tahun 1980 hingga 2018, area dengan kerentanan tinggi menurun 2,61% akibat perubahan penggunaan lahan, sementara area dengan kerentanan rendah meningkat 1,42% karena peningkatan tutupan hutan dan padang rumput.
7.	Penulis	Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor Kecamatan Makale Kabupaten Tana Toraja.	Metode yang digunakan untuk pemetaan longsor menggunakan <i>overlay</i> , dan Perubahan tutupan lahan menggunakan GEE dengan metode klasifikasi <i>supervised</i> .	Hasil menunjukkan perubahan tutupan lahan pada tahun 2020 dan 2024 terbesar terjadi pada lahan terbuka meningkat 40,2006 hektar, sedangkan penurunan terbesar terjadi pada hutan lahan kering sebesar 86,578 hektar. Potensi longsor sedang seluas 2.592, 77 hektar, rendah 685,56 hektar, dan tinggi 695,23 hektar. Perubahan tutupan lahan dengan potensi longsor sedang 663,63 hektar, potensi longsor tinggi sebesar 339,80 hektar, dan potensi longsor rendah sebesar 153,59 hektar.

Penelitian mengenai analisis potensi longsor di Kecamatan Makale menunjukkan perbedaan signifikan antara penelitian terdahulu dan penelitian saat ini. Penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Afdahul Roihan dan Ilhan B. pada tahun 2023 dengan judul “Analisis Kerawanan Longsor di Kabupaten Tana Toraja menggunakan metode *Critical Mapping Analysis* (CMA),” hanya berfokus pada identifikasi kerawanan longsor tanpa mempertimbangkan faktor perubahan tutupan lahan. Sebaliknya, penelitian ini menganalisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor secara lebih spesifik di wilayah Kecamatan Makale. Dengan memanfaatkan *platform Google Earth Engine* (GEE) dan metode klasifikasi *supervised* untuk mendapatkan data tutupan lahan tahun 2020 dan 2024, serta metode *overlay* dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan skoring dan pembobotan bersumber Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan dasar dalam upaya mitigasi bencana dan pengendalian alih fungsi lahan yang tidak terkendali.

2.2. Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan memiliki dampak yang signifikan terhadap stabilitas tanah dan risiko bencana longsor. Deforestasi merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko ini, di mana penebangan hutan untuk keperluan pertanian atau pembangunan infrastruktur mengurangi jumlah akar yang berfungsi untuk menstabilkan tanah. Ketika hutan atau vegetasi alami diubah menjadi lahan terbuka atau permukiman, kemampuan tanah untuk menyerap air berkurang, yang dapat memicu erosi dan memperburuk ketidakstabilan lereng. Perubahan tutupan lahan menjadi lahan kosong memiliki pengaruh besar terhadap ancaman bencana longsor (Irsan dan Izdihaar, 2024).

Pembangunan infrastruktur di daerah rawan longsor tanpa perencanaan yang matang dapat meningkatkan risiko bencana, terutama jika disertai dengan perubahan tutupan lahan. area dengan tutupan vegetasi lebat sebelumnya lebih rentan terhadap longsor

setelah mengalami perubahan menjadi lahan terbuka atau terbangun (Widodo, 2020). Selain itu, ekspansi pertanian sering kali menyebabkan pengurangan tutupan vegetasi akibat deforestasi dan pengolahan tanah yang intensif. Proses ini berkontribusi pada peningkatan kerentanan tanah terhadap longsor (Wariunsora dkk., 2024).

Tutupan lahan, yang didefinisikan sebagai penampakan fisik permukaan bumi, mencerminkan hubungan antara proses sosial dan alam yang dapat memengaruhi stabilitas tanah. Pergantian tutupan lahan dari hutan atau vegetasi alami menjadi area lain, seperti permukiman atau infrastruktur, mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap air, memicu erosi, dan memperparah ketidakstabilan lereng (Abdulhameed dkk., 2024). Perubahan tutupan lahan dapat meningkatkan kerentanan tanah terhadap longsor, khususnya di wilayah yang sebelumnya memiliki vegetasi lebat, selain itu, deforestasi untuk tujuan pengembangan juga meningkatkan risiko longsor di daerah rawan (Smith dan Jones, 2022).

2.3. Pemetaan Potensi Longsor

Pengklasifikasian kelas tingkat potensi bencana tanah longsor berdasarkan Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Berikut merupakan perhitungan interval kelas:

$$\text{Kelas} = \frac{\text{Skor Max} - \text{Skor Min}}{\text{Kelas}} \dots\dots\dots(1)$$

2.3.1. Parameter Bencana Tanah Longsor

Berikut merupakan parameter yang di gunakan dalam pemetaan tanah longsor, meliputi kemiringan lereng, curah hujan, jenis batuan, dan penggunaan lahan.

2.3.1.1. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng menjadi salah satu faktor pemicu longsor. Kemiringan lereng dalam hal ini menggambarkan stabilitas permukaan lahan terhadap gaya gravitasi. Semakin curam lereng, semakin besar pula risiko longsor yang terjadi. Lereng diukur kemiringannya menggunakan alat seperti *Abney Level*, dan biasanya dinyatakan dalam persen (%) yang berkaitan dengan sudut kemiringan. Lereng yang terjal meningkatkan gaya pendorong yang dapat memicu pergerakan tanah, terutama di daerah perbukitan atau pegunungan yang cenderung rawan longsor. Kelerengan di atas 25-40% atau lebih dari 40% berpotensi untuk mengalami longsor, meskipun tidak semua lereng miring memiliki risiko yang sama (Haribulan dkk., 2019). Berikut merupakan klasifikasi pembobotan parameter kemiringan lereng disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Parameter Kemiringan Lereng

No.	Kemiringan Lereng (%)	Kategori	Skor	Bobot
1.	>45%	Sangat Curam	5	30%
2.	25-45%	Curam	4	
3.	15-25%	Agak Curam	3	
4.	8-15%	Landai	2	
5.	<8%	Datar	1	

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007).

2.3.1.2. Curah Hujan

Curah hujan akan meningkatkan presepitasi dan kejenuhan tanah serta naiknya muka air tanah. Jika hal ini terjadi pada lereng dengan material penyusun (tanah dan atau batuan) yang lemah maka akan menyebabkan berkurangnya kuat geser tanah/batuan dan menambah berat massa tanah. Hujan juga dapat menyebabkan terjadinya aliran permukaan yang dapat menyebabkan terjadinya erosi pada kaki lereng dan berpotensi menambah besaran sudut kelerengan yang akan berpotensi menyebabkan longsor

(Haribulan dkk., 2019). Berikut merupakan klasifikasi pembobotan parameter curah hujan disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Parameter Curah Hujan

No.	Curah Hujan (mm/Tahun)	Kategori	Skor	Bobot
1.	151-300 mm	Tinggi	3	15%
2.	51-150 mm	Sedang	2	
3.	0-50 mm	Rendah	1	

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007).

2.3.1.3. Jenis Tanah

Parameter jenis tanah atau erodibilitas, yang menggambarkan tingkat kepekaan batuan terhadap erosi, dikelompokkan menjadi empat kategori: tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah. Erodibilitas tanah sendiri terdiri dari beberapa klasifikasi; erodibilitas tinggi mencakup jenis tanah podsolik dan andosol, sementara erodibilitas sedang meliputi grumosol, mediteran, dan *brown forest*. Untuk erodibilitas rendah, jenis tanah yang termasuk adalah latosol, sedangkan erodibilitas sangat rendah terdapat pada jenis tanah aluvial. Klasifikasi ini penting untuk memahami bagaimana berbagai jenis tanah berperilaku terhadap proses erosi dan untuk merencanakan pengelolaan lahan yang lebih baik. Berikut merupakan klasifikasi pembobotan parameter Jenis Tanah disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Parameter Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Kategori	Skor	Bobot
1.	Regosol	Peka	3	15%
	Latosol Coklat, Latasol Coklat		2	
2.	Kemerahan, Meditarian Coklat Tua, Grumosol (LC)	Agak Peka		
3.	Aluvial, Asosiasi Aluvial Kelabu (AF)	Cukup Peka	1	

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007).

2.3.1.4. Tutupan Lahan

Tutupan lahan merujuk pada kondisi fisik dan biologis suatu permukaan lahan yang dapat berupa hutan, sawah, permukiman, perairan, atau lahan terbuka. Dalam konteks analisis lingkungan dan kebencanaan, tutupan lahan menjadi indikator penting untuk memahami perubahan bentang alam akibat aktivitas alamiah maupun manusia. Perubahan tutupan lahan, seperti konversi hutan menjadi lahan terbuka atau permukiman, sering kali dipicu oleh pertumbuhan penduduk, urbanisasi, serta perkembangan ekonomi. Perubahan ini berdampak langsung terhadap kestabilan lingkungan, seperti meningkatnya risiko bencana longsor akibat hilangnya vegetasi pelindung. Oleh karena itu, identifikasi dan klasifikasi tutupan lahan sangat penting dalam perencanaan tata ruang yang berkelanjutan. Berikut merupakan tabel klasifikasi pembobotan parameter tutupan lahan disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Parameter Tutupan Lahan

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Skor	Bobot
1.	Lahan kosong	5	
2.	Permukiman/ kawasan industri	4	
3.	Perkebunan/sawah	3	20%
4.	Semak belukar/kebun campuran	2	
5.	Hutan/vegetasi lebat	1	

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007).

2.3.1.5. Jenis Batuan

Score setiap jenis batuan ditentukan dari tingkat kepekaan terhadap longsor, skor yang diberikan akan semakin tinggi seiring dengan semakin peka jenis batuan terhadap longsor. Berikut tabel kriteria/kelas jenis batuan disajikan pada tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Parameter Jenis Batuan

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Skor	Klasifikasi	Bobot
1.	Batu Gamping, Batu Karang, Batupasir	3	Keras	20%
2.	Batu Karang, Aluvium, dan Endapan Laut Muda	2	Sedang	
3.	Andesit, Basalt, Diroit, Batuan Tefra	1	Lunak	

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007).

2.4. *Google Earth Engine*

Google Earth Engine (GEE) adalah *platform* komputasi berbasis *cloud* yang sangat bermanfaat dalam pembuatan peta tutupan lahan berbasis citra satelit, termasuk *Landsat*. Banyak penelitian telah dilakukan terkait pemanfaatan GEE dalam pengolahan citra satelit menggunakan metode klasifikasi *supervised* dan *unsupervised* untuk memantau perubahan tutupan lahan. Studi dilakukan dengan menganalisis perubahan tutupan lahan di Afrika dengan mengkategorikan lahan menjadi beberapa kelas, yaitu lahan terbuka, perairan, kawasan terbangun, dan vegetasi (Simonetti dkk., 2015). Studi serupa dilakukan dengan memanfaatkan citra *Landsat* untuk memantau tutupan lahan dalam berbagai skala, mulai dari area kecil hingga tingkat global, dengan periode penelitian selama 12 tahun (Ying dkk., 2017). Penggunaan citra satelit *Landsat* dalam pemetaan tutupan lahan telah banyak diterapkan, karena keunggulan resolusi spasial, spektral, dan temporal yang dimilikinya. Citra *Landsat* memiliki kemampuan untuk merekam perubahan lingkungan dari waktu ke waktu, sehingga memungkinkan analisis jangka panjang dalam berbagai aplikasi pemetaan. Keunggulan ini memberikan kemudahan bagi peneliti dalam melakukan berbagai analisis, dibandingkan dengan citra satelit lain yang sering memerlukan informasi tambahan untuk pengolahan data (Wang dkk., 2020).

2.4.1. Klasifikasi Terbimbing (*Supervised*)

Penelitian ini menerapkan metode klasifikasi *supervised* atau terbimbing menggunakan algoritma *Classification and Regression Trees* (CART). CART merupakan salah satu algoritma *machine learning* yang banyak digunakan dalam pengolahan data citra karena kemampuannya membangun struktur pohon keputusan berdasarkan pembagian data secara rekursif. Algoritma ini memilih atribut terbaik untuk memisahkan data ke dalam kelas tertentu, berdasarkan ukuran sehingga menghasilkan model klasifikasi yang efektif dan mudah diinterpretasikan, algoritma CART adalah salah satu algoritma *Machine Learning* (MLA) yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan (Kotsiantis, 2020). Klasifikasi *supervised* melibatkan analisis interaktif yang intensif, di mana dilakukan identifikasi objek pada citra (*Training Area Sample*). Pengambilan *sample* harus mempertimbangkan pola spektral pada setiap panjang gelombang tertentu, sehingga dapat diperoleh daerah acuan yang representatif untuk suatu objek tertentu (Danoedoro, 1996). Untuk pengambilan *sample* sebanyak 70% dari *sampel* yang telah dibuat digunakan untuk klasifikasi *supervised*, sementara 30% sisanya dilakukan untuk validasi dan penilaian akurasi algoritma yang digunakan. Proses klasifikasi *supervised* dimulai dengan membuat area pelatihan berdasarkan kelas tutupan lahan, kemudian dilanjutkan dengan proses klasifikasi menggunakan algoritma CART.

2.4.1.1. Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk melihat tingkat ketelitian yang dihasilkan dari klasifikasi tutupan lahan menggunakan GEE. Hasil klasifikasi citra dapat dilihat tingkat uji akurasinya dengan menggunakan matrik konfusi atau *error* matrik (matrik kesalahan). Matrik kesalahan dihitung dengan membandingkan antar baris kategori, hubungan antara data referensi yang diketahui (*ground truth*) dan hasil klasifikasi otomatis (Tamiminia et al., 2020). Dengan demikian matrik terbentuk *square* dengan angka pada baris dan kolom sama dengan angka pada kategori tingkat akurasi klasifikasi yang akan

di nilai. Klasifikasi citra dianggap benar jika hasil perhitungan matrik lebih besar dari 85% (Badan Informasi Geospasial. 2014). Berikut merupakan matrik konfusi dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Matrik Konfusi

Data Terklasifikasi	Data			Total Baris	Ketelitian Pembuat
	a	b	c		
A	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₊	X ₁₁ /X ₁
B	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₊	X ₂₂ /X ₂
C	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₊	X ₃₃ /X ₃
Total Piksel	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	N	
Ketelitian Pengguna	X ₁₁ /X ₁₁	X ₂₂ /X ₁₂	X ₃₃ /X ₁₃	N	

Sumber: (Badan Informasi Geospasial., 2014)

Keterangan:

A,B,C = Atribut objek pada peta

a,b,c = Atribut objek dilapangan

Berikut di bawah ini merupakan rumus dalam menghitung ketelitian atribut (*overall accuracy*) dan *kappa accuracy*.

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\text{Jumlah Sample Benar}}{\text{Total Pengambilan Sample}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Kappa} = \frac{(\text{Total Sample Benar} \times \text{Total Sample}) - (\text{Perkalian Silang})}{(\text{Total Sample})^2 - \text{Perkalian Silang}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

2.5. Geographic Information System (GIS)

Geografi selalu mengkaitkan pendekatan kelingkungan dan kewilayahan dengan konteks keruangan. Konteks keruangan dalam fenomena geosfer banyak dibahas melalui bantuan *Geographic Information System* (GIS). GIS mampu menyediakan

informasi data geospasial secara cepat dengan sistem analisis keruangan yang akurat. SIG memberikan informasi di permukaan bumi yang bersifat spasial atau memiliki referensi spasial (Annis and Nardi, 2019). GIS merupakan sistem yang dibuat untuk mengintegrasikan data spasial *vektor*, *raster*, dan atribut. Kemampuan utama dalam konteks keruangan adalah analisis spasial dalam sajian peta digital. Spatial analisis diwujudkan dalam bentuk pemetaan dengan GIS *software* (Boyda dkk., 2019). GIS mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkan, menganalisa, dan memetakan hasilnya.

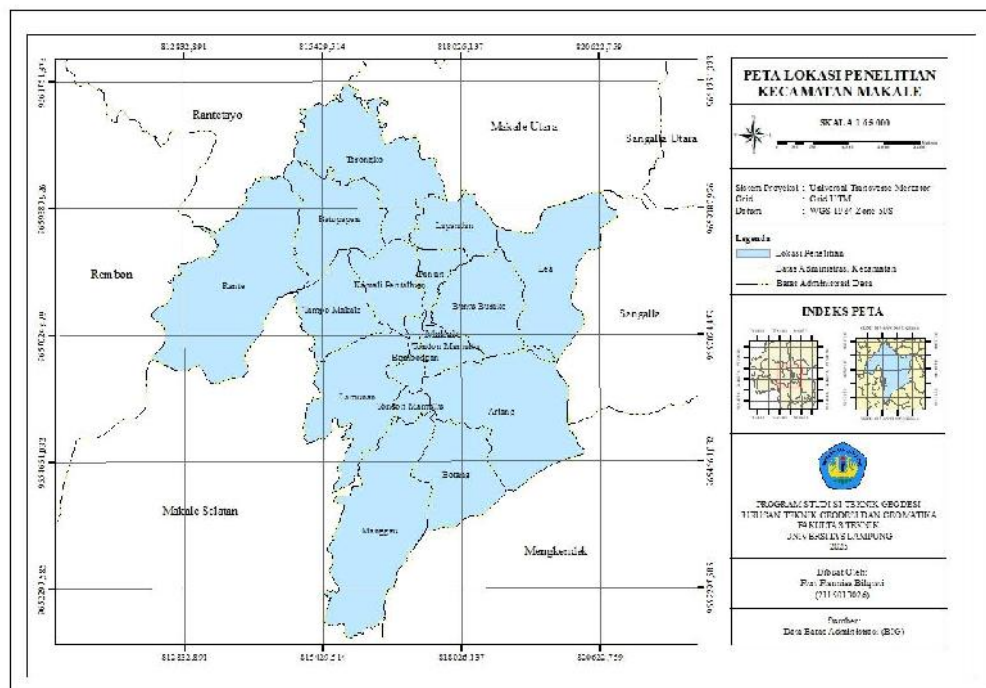
2.5.1. *Overlay*

Metode *Overlay* secara umum adalah metode analisis spasial dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) yang digunakan untuk memadukan berbagai *layer* data berdasarkan bobot atau tingkat kepentingan tertentu, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis spasial. Metode ini diawali dengan standarisasi data, di mana semua *input* diubah ke skala yang sama untuk memudahkan perbandingan, kemudian setiap *layer* diberi bobot sesuai tingkat pengaruhnya terhadap tujuan analisis. Data dari berbagai *layer* tersebut digabungkan menggunakan perhitungan matematis yang mempertimbangkan bobot masing-masing, menghasilkan peta dengan nilai akhir yang mencerminkan kombinasi seluruh parameter (Boyda dkk., 2019). Dalam konteks analisis longsor terlebih dahulu dilakukan proses *scoring* sesuai parameter yang sudah ada yaitu peta kemiringan lereng, peta curah hujan, peta penggunaan lahan, peta jenis batuan, dan peta jenis tanah dan kemudian di *overlay* untuk menghasilkan peta potensi longsor. Setelah itu dilakukan pembobotan. Penilaian dari pembobotan parameter pengaruh tanah longsor dilakukan dengan memperhitungkan jumlah nilai maksimal pembobotan dikurangi dengan jumlah nilai minimal pembobotan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

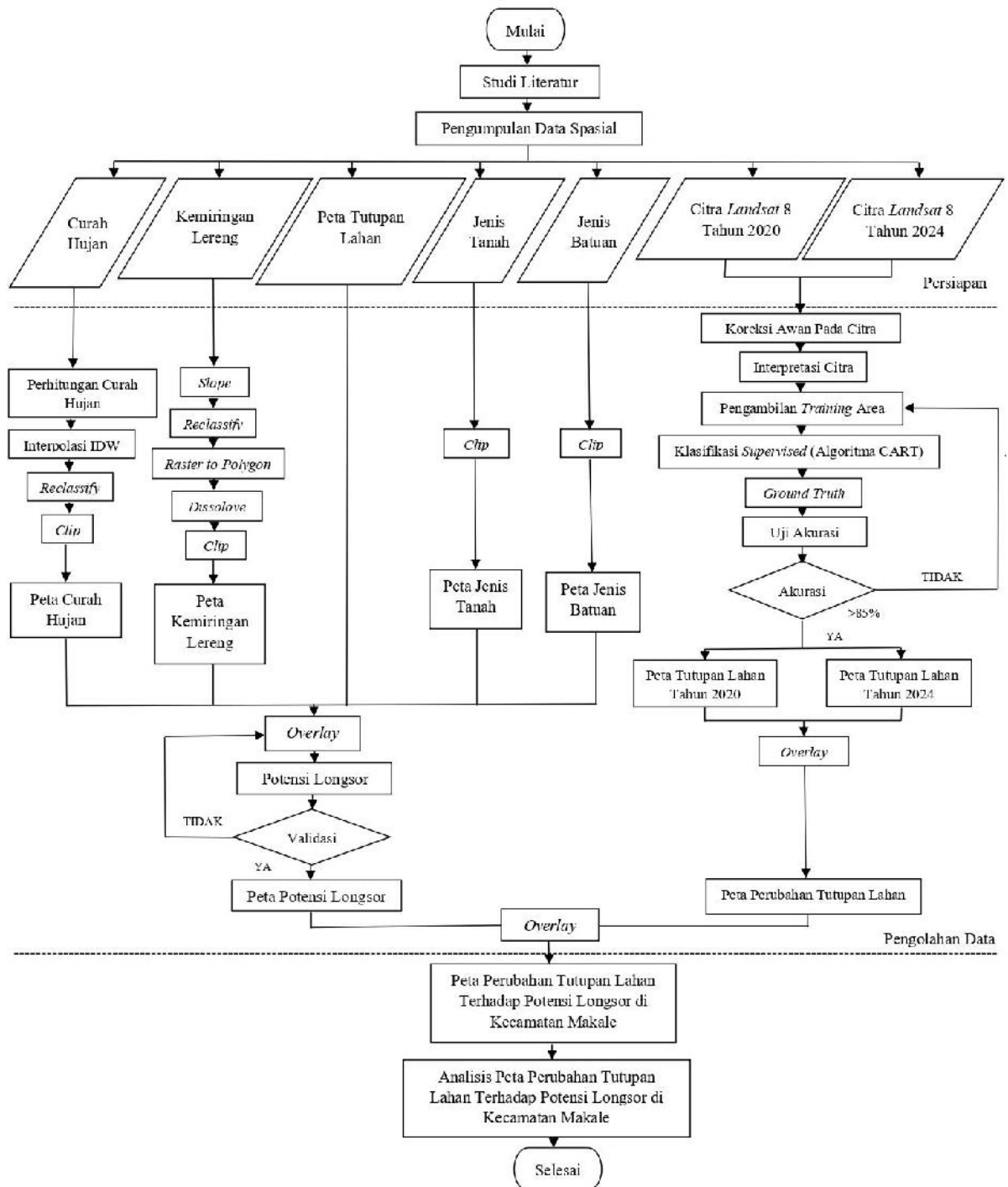
Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan. Kecamatan Makale memiliki luas wilayah sekitar 4.071 Ha. Secara geografis, Kecamatan Makale terletak pada koordinat antara 3°4' hingga 3°8' Lintang Selatan dan 119°50' hingga 119°54' Bujur Timur serta berada pada zona UTM 50S. Secara administratif, Kecamatan Makale berbatasan langsung dengan beberapa wilayah, yaitu sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Makale Utara, sebelah timur dengan Kecamatan Sangalla dan Makale Selatan, sebelah selatan dengan Kecamatan Mengkendek, serta sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Rembon. Adapun peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Diagram Alir

Berikut diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.3. Persiapan

Persiapan penelitian yang dilaksanakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur adalah tahapan awal yang dilakukan untuk mendapatkan konsep atau teori pendukung mengenai permasalahan yang akan diteliti. Pada tahap ini penulis membaca dan mengumpulkan sumber informasi melalui buku, jurnal ilmiah, situs *web* dan sumber-sumber lainnya. Informasi yang dikumpulkan pada tahap ini bertujuan untuk memahami topik penelitian yang diambil. Tahapan ini perlu dilakukan untuk merumuskan hipotesis awal sehingga penelitian dapat dilakukan dengan lebih terarah.

3.3.2. Pengumpulan Data Spasial

Pengumpulan data adalah tahapan peneliti mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian, baik data primer maupun data sekunder. Data yang diperlukan dikumpulkan dari berbagai sumber lainnya. Adapun peralatan dan data penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan dibagi menjadi dua jenis yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Adapun peralatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Perangkat Keras

No	Perangkat Keras
1	Laptop Asus <i>VivoBook 14</i> Spesifikasi: CPU <i>inter core i7</i> , Memomry 4 GB, HDD 1TB
2	<i>Mouse</i>
3	<i>Printer</i>

Tabel 9. Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Kegunaan
1	<i>Microsoft Word</i>	Membuat dan menyusun Skripsi
2.	<i>Software</i> Pengolahan Data Spasial	Mengolah data

2. Data Penelitian

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Data Penelitian

No	Data	Jenis Data	Sumber	Tautan/Link
1	Citra <i>Landsat</i> 8 Tahun 2020 dan Tahun 2024	Raster	<i>Google Earth Engine</i> (GEE)	https://code.earthengine.google.com/
2	Rupa Bumi Indonesia (Batas Administrasi)	Vektor	Indonesia Geospasial Portal	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/
3	Jenis Tanah	Vektor	FAO UNESCO	https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/metadata/446ed430-8383-11db-b9b2-000d939bc5d8
4	Curah Hujan	Tabular (.csv)	BMKG	https://dataonline.bmkg.go.id/dataonline-home
5	Kemiringan Lereng	Raster	DEMNAS	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/
6	Jenis Batuan	Vektor	Kementerian ESDM	https://geologi.esdm.go.id/geomap

3.4. Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan langkah dalam penelitian ini, yang bertujuan untuk memastikan bahwa informasi yang diperoleh dapat dianalisis secara efektif dan menghasilkan keputusan yang tepat. Adapun tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut.

3.4.1. Pengolahan Data Citra *Landsat*

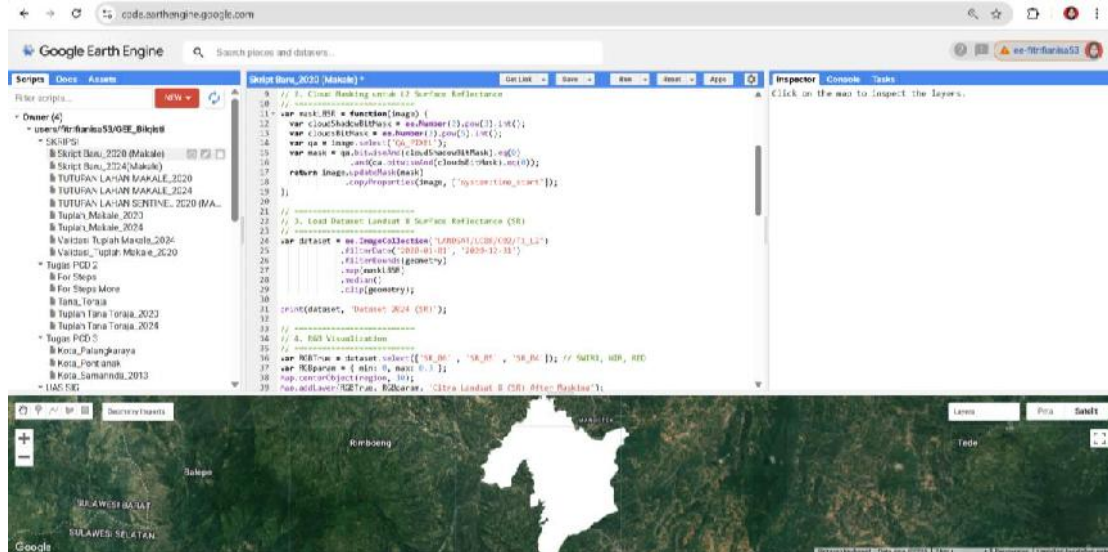
Berikut penjelasan mengenai tutupan lahan yang dibahas pada sub bab 3.4.1.1. – 3.4.1.7. di bawah ini.

3.4.1.1. Koreksi Awan

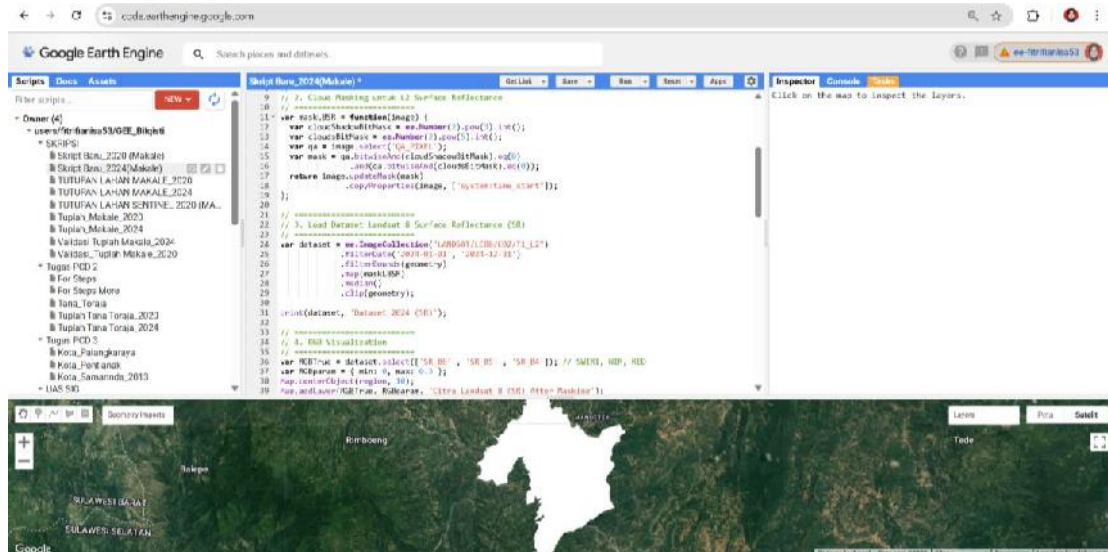
Langkah awal dalam pengolahan data adalah menampilkan citra *Landsat* 8 yang telah dikoreksi awan, karena citra satelit yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan sebaiknya memiliki tutupan awan kurang dari 20% (Novianti dkk., 2024). Dalam penelitian ini, koreksi awan dilakukan menggunakan teknik *filter masking*, yaitu dengan menggabungkan beberapa citra satelit dari berbagai tanggal perekaman dalam satu rentang waktu untuk memperoleh lapisan citra yang lebih jernih dan bebas dari gangguan awan. Proses *masking* dilakukan dengan menggantikan piksel yang tertutup awan dengan piksel dari citra lain yang tidak tertutup awan, dengan memanfaatkan informasi dari *band* BQA pada citra *Landsat* 8.

Landsat 8 yang dipakai adalah level 2, yang merupakan data citra yang sudah melalui proses koreksi atmosferik dan dikonversi menjadi *surface reflectance* (SR), sehingga tidak memerlukan lagi proses koreksi atmosferik tambahan (Della Tan 2018). Koreksi ini sudah diterapkan secara sistematis oleh USGS menggunakan algoritma *Land Surface Reflectance Code* (Google Earth Engine. n.d.). Selain itu, fungsi *filterDate* dalam *Google Earth Engine* (GEE) digunakan untuk memilih citra dalam periode waktu tertentu, sehingga hanya citra terbaik yang digunakan dalam analisis. Proses ini diawali dengan memasukkan data vektor wilayah studi, yaitu Kecamatan Makale, dalam format *shapefile* ke dalam GEE, kemudian menjalankan *script* untuk menampilkan citra *Landsat* 8 tahun 2020 yang telah dikoreksi awan. Langkah yang sama juga dilakukan untuk memperoleh citra *Landsat* 8 tahun 2024 di wilayah yang sama dengan tingkat kecerahan yang optimal. Dalam menampilkan citra *landsat* 8 yang telah dikoreksi awan di tampilkan pada Gambar 3, dan Gambar 4.

Gambar berikut menampilkan citra *landsat* 8 yang telah dikoreksi awan di tampilan pada Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 3. Citra *Landsat* 8 yang telah Dikoreksi Awan Tahun 2020



Gambar 4. Citra *Landsat* 8 yang telah Dikoreksi Awan Tahun 2024

3.4.1.2. Interpretasi Citra

Setelah proses koreksi awan pada citra *Landsat* dilakukan sebagai tahap awal untuk meningkatkan kualitas citra yang digunakan, langkah selanjutnya adalah interpretasi citra. Tahapan ini bertujuan untuk mengenali dan memahami objek-objek yang terdapat dalam citra, seperti hutan, sawah, permukiman, badan air, dan jenis tutupan lahan lainnya. Interpretasi citra dilakukan dengan cara menganalisis ciri-ciri visual dari objek pada citra, seperti warna, tekstur, bentuk, dan pola spasial. Hasil interpretasi ini menjadi dasar dalam menentukan distribusi *training sample* yang akurat untuk setiap kelas tutupan lahan yang akan digunakan pada tahap klasifikasi selanjutnya.

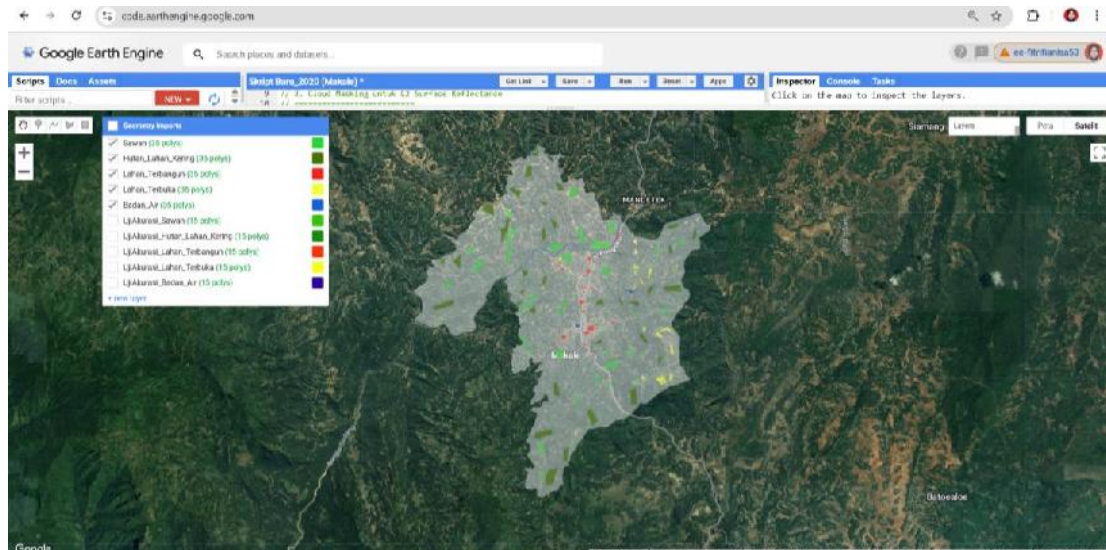
3.4.1.3. Pengambilan *Sample Training Area*

Proses klasifikasi diawali dengan tahapan pengambilan *sample training area* pada wilayah Kecamatan Makale menggunakan fitur *Geometry Import* pada platform *Google Earth Engine*. Langkah awal dilakukan dengan mengatur properti *layer*, dengan mengubah nama menjadi klasifikasi yang sesuai pada daerah, untuk pengambilan *sample* dilakukan digitasi sebanyak 175 *sample* untuk klasifikasi *supervised* dengan masing masing kelas 35 *sample*. Berikut merupakan klasifikasi tutupan lahan yang di lampirkan pada Tabel 11.

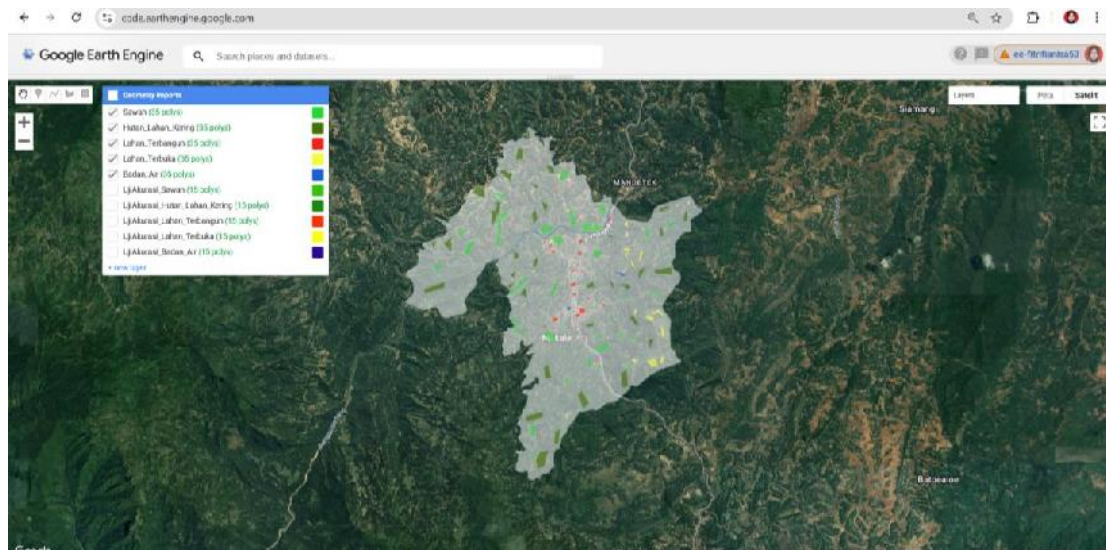
Tabel 11. Klasifikasi Tutupan Lahan

No	Tutupan Lahan	Nilai
1	Sawah	0
2	Hutan Lahan Kering	1
3	Lahan Terbangun	2
4	Lahan Terbuka	3
5	Badan Air	4

Berikut merupakan proses pengambilan sampel *training area* citra *landsat* 8 tahun 2020 dan tahun 2024, disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



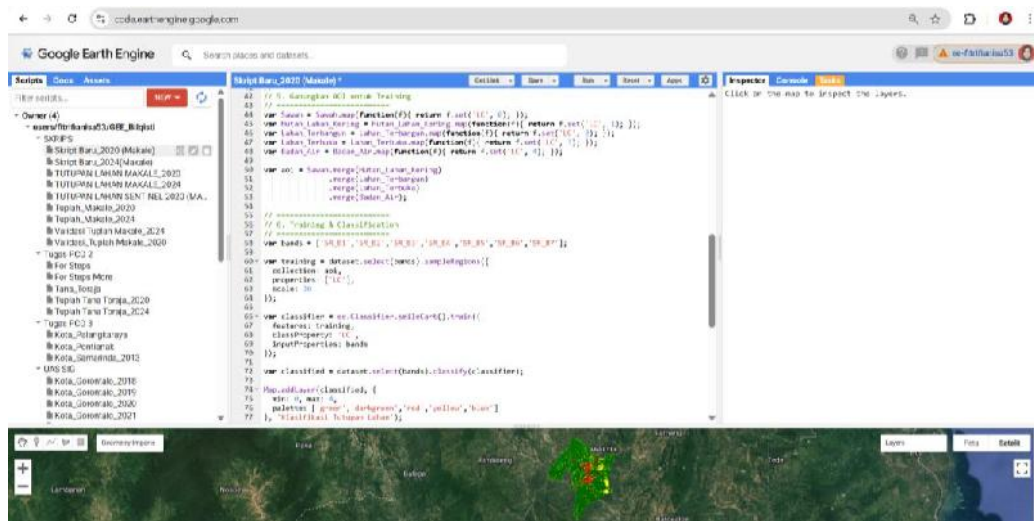
Gambar 5. Pengambilan *Sample Training Area* tahun 2020



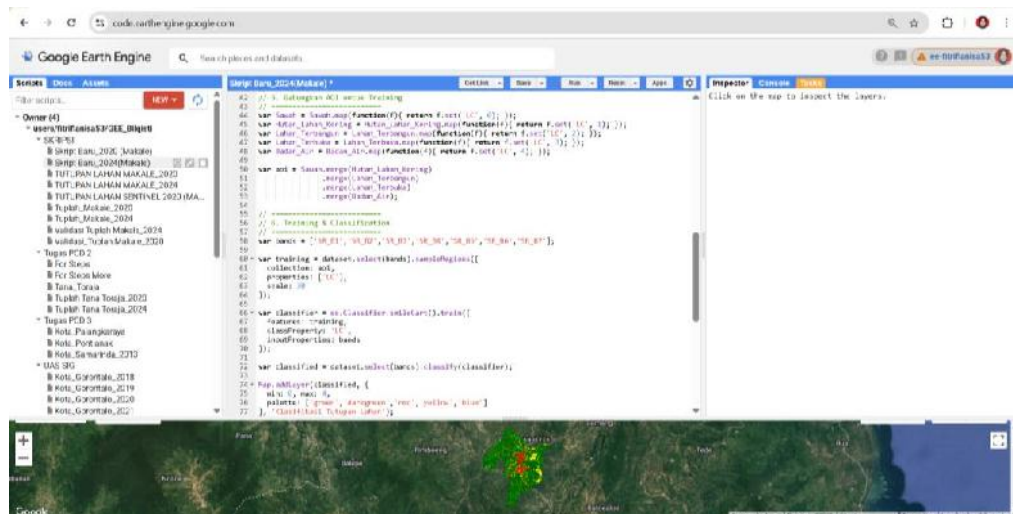
Gambar 6. Pengambilan *Sample Training Area* tahun 2024

3.4.1.4. Klasifikasi *Supervised* (Algoritma CART)

Setelah dilakukan pengambilan *sample area*, Langkah selanjutnya yaitu penulisan *script* klasifikasi *supervised* dengan mencocokkan nama objek *geometry import* pada variabel AOI (*area of interest*), agar sistem dapat menjalankan proses klasifikasi secara tepat.

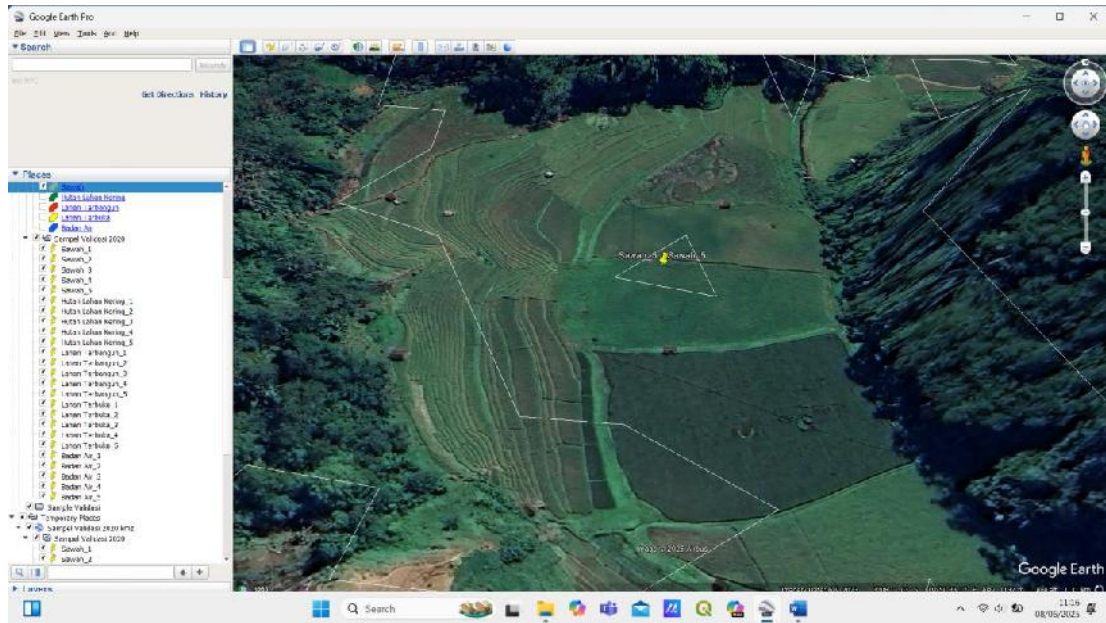


Gambar 7. Klasifikasi *Supervised* Tahun 2020



Gambar 8. Klasifikasi *Supervised* Tahun 2024

Berikut merupakan *ground truth* kelas sawah pada tahun 2020 yang disajikan pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Validasi Lapangan (Sawah Tahun 2020)

Berikut merupakan *ground truth* tutupan lahan pada tahun 2020 yang disajikan pada tabel 12 di bawah ini.

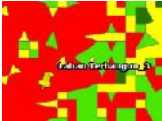
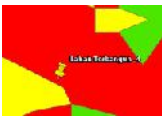
Tabel 12. *Ground Truth* Tutupan Lahan Tahun 2020

No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
1.	Sawah	119.833,001 -3,086,923	119.833,001 -3,086,923		
	Sawah	119.834,419 -3.080,546	119.834,419 -3.080,546		

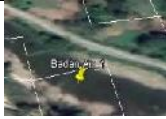
Tabel 12. (Lanjutan)

No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
	Sawah	119.842,924 -3.109,763	119.842,924 -3.109,763		
	Sawah	119.849,075 -3.110,147	119.849,075 -3.110,147		
	Sawah	119.842,417 -3.136,309	119.842,417 -3.136,309		
2.	Hutan Lahan Kering	119.842,921 -3.081,184	119.842,921 -3.081,184		
	Hutan Lahan Kering	119.847,357 -3.068,291	119.847,357 -3.068,291		
	Hutan Lahan Kering	119.816,017 -3.099,257	119.816,017 -3.099,257		
	Hutan Lahan Kering	119.847,013 -3.122,386	119.847,013 -3.122,386		
	Hutan Lahan Kering	119.868,726 -3.108,509	119.868,726 -3.108,509		
3.	Lahan Terbangun	119.854,027 -3.107,150	119.854,027 -3.107,150		

Tabel 12. (Lanjutan)

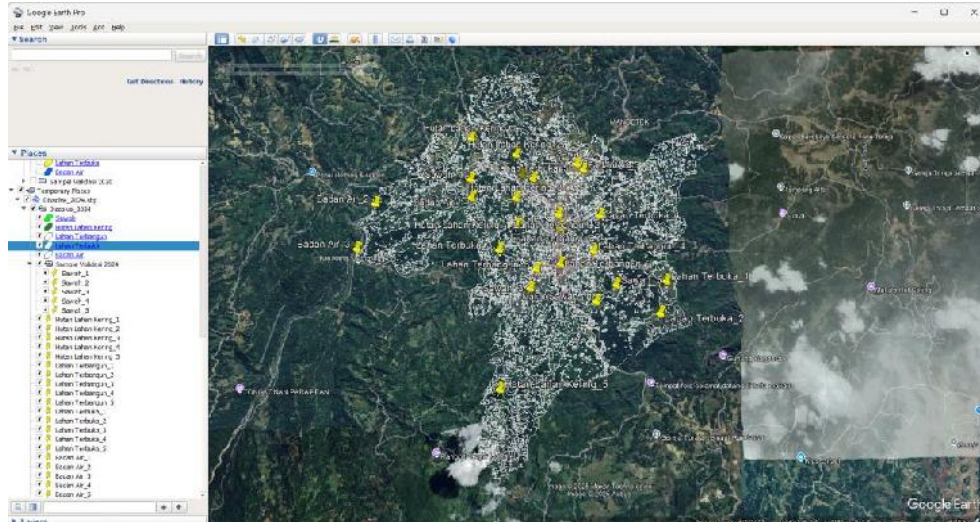
No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
	Lahan Terbangun	119.853,448 -3.098,567	119.853,448 -3.098,567		
	Lahan Terbangun	119.855,876 -3.088,660	119.855,876 -3.088,660		
	Lahan Terbangun	119.845,577 -3.087,579	119.845,577 -3.087,579		
	Lahan Terbangun	119.860,899 -3.103,848	119.860,899 -3.103,848		
4.	Lahan Terbuka	119.876,706 -3.111,713	119.876,706 -3.111,713		
	Lahan Terbuka	119.874,448 -3.118,372	119.874,448 -3.118,372		
	Lahan Terbuka	119.842,658 -3.094,885	119.842,658 -3.094,885		
	Lahan Terbuka	119.847,205 -3.086,855	119.847,205 -3.086,855		
	Lahan Terbuka	119.843,741 -3.099,610	119.843,741 -3.099,610		

Tabel 12. (Lanjutan)

No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
5.	Badan Air	119.844,698 -3.085,917	119.844,698 -3.085,917		
	Badan Air	119.844,468 -3.085,587	119.844,468 -3.085,587		
	Badan Air	119.843,605 -3.084,602	119.843,605 -3.084,602		
	Badan Air	119.838,579 -3.087,567	119.838,579 -3.087,567		
	Badan Air	119.825,388 -3.100,8845	119.825,388 -3.100,8845		

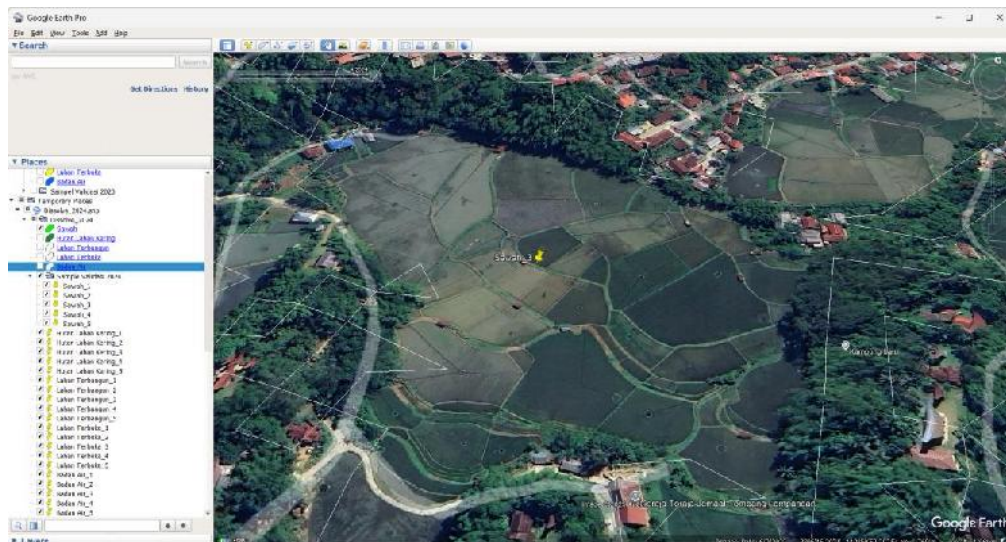
Berikut merupakan *ground truth* tahun 2024 yang dilakukan dengan menggunakan *google earth pro*. *Ground truth* merupakan tahap penting dalam pengujian akurasi klasifikasi, karena membandingkan hasil pengolahan digital dengan kondisi sebenarnya di lapangan melalui interpretasi visual dari citra resolusi tinggi. Proses interpretasi dilakukan dengan memperhatikan ciri-ciri visual seperti bentuk, warna, pola, dan lokasi objek untuk memastikan bahwa setiap sampel mewakili kelas tutupan lahan yang benar. Validasi digunakan masing-masing 5 sampel pada setiap kelas tutupan lahan, sehingga secara keseluruhan terdapat 25 sampel.

Berikut merupakan *ground truth tahun 2024* yang dilakukan dengan menggunakan *google earth pro*. Validasi digunakan masing-masing 5 sampel pada setiap kelas tutupan lahan, sehingga secara keseluruhan terdapat 25 sampel yang disajikan pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Validasi Lapangan Tahun 2024

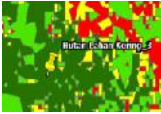
Berikut merupakan *ground truth* kelas sawah pada tahun 2024 yang disajikan pada gambar 12 di bawah ini.



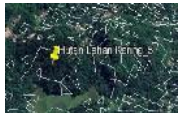
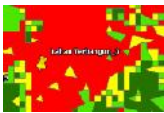
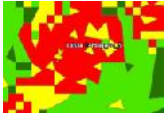
Gambar 12. Validasi Lapangan (Sawah Tahun 2024)

Berikut merupakan *ground truth* tutupan lahan pada tahun 2024 yang disajikan pada tabel 13 di bawah ini.

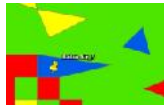
Tabel 13. Validasi Tutupan Lahan Tahun 2024

No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
1.	Sawah	119.833,089 -3.087,074	119.833,089 -3.087,074		
	Sawah	119.857,063 -3.083,404	119.857,063 -3.083,404		
	Sawah	119.847,046 -3.112,334	119.847,046 -3.112,334		
	Sawah	119.861,385 -3.115,345	119.861,385 -3.115,345		
	Sawah	119.865,821 -3.111,874	119.865,821 -3.111,874		
2.	Hutan Lahan Kering	119.843,895 -3.097,968	119.843,895 -3.097,968		
	Hutan Lahan Kering	119.843,243 -3.081,277	119.843,243 -3.081,277		
	Hutan Lahan Kering	119.843,540 -3.091,843	119.843,540 -3.091,843		

Tabel 13 (Lanjutan)

No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
3.	Hutan Lahan Kering	119.833,023 -3.077,341	119.833,023 -3.077,341		
	Hutan Lahan Kering	119.841,649 -3.134,277	119.841,649 -3.134,277		
	Lahan Terbangun	119.853,415 -3.098,507	119.853,415 -3.098,507		
	Lahan Terbangun	119.852,938 -3.095,394	119.852,938 -3.095,394		
	Lahan Terbangun	119.853,525 -3.106,796	119.853,525 -3.106,796		
	Lahan Terbangun	119.860,909 -3.103,900	119.860,909 -3.103,900		
4.	Lahan Terbuka	119.848,332 -3.108,023	119.848,332 -3.108,023		
	Lahan Terbuka	119.876,368 -3.111,581	119.876,368 -3.111,581		
	Lahan Terbuka	119.874,826 -3.118,608	119.874,826 -3.118,608		
	Lahan Terbuka	119.840,148 -3.103,786	119.840,148 -3.103,786		

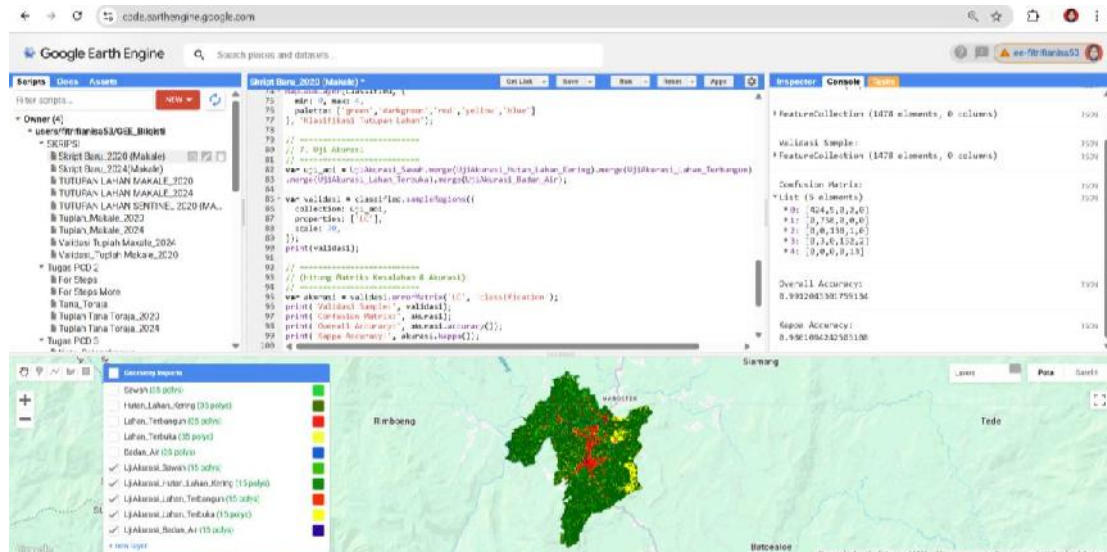
Tabel 13 (Lanjutan)

No	Kelas	Koordinat Klasifikasi (Decimal Degree)	Koordinat Lapangan (Decimal Degree)	Hasil Klasifikasi	Validasi Lapangan
5.	Lahan Terbuka	119.862,263 -3.095,948	119.862,263 -3.095,948		
	Lahan Terbuka	119.847,186 -3.086,917	119.847,186 -3.086,917		
	Badan Air	119.833,493 -3.091,457	119.833,493 -3.091,457		
	Badan Air	119.812,047 -3.092,733	119.812,047 -3.092,733		
	Badan Air	119.808,729 -3.103,229	119.808,729 -3.103,229		
	Badan Air	119.844,715 -3.085,935	119.844,715 -3.085,935		
	Badan Air	119.858,564 -3.084,803	119.858,564 -3.084,803		

3.4.1.6. Uji Akurasi

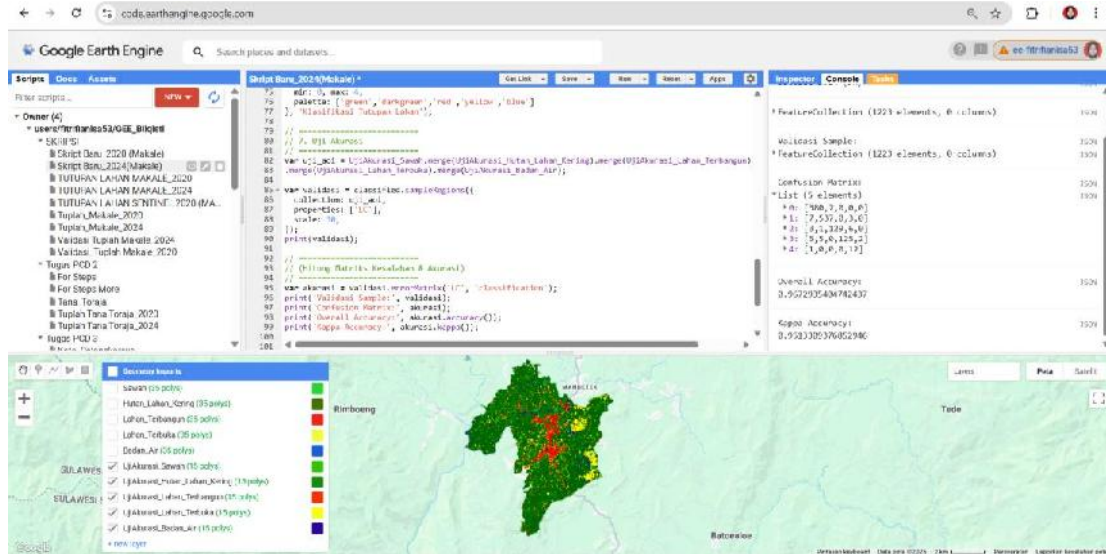
Uji akurasi hasil klasifikasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat ketelitian klasifikasi tutupan lahan yang dihasilkan melalui *platform Google Earth Engine* (GEE), dengan menggunakan menghasilkan *confusion matrix* yang membandingkan data hasil klasifikasi otomatis dengan data referensi (*ground truth*). Matriks ini berbentuk persegi, dengan jumlah baris dan kolom yang mewakili jumlah kelas tutupan lahan, dan klasifikasi dianggap akurat apabila nilai akurasi $\geq 85\%$ (Badan Informasi

Geospasial 2014). Proses uji akurasi dimulai dengan melakukan digitasi ulang menggunakan fitur *Geometry Import* di GEE. Langkah ini mencakup pengaturan properti layer dengan mengganti nama menjadi klasifikasi uji akurasi yang diinginkan. Selanjutnya *script* klasifikasi dituliskan dengan memastikan nama variabel AOI (*area of interest*) sesuai dengan nama objek *geometry import* untuk menghindari kesalahan pemanggilan data. Setelah *script* dijalankan (*run*), hasil uji akurasi akan ditampilkan dalam bentuk *overall accuracy* dan *kappa accuracy* pada bagian *console*, serta disertai *confusion matrix* yang menunjukkan distribusi ketepatan klasifikasi perkelas. Berikut merupakan proses uji akurasi matrik konfusi tahun 2020 yang di tampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Uji Akurasi Matrik Konfusi Tahun 2020

Berikut merupakan proses uji akurasi matrik konfusi tahun 2024 yang di tampilkan pada Gambar 14.



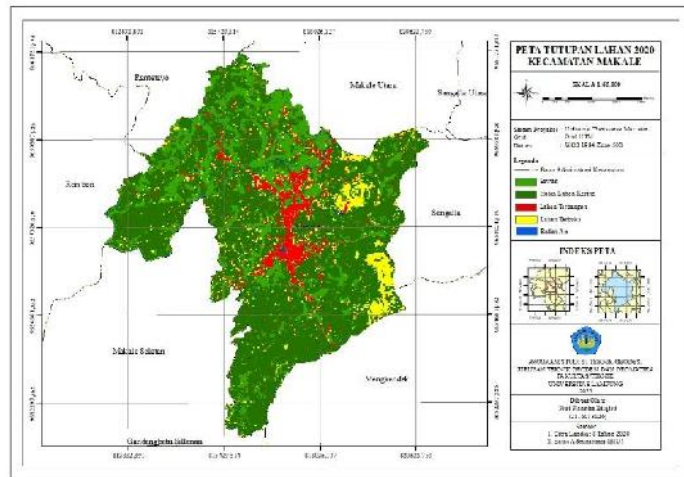
Gambar 14. Uji Akurasi Matrik Konfusi Tahun 2024

3.4.1.6. Peta Tutupan Lahan

Setelah selesai dilakukan pengolahan citra *Landsat* pada GEE, selanjutnya dilakukan pengolahan pada *software* pengolahan spasial untuk melakukan *lay out* peta sesuai kaidah kartografi, dan untuk warna tutupan lahan di sesuaikan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7628:2010, yaitu hijau muda untuk sawah, hijau tua untuk hutan lahan kering, merah untuk lahan terbangun, kuning untuk lahan terbuka, dan biru untuk badan air.

3.4.1.6.1. Peta Tutupan Lahan Tahun 2020

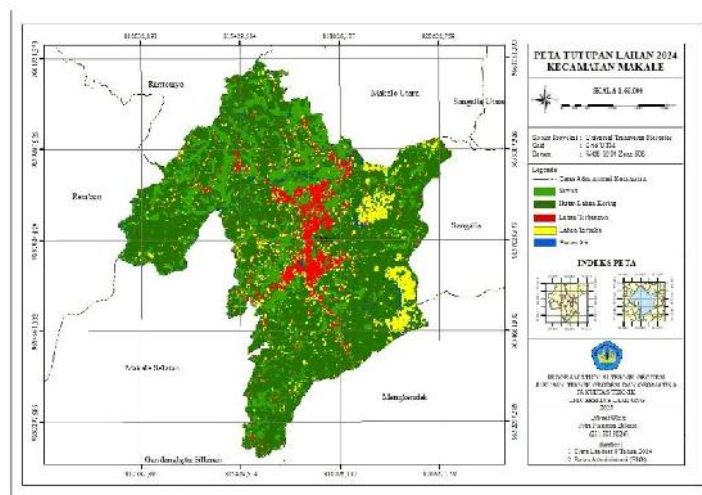
Berikut merupakan hasil peta tutupan lahan Kecamatan Makale tahun, Kabupaten Tana Toraja tahun 2020 yang di sajikan pada gambar 15.



Gambar 15. Peta tutupan lahan Kecamatan Makale tahun, Kabupaten Tana Toraja tahun 2020

3.4.1.6.1. Peta Tutupan Lahan Tahun 2024

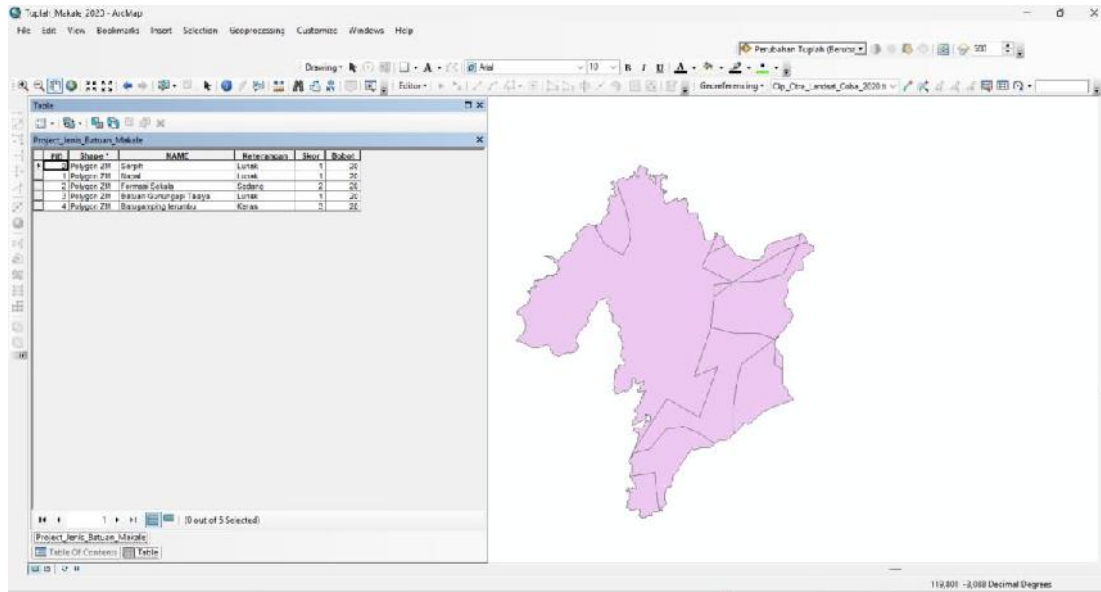
Berikut merupakan hasil peta tutupan lahan Kecamatan Makale tahun, Kabupaten Tana Toraja tahun 2024 yang disajikan pada gambar 16.



Gambar 16. Peta tutupan lahan Kecamatan Makale tahun, Kabupaten Tana Toraja tahun 2024

Untuk memperoleh hasil peta jenis batuan di wilayah Kecamatan Makale, langkah pertama yang dilakukan adalah proses *clip* atau pemotongan data spasial. Proses *clip* ini bertujuan untuk membatasi area analisis hanya pada wilayah administratif Kecamatan Makale, dengan menggunakan *shapefile* batas kecamatan sebagai area pemotong terhadap data geologi atau jenis batuan yang mencakup wilayah yang lebih luas. Setelah proses *clip* dilakukan, data yang dihasilkan berupa data jenis batuan yang

hanya berada dalam wilayah Kecamatan Makale. Tahap selanjutnya adalah proses pembobotan, yaitu pemberian nilai atau skor terhadap masing-masing jenis batuan berdasarkan karakteristik geologinya, khususnya dalam kaitannya dengan potensi terhadap gerakan tanah atau longsor. Hasil dari proses tersebut menunjukkan sebaran jenis batuan lengkap dengan nilai bobotnya, sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait potensi bencana longsor. Berikut disajikan pada gambar 18.

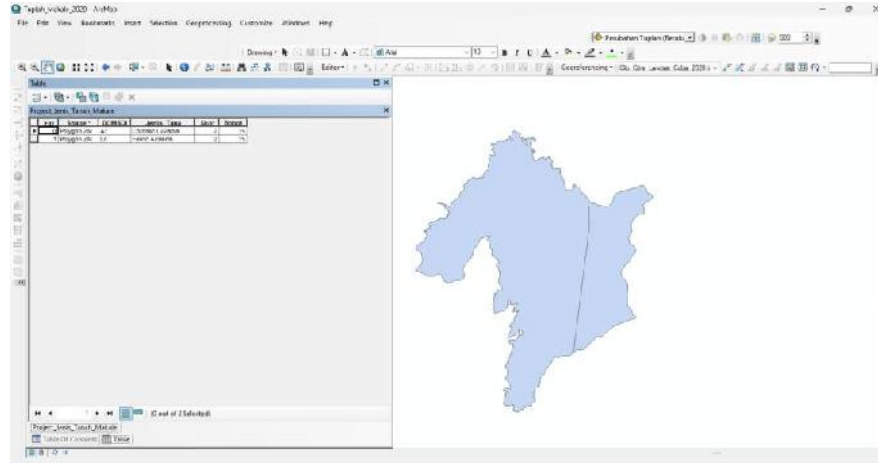


Gambar 18. Pengolahan Jenis Batuan

3.4.3. Parameter Jenis Tanah

Untuk memperoleh hasil peta jenis tanah di wilayah Kecamatan Makale, langkah pertama yang dilakukan adalah proses *clip* atau pemotongan data spasial. Proses *clip* ini bertujuan untuk membatasi area analisis hanya pada wilayah administratif Kecamatan Makale, dengan menggunakan *shapefile* batas kecamatan sebagai area pemotong terhadap jenis tanah yang mencakup wilayah yang lebih luas. Setelah proses *clip* dilakukan, data yang dihasilkan berupa data jenis tanah yang hanya berada dalam wilayah Kecamatan Makale. Tahap selanjutnya adalah proses pembobotan, yaitu pemberian nilai atau skor terhadap masing-masing jenis tanah. khususnya dalam kaitannya dengan potensi terhadap gerakan tanah atau longsor. Hasil dari proses

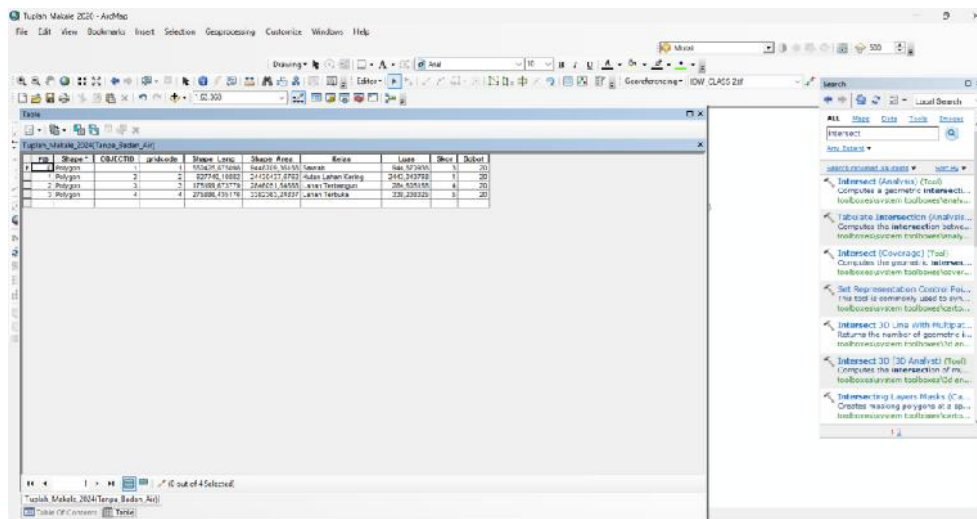
tersebut menunjukkan sebaran jenis tanah lengkap dengan nilai bobotnya, sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait potensi bencana longsor. Berikut disajikan pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil Pengolahan Jenis Batuan

3.4.4. Parameter Tutupan Lahan

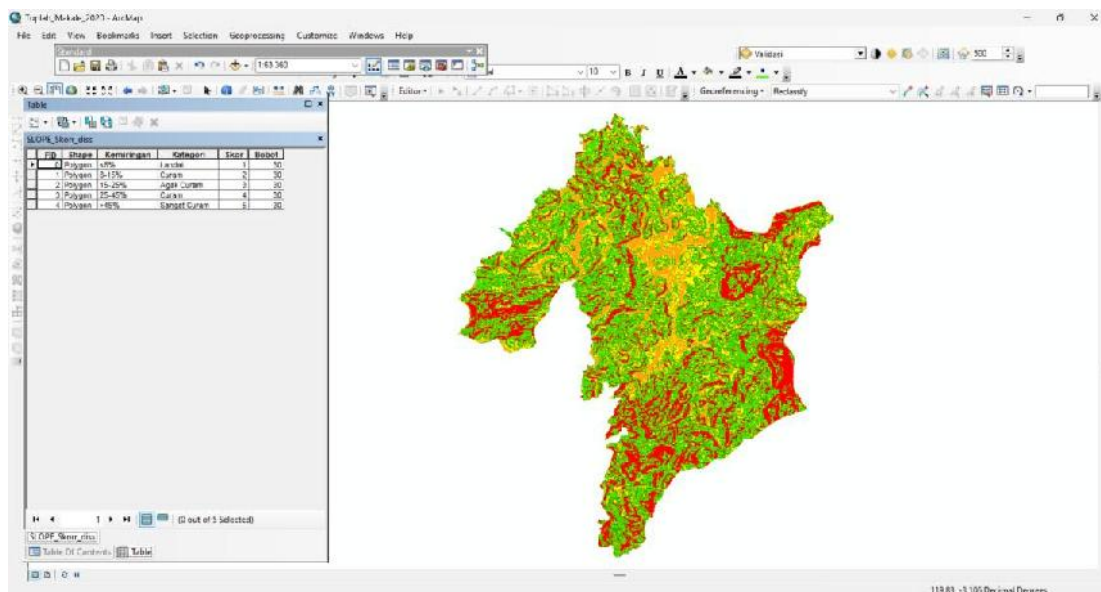
Pengolahan data tutupan lahan dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan citra *Landsat 8* yang diakses dan diproses melalui *platform Google Earth Engine*. Selanjutnya, dilakukan pembobotan yaitu pemberian nilai, skor terhadap masing-masing jenis tutupan lahan.



Gambar 20. Hasil Pengolahan Data Tutupan Lahan

3.4.5. Parameter Kemiringan Lereng

Pengolahan data kemiringan lereng diawali dengan menghitung *slope* dari data DEM menggunakan *tool Slope* pada *software GIS*. Hasilnya berupa *raster* yang menunjukkan nilai kemiringan lereng dalam derajat atau persen. Langkah berikutnya adalah *Reclassify*, yaitu mengelompokkan nilai kemiringan menjadi kelas-kelas tertentu, untuk mempermudah analisis spasial. Setelah itu, hasil *reclassify* dikonversi dari *raster* ke *vektor* menggunakan *tool Raster to Polygon*, sehingga setiap kelas kemiringan tergambar dalam bentuk *polygon*. Proses *Dissolve* kemudian digunakan untuk menggabungkan poligon-poligon dengan kelas yang sama. Terakhir, dilakukan *Clip* untuk memotong hasil analisis berdasarkan batas wilayah studi, yaitu Kecamatan Makale, sehingga hanya bagian yang relevan saja yang ditampilkan dan dianalisis lebih lanjut. Berikut di sajikan pada gambar 21.



Gambar 21. Hasil Pengolahan Data Kemiringan Lereng

3.4.6. Parameter Curah Hujan

Pengolahan data curah hujan dimulai dengan tahap perhitungan curah hujan dari data stasiun pengamatan yang berada di sekitar wilayah studi.

Data yang digunakan berupa data tahunan yang dihimpun dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Disajikan pada gambar 22, dan gambar 23.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'laporan data hujan tahun 2020 - Excel'. The data is organized into columns for different stations (e.g., TANGGAL, TANGGAL, TANGGAL, etc.) and rows for years (e.g., 2010, 2011, 2012, etc.). The spreadsheet includes a header row with station names and a data section with numerical values representing rainfall. The interface shows the standard Excel ribbon with tabs like File, Home, Insert, etc.

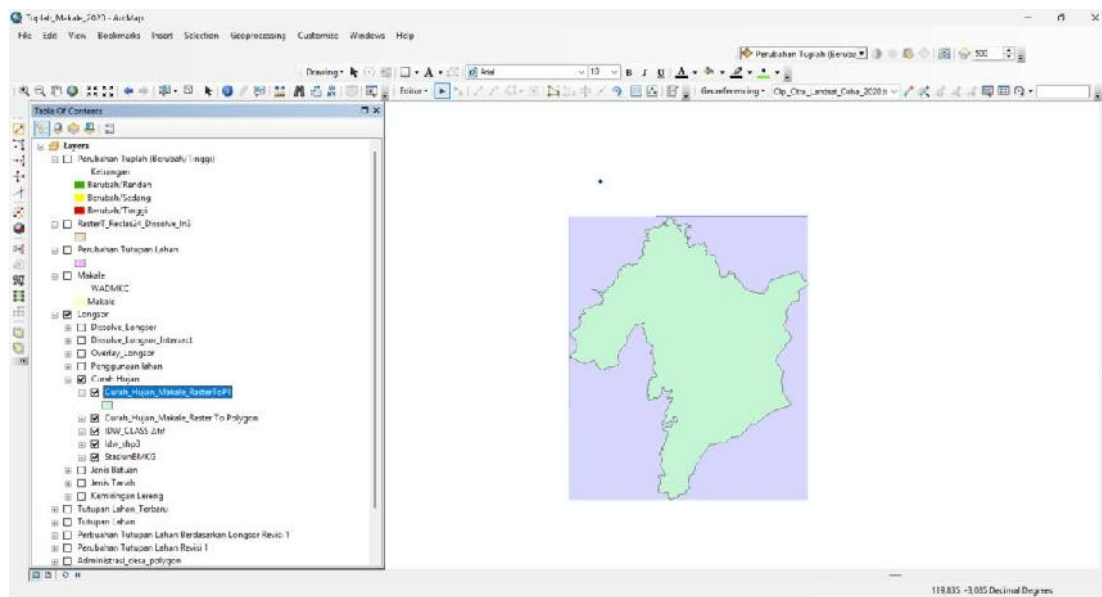
Gambar 22. Data Curah Hujan BMKG Tahunan Sulawesi Selatan

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'laporan data hujan tahun 2020 - Excel'. The data is organized into columns for different stations (e.g., TANGGAL, TANGGAL, TANGGAL, etc.) and rows for years (e.g., 2010, 2011, 2012, etc.). The spreadsheet includes a header row with station names and a data section with numerical values representing rainfall. The interface shows the standard Excel ribbon with tabs like File, Home, Insert, etc.

Gambar 23. Data Curah Hujan BMKG Tahunan Tana Toraja

Data curah hujan dari masing-masing stasiun kemudian digunakan untuk membuat sebaran spasial melalui proses interpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW). Metode ini mengasumsikan bahwa lokasi yang berdekatan memiliki

nilai curah hujan yang lebih mirip dibandingkan dengan lokasi yang lebih jauh. Hasil dari interpolasi ini berupa peta *raster* distribusi curah hujan pada wilayah studi. Setelah interpolasi dilakukan, tahap selanjutnya adalah *Reclassify*, yaitu proses mengelompokkan nilai curah hujan. Terakhir, hasil *raster* yang telah diklasifikasikan tersebut dilakukan proses *Clip* untuk memotong area di luar batas administratif wilayah studi, yaitu Kecamatan Makale. Dengan demikian, peta curah hujan yang dihasilkan hanya mencakup wilayah yang relevan. Berikut di sajikan pada gambar 24.



Gambar 24. Hasil Pengolahan Data Curah Hujan

3.4.7. Pengolahan Potensi longsor

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis *overlay*. *Overlay* adalah prosedur penting dalam analisis SIG (Sistem Informasi Geografis). *Overlay* yaitu kemampuan untuk menempatkan grafis satu peta diatas grafis peta yang lain dan menampilkan hasilnya di layar komputer atau pada *plot*. Sebelum dilakukan proses *overlay* peta menggunakan aplikasi SIG terlebih dahulu dilakukan proses skoring sesuai parameter yang sudah ada yaitu peta kemiringan lereng, peta curah hujan, peta penggunaan lahan, peta jenis batuan, dan peta jenis tanah dan kemudian di

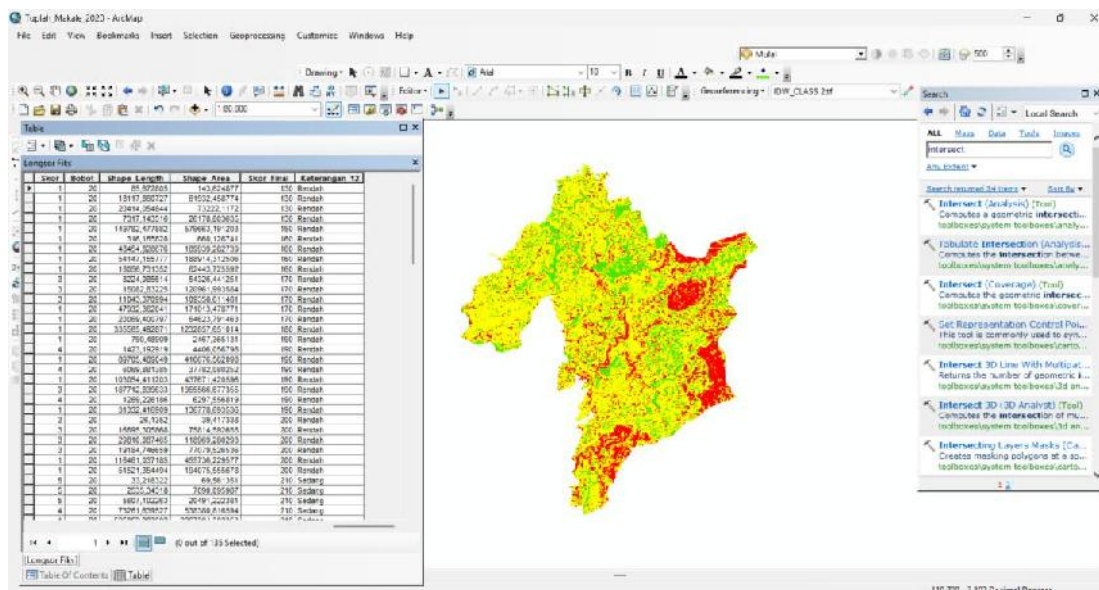
overlay untuk menghasilkan peta ancaman bencana longsor. Setelah itu dilakukan pembobotan. Penilaian dari pembobotan parameter pengaruh tanah longsor dilakukan dengan memperhitungkan jumlah nilai maksimal pembobotan dikurangi dengan jumlah nilai minimal pembobotan. Hasil pengurangan ini dibagi dengan jumlah kelas yang diinginkan dengan membaginya menjadi 3 kelas yang mengacu pada rumus 1, kemudian akan dihasilkan interval skor kriteria bahaya sebagai berikut:

130 – 209 = Rendah

210 – 289 = Sedang

>290 = Tinggi

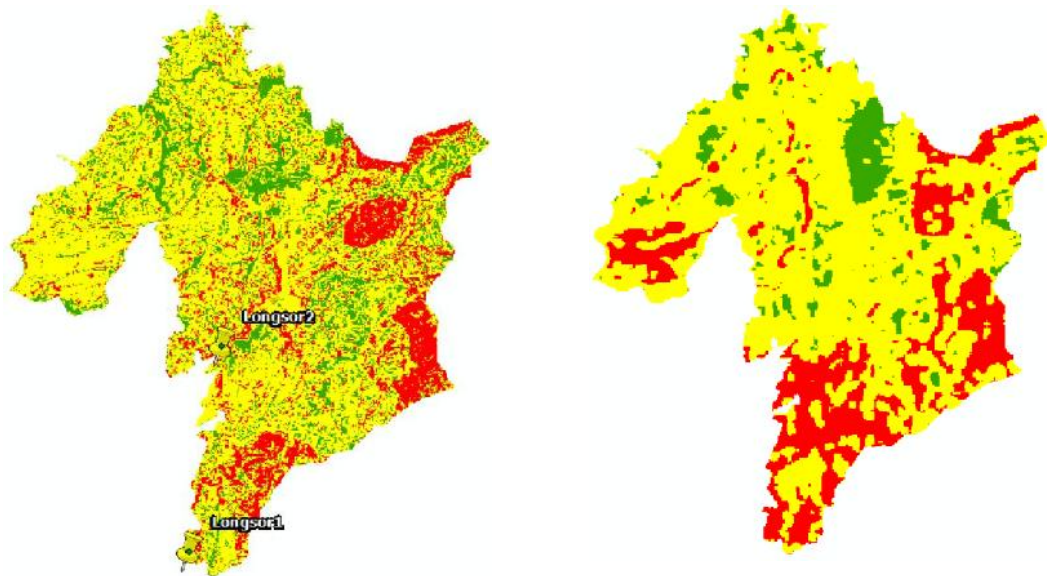
Berikut di bawah ini merupakan proses analisis rawan longsor yang di sajikan pada Gambar 25.



Gambar 25. Hasil Pengolahan Potensi Longsor

3.4.7.1. Validasi Peta Potensi Longsor

Berdasarkan hasil peta potensi longsor, selanjutnya dilakukan validasi. Validasi potensi longsor dilakukan dengan menggunakan portal InaRISK (*Indonesia Disaster Risk Assessment*) milik BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) yang menyediakan peta dan data risiko bencana berbasis spasial, dan kejadian titik tanah longsor bersumber dari BPBD Tana Toraja. Berikut disajikan pada gambar 26.



Pengolahan Longsor dan sebaran titik longsor Validasi pengolahan longsor portal InaRISK

Gambar 26. Validasi Peta Potensi Longsor menggunakan sebaran titik longsor dan portal InaRISK

Berikut merupakan kejadian titik tanah longsor bersumber dari BPBD Tana Toraja. Disajikan pada tabel 14.

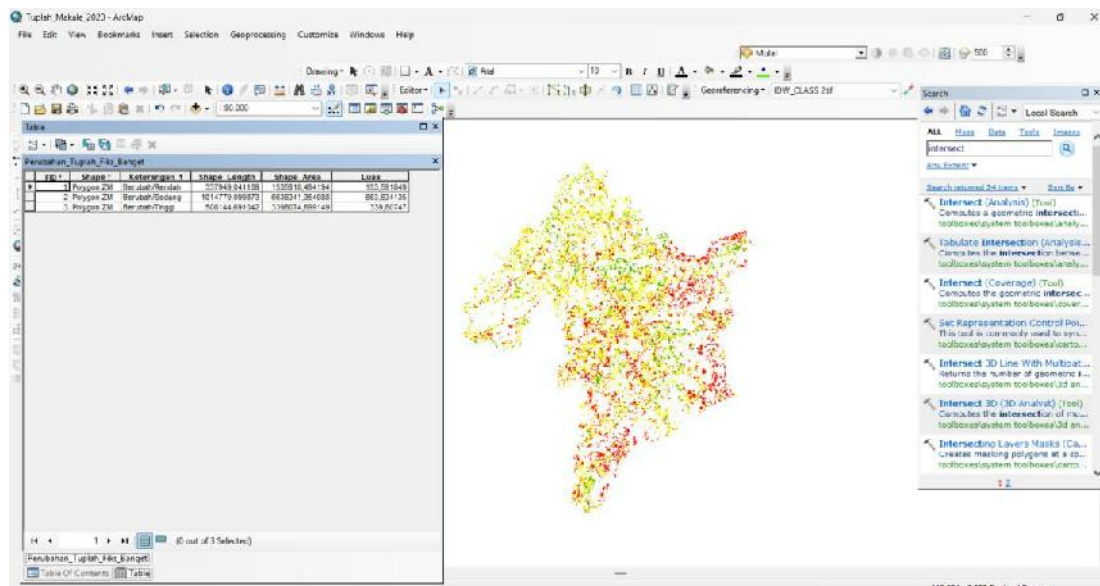
Tabel 14. Kejadian Tanah Longsor di Kecamatan Makale

Tanah Longsor	Lokasi	Tanggal	Dampak
Longsor 1	RT. Palangka, Kel. Manggau, Kec. Makale, Tana Toraja, Sulawesi Selatan	13 April 2024	Korban jiwa, dan kerusakan material
Longsor 2	Masjid Lamunan, Kelurahan Lamunan, Kec. Makale, Tana Toraja, Sulawesi Selatan	13 Juni 2020	Kerusakan material

Sumber: BPBD Tana Toraja

3.4.8. Pengolahan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor

Setelah mendapatkan peta potensi longsor selanjutnya dilakukan lagi *overlay* peta bencana ancaman longsor tersebut dengan peta perubahan tutupan lahan Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja yang sudah diolah sebelumnya. Hasil *overlay* peta potensi longsor dan peta tutupan lahan akan menghasilkan tiga klasifikasi daerah potensi longsor. Berikut di sajikan pada Gambar 27.



Gambar 27. Hasil Peta Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor

3.4.9. Analisis Peta Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor

Setelah dilakukan *overlay* antara peta potensi longsor dengan peta tutupan lahan Kabupaten Tana Toraja tahun 2020 dan tahun 2024, diperoleh informasi mengenai perubahan tutupan lahan terhadap tingkat potensi longsor. Hasil *overlay* ini menghasilkan tiga klasifikasi wilayah berdasarkan perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor, yaitu: berubah/rendah, berubah sedang/ dan berubah/tinggi. Analisis tidak hanya menunjukkan perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor, tetapi juga menyajikan luasan wilayah yang mengalami perubahan tersebut. Visualisasi hasil *overlay* perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor disajikan pada Gambar 27.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Potensi Longsor di Kecamatan Makale, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kondisi tutupan lahan di Kecamatan Makale menunjukkan bahwa terdapat 5 klasifikasi tutupan lahan, yaitu sawah, hutan lahan kering, lahan terbangun, lahan terbuka, dan badan air. Berdasarkan analisis perubahan tutupan lahan tahun 2020 dan 2024, secara persentase perubahan terbesar terjadi pada klasifikasi lahan terbuka yang mengalami peningkatan sebesar 0,99% atau seluas 40,2006 hektar, dari 298,0357 hektar pada tahun 2020 menjadi 338,2363 hektar pada tahun 2024. Sebaliknya, penurunan persentase terbesar terjadi pada kelas hutan lahan kering sebesar 2,15% atau seluas 86,578 hektar, dari 2.529,6205 hektar menjadi 2.443,0437 hektar.
2. Berdasarkan hasil klasifikasi tingkat potensi longsor di wilayah yang dianalisis, diketahui bahwa kategori potensi longsor sedang mendominasi dengan luas mencapai 2.592,77% hektar atau sekitar 66,34% dari total luas wilayah. Sementara itu, wilayah dengan tingkat potensi longsor rendah mencakup area seluas 685,56 hektar atau 15,72% dari keseluruhan wilayah. Adapun wilayah dengan potensi longsor tinggi meliputi luas sebesar 695,23 hektar atau 17,94% dari total wilayah.
3. Hasil analisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi longsor menunjukkan bahwa total luas perubahan tutupan lahan selama periode tahun 2020 hingga 2024 di Kecamatan Makale mencapai 1.157,0333 hektar, yang terbagi ke dalam tiga kategori potensi longsor. Perubahan dengan potensi longsor sedang merupakan yang

paling dominan, mencakup 663,6341 hektar atau 57,36%, diikuti oleh potensi longsor tinggi sebesar 339,8074 hektar (29,37%), dan potensi longsor rendah sebesar 153,5918 hektar (13,27%). Jenis perubahan tutupan lahan yang terjadi juga memberikan dampak berbeda terhadap masing-masing kategori potensi longsor. Perubahan Hutan Lahan Kering menjadi Sawah merupakan perubahan yang paling mendominasi potensi longsor rendah, dengan luas 84,21 hektar, terutama terjadi di Kelurahan Lea, Rante, dan Tarongko. Sementara itu, potensi longsor sedang paling banyak didominasi oleh perubahan dari Sawah menjadi Lahan Terbuka, dengan luas 75,77 hektar, banyak ditemukan di Kelurahan Ariang, Rante, dan Buntu Burake. Adapun potensi longsor tinggi paling didominasi oleh perubahan Hutan Lahan Kering menjadi Lahan Terbuka, dengan luas 59,33 hektar, yang tersebar di Kelurahan Lamunan, Ariang, dan Manggau.

5.2. Saran

Saran yang diberikan dalam penelitian ini adalah agar penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi penggunaan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) atau *Fuzzy-AHP* guna menentukan bobot dari masing-masing parameter kerentanan longsor secara lebih sistematis dan objektif. Meskipun studi ini telah menggunakan metode *overlay* dalam pemetaan potensi longsor dengan berdasarkan skoring dan pembobotan bersumber Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22 Tahun 2007, penerapan AHP dapat juga memperkuat keakuratan dalam menilai kontribusi faktor-faktor seperti kemiringan lereng, jenis tanah, curah hujan, serta tutupan lahan terhadap tingkat kerawanan. Di samping itu, penelitian mendatang dapat melakukan analisis perubahan tutupan lahan menggunakan *platform Google Earth Engine* (GEE) dengan menggunakan citra yang berolusi lebih baik seperti *Worldview-2* beresolusi 30 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhameed, M., ElGhanam, E., Osman, A. H. and Hassan, M. S. 2024. Design of a Misalignment-Tolerant Inductor–Capacitor–Capacitor-Compensated Wireless Charger for Roadway-Powered Electric Vehicles. *Sustainability (Switzerland)*. 1(2).
- Anisa, R. dan Suyadi, S. 2023. A study of the density of built-up land based on aerial photographs in Pasaran Island, Bandar Lampung. *Jurnal Geoelebes*. 7(1). 53–63.
- Annis, A. and Nardi, F. 2019. Integrating VGI and 2D hydraulic models into a data assimilation framework for real time flood forecasting and mapping. *Geo-Spatial Information Science*. 22(4) 223–236.
- Arison dang, V., Sudarsono, B. dan Prasetyo, Y. 2015. *Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Segmentasi Berbasis Algoritma Multiresolusi*. 4. 9–19.
- Badan Informasi Geospasial. 2014. *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Jakarta: BIG.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2024. *Data curah hujan wilayah Tana Toraja tahun 2024*. BMKG Toraja.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2012. *Peraturan Kepala BNPB Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Jakarta: BNPB.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2024. *Data kejadian bencana Indonesia tahun 2023*.
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistik Kabupaten Tana Toraja 2020*. Tana Toraja: BPS Tana Toraja.
- Badan Standardisasi Nasional. 2010. *SNI 7628:2010 – Penyingkatan Nama Kelas Tutupan Lahan dan Pengkodean Warna Pada Peta*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Boyda, D. C., Holzman, S. B., Berman, A., Grabowski, M. K. and Chang, L. W. 2019. *Geographic Information Systems, spatial analysis, and HIV in Africa: A scoping review*. 14(5).
- Della Tan. 2018. AN ANALYZE: Perbandingan Landsat8 Level 1 dan Level 2.
- Eberle, J., Urban, M., Homolka, A., Hüttich, C. and Schmullius, C. 2016. Multi-Source Data Integration and Analysis for Land Monitoring in Siberia. *Remote Sensing*, 8(9) 1-24.
- Febianti, M., Wardoyo, S. S. dan Wicaksono, A. P. 2023. Identifikasi Karakteristik Longsor dan Analisis Kestabilan Lereng (Studi Kasus: Dusun Banjarharjo II, Desa Muntuk, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI*.
- Firdaus, R. 2021. Pengaruh perubahan curah hujan dan perubahan tutupan lahan terhadap bencana longsor berdasarkan analisis spasial. *Jurnal Lingkungan dan Perubahan Iklim*. 8(1). 33–45.
- Forest Watch Indonesia. 2015. 1,47 juta hektare hutan hilang tiap tahun. *Tempo.co*.
- Google Earth Engine. n.d.. USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 (Landsat/LC08/C02/T1_L2).
- Hanifudin, A., Susanto, R., dan Prasetya, B. 2024. Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Ancaman Bencana Longsor Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Kebumen). *Jurnal Geografi dan Kebencanaan*. 5(1). 22-33.
- Haribulan, R., Gosal, P. H. dan Karongkong, H. H. 2019. Kajian Kerentanan Fisik Bencana Longsor Di Kecamatan Tomohon Utara. *Spasial*. 6(3) 714–724.
- Irsan, R. dan Izdihaar, J. R. 2024. Dampak Perubahan Luas Tutupan Lahan Terhadap Stok Karbon di Kecamatan Paloh. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 12(4) 897–903.
- Kementerian Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan Republik Indonesia. 2024. *Laporan bencana tanah longsor Tana Toraja*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2007. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor*