

**ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP LIMPASAN
AIR PERMUKAAN DI DAS CILIWUNG HULU**

(Skripsi)

Oleh

**MERIAN JUNAEDI PRAYANG
NPM 2115013071**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP LIMPASAN
AIR PERMUKAAN DI DAS CILIWUNG HULU**

Oleh

MERIAN JUNAEDI PRAYANG

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP LIMPASAN AIR PERMUKAAN DI DAS CILIWUNG HULU

OLEH

MERIAN JUNAEDI PRAYANG

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung Hulu berperan penting sebagai daerah tangkapan air dan penyangga wilayah hilir. Namun, meningkatnya konversi tutupan lahan dari kawasan hutan menjadi lahan terbangun dan budidaya menyebabkan penurunan kemampuan infiltrasi tanah, yang berdampak pada peningkatan limpasan air permukaan dan risiko banjir di wilayah hilir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan periode 2013–2023, mengestimasi tinggi limpasan air permukaan, serta mengkaji pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu.

Penelitian ini menggunakan pendekatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Klasifikasi tutupan lahan dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* pada citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2013 dan 2023, yang divalidasi melalui uji akurasi *Overall Accuracy* dan *Kappa Coefficient*. Estimasi limpasan air permukaan dilakukan dengan metode *Soil Conservation Service–Curve Number* (SCS-CN) melalui integrasi data tutupan lahan, jenis tanah, dan curah hujan. Selanjutnya, pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan dianalisis menggunakan regresi linier sederhana.

Hasil penelitian menunjukkan penurunan luas hutan sebesar 3.001 ha (32,66%), disertai peningkatan lahan pertanian, padang rumput, dan perumahan. Wilayah DAS Ciliwung Hulu didominasi tanah Humic Andosols dengan curah hujan sangat lebat (>2.500 mm/tahun). Luas area dengan limpasan tinggi meningkat dari 1.088 ha (7%) menjadi 2.342 ha (15%), sedangkan limpasan sangat tinggi meningkat dari 689 ha (5%) menjadi 880 ha (6%). Nilai *Overall Accuracy* mencapai 91% (2013) dan 93% (2023). Analisis regresi menunjukkan perubahan tutupan lahan berpengaruh signifikan terhadap limpasan air permukaan ($\text{Sig. } 0,086 < 0,10$), di mana setiap penambahan 1 ha perubahan tutupan lahan meningkatkan tinggi limpasan sebesar 167,93 mm.

Kata kunci: Tutupan lahan, limpasan permukaan, DAS Ciliwung Hulu, SCS-CN, penginderaan jauh, Sistem Informasi Geografis, Regresi Linier.

ABSTRACT

ANALYSIS OF LAND COVER CHANGES ON SURFACE WATER RUNOFF IN THE CILIWUNG HULU WATERSHED

BY

MERIAN JUNAEDI PRAYANG

The Upper Ciliwung Watershed plays a critical role as a water catchment area and a buffer for downstream regions. However, rapid land cover conversion from forested areas to built-up and cultivated land has reduced soil infiltration capacity, leading to increased surface runoff and a higher risk of flooding in downstream areas. This study aims to analyze land cover changes from 2013 to 2023, estimate surface runoff depth, and assess the influence of land cover change on surface runoff in the Upper Ciliwung Watershed. This research employs an integrated approach using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). Land cover classification was conducted using the Maximum Likelihood Classification method applied to Landsat 8 OLI/TIRS imagery from 2013 and 2023, with classification accuracy evaluated using Overall Accuracy and the Kappa Coefficient. Surface runoff was estimated using the Soil Conservation Service–Curve Number (SCS-CN) method by integrating land cover, soil type, and rainfall data. Furthermore, the relationship between land cover change and surface runoff was examined using simple linear regression analysis. The results indicate a substantial decrease in forest area by 3,001 ha (32.66%), accompanied by an expansion of agricultural land, grassland, and residential areas. The watershed is predominantly characterized by Humic Andosols and very high annual rainfall (>2,500 mm). Areas classified as high runoff increased from 1,088 ha (7%) to 2,342 ha (15%), while very high runoff areas expanded from 689 ha (5%) to 880 ha (6%). Classification accuracy reached 91% (2013) and 93% (2023). Linear regression analysis confirms that land cover change has a significant effect on surface runoff (Sig. 0.086 < 0.10), with each additional hectare of land cover change increasing runoff depth by 167.93 mm.

Keywords: Land cover, surface runoff, Ciliwung Hulu watershed, SCS-CN, remote sensing, linear regression.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN
TERHADAP LIMPASAN AIR PERMUKAAN DI
DAS CILIWUNG HULU

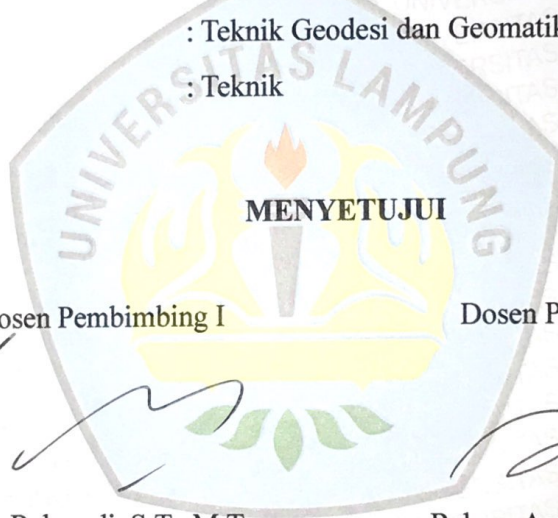
Nama Mahasiswa : Merian Junaedi Prayang

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115013071

Program Studi : S1 Teknik Geodesi

Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika

Fakultas : Teknik



Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Eko Rahmadi, S.T., M.T.
NIP. 197102102005011002

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

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Geodesi Dan Geomatika

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Eko Rahmadi, S.T., M.T.

Sekretaris

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

Penguji Utama Bukan Pembimbing

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

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Februari 2026

PERNYATAAN MAHASISWA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Air Permukaan di DAS Ciliwung Hulu” merupakan hasil karya original saya. Sepengetahuan saya, karya ini tidak memuat materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh pihak lain, kecuali apabila dinyatakan secara tertulis sebagai kutipan atau referensi yang tercantum dalam daftar pustaka sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran, tanpa adanya tekanan atau paksaan dari pihak manapun, serta saya bersedia bertanggung jawab atas segala konsekuensi apabila dikemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar.

Bandar Lampung, 23 Februari 2026



Merian Junaedi Prayang

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Merian Junaedi Prayang, dilahirkan di Bogor pada tanggal 8 Maret 2003 merupakan anak pertama dari pasangan suami istri yang bernama Bapak Junaedi dan Ibu Rahmawati. Jenjang akademis penulis dimulai dengan menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak – Kanak (TK) Anris Kota Bogor pada tahun 2009, Sekolah Dasar (SD) Negeri 07 Pagi Duren Sawit Jakarta Timur pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 195 Jakarta pada tahun 2018, Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 50 Jakarta pada tahun 2021. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana melalui tes SBMPTN dan diterima di Perguruan Tinggi Negeri pada tahun 2021 sebagai mahasiswi Program Studi S1 Teknik Geodesi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif menjadi anggota muda Himpunan Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Lampung periode 2022/2023. Penulis aktif menjadi Sekretaris Departemen di bidang Multimedia dan Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Lampung periode 2023/2024. Selain itu, penulis aktif menjadi Badan Pengurus Harian di bidang Media, Publikasi, dan Informasi Ikatan Mahasiswa Geodesi Indonesia periode 2024/2025. Pada Januari 2024 penulis mengikuti kegiatan Kemah Kerja (KK) dalam pembuatan “Peta Batas Dusun” yang bertempat di Dusun II Kediri, Kecamatan Gading Rejo, Kabupaten Pringsewu. Pada bulan Juni sampai Agustus penulis mengikuti program kampus Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode II tahun 2024 di Karya Makmur, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.

Kemudian, pada bulan Agustus sampai bulan November penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Kantor Pertanahan Kota Administrasi Jakarta Barat di Jalan

Kembangan Utama Komplek Permata Buana, Kecamatan Kembangan, Kota Jakarta Barat. Selama Kerja Praktik penulis melaksanakan pekerjaan mengenai “Pengukuran Bidang Tanah Pertama Kali, Pengolahan data, dan Validasi Pra Surat Ukur Elektronik”.

Pada bulan Agustus 2025 penulis memulai penelitian Skripsi dengan judul “Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Air Permukaan di DAS Ciliwung Hulu”. Dengan Dosen Pembimbing I Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T. dan Dosen Pembimbing II Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng

PERSEMBAHAN



Alhamdulillah Rabbil Aalamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, Shalawat serta salam tidak lupa tucurahkan kepada junjungan kita kepada Nabi Muhammad SAW. yang begitu banyak sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik.

Karya tulis sederhana ini, kupersembahkan untuk :

Bapak Junaedi dan Ibu Rahmawati selaku kedua orang tua saya yang telah merawat, membimbing, mencintai dengan tulus, memberikan semangat, motivasi, kehidupan yang sangat amat layak dan tidak lupa selalu mendoakan anaknya dimanapun.

Terimakasih selalu menemaniku setiap proses yang sudah dilalui.

Karya ini juga saya persembahkan kepada seluruh keluarga tercinta dan tersayang yaitu Adik Zara dan Adik Al yang selalu menjadi penyemangat, dukungan baik moral maupun material.

Semoga adik-adikku selalu diberikan rejeki yang berlimpah, sehat selalu dan dimudahkan segala urusannya.

Ucapan terimakasih kepada para Bapak/Ibu Dosen yang sudah membimbing penulis dari semester satu sampai sekarang, dan teman-teman angkatan 2021 yang telah menemani di perkuliahan sejak awal dan sampai saat ini.

MOTTO

”Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S. Al-Baqarah ayat 286)

“Hidup harus terukur, tapi mimpi tak boleh dibatasi.”
-Merian Junaedi Prayang-

“Nothing can dim the light which shines from within”
-Maya Angelou-

“The wound is the place where the Light enters you”
-Coleman Barks-

SANWACANA

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP LIMPASAN AIR PERMUKAAN DI DAS CILIWUNG HULU”** dengan baik. Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan skripsi bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.

Penyusunan skripsi ini berhasil berjalan dengan baik berkat peran serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan mengucapkan terima kasih yang ditujukan kepada :

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng., selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Program Studi S1 Teknik Geodesi serta Dosen Penguji yang berkenan memberikan untuk memberikan kritik dan saran pada skripsi ini.
4. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak arahan dan masukan dalam penyusunan Skripsi.
6. Ibu Rahma Anisa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak arahan dan masukan dalam penyusunan Skripsi.

7. Seluruh Dosen, Staff, serta Karyawan Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah membantu dan memberikan pengarahan dalam proses kepengurusan berkas perkuliahan.
8. Kepada Mamiku tercinta, Mami Rahma terima kasih yang tak terhingga karena selalu mengusahakan apapun yang penulis butuhkan selama penulis menjalani kehidupan di perantauan, selalu memastikan penulis menjalani kehidupan dengan baik walaupun terpisah dengan jarak, menjadi sumber inspirasi dalam hal kegigihan, kekuatan, keikhlasan, serta kesabaran
9. Kepada Ayahku tercinta, Ayah Junaedi terima kasih yang tak terhingga karena selalu memberikan semangat dan doa yang tidak pernah terputus, memberikan kasih sayang kepada penulis dan adik-adik penulis, serta selalu berusaha menjadi ayah yang baik.
10. Kedua adikku tersayang (Zara dan Al) yang selalu menjadi semangat penulis dalam mengerjakan skripsi ini, terima kasih karena selalu memberikan do'a, dukungan, dan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini.
11. Sahabat-sahabat "Bang Lam Family" (Widya, Ani, Bedil) terima kasih karena selalu memastikan penulis baik-baik saja, menemani penulis kemanapun, mendengarkan cerita dan keluh kesah, memberikan semangat serta dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
12. Sahabat-sahabat "Planning to Budi" (Leni, Yesa, Dinda, Chika, Citra, Audrey, Putri, Alifia) terima kasih karena selalu memberikan semangat, solusi, dukungan, mengisi kesepian dunia penulis, mendengarkan keluh kesah, dan menemani ketika suka maupun duka.
13. Teman dekat penulis (Fauzan) terima kasih telah memberikan semangat, dukungan, kekuatan, serta membantu dan menemani dari awal perkuliahan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
14. Sahabat-sahabat selama perkuliahan (Anis, Nisa, Ismi, Dekha) terima kasih telah membantu, menemani, memberikan semangat, dan kebersamaan penulis dalam keadaan apapun.
15. Teman-teman Teknik Geodesi dan Geomatika angkatan 2021 yang telah membantu serta memberikan motivasi, semangat, dan saran kepada penulis.

16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi semangat, dukungan dan bimbingan dalam membantu penyelesaian Skripsi ini.
17. Kepada diriku, Merian Junaedi Prayang terima kasih telah menyelesaikan tanggung jawab ini. Terima kasih karena selalu bangkit dari segala hal yang telah dilalui. Ini bukan merupakan langkah terakhir, melainkan awal dari perjalanan, tetap berjalan ya.

Semoga skripsi ini dapat menjadi sumber referensi yang bermanfaat untuk menambah pengetahuan bagi para pembaca. Penulis memohon maaf jika terdapat kesalahan atau kekurangan dalam pelaksanaan maupun penulisan skripsi ini. Demikian yang dapat penulis sampaikan, atas perhatian dan kontribusi dari semua pihak, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung,
Penulis

Merian Junaedi Prayang
2115013071

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Tutupan Lahan	10
2.3 Jenis Tanah	12
2.4 Infiltrasi Tanah	13
2.5 Daerah Aliran Sungai (DAS)	15
2.6 Limpasan Permukaan	16
2.7 Sistem Informasi Geografis	16
2.8 Penginderaan Jauh	17
2.8.1 Citra Satelit Landsat 8	18
2.8.2 Klasifikasi Terbimbing (<i>Supervised</i>).....	19
2.8.3 <i>Maximum Likelihood Classification</i>	19
2.9 <i>Soil Conservation Service Curve Number</i> (SCS-CN).....	20
2.10 Regresi Linier Sederhana	21
2.10.1 Uji F (Uji Simultan)	22
2.10.2 Uji T (Uji Parsial).....	22
2.11 Uji Akurasi	23
III. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Lokasi Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Data.....	25
3.2.1 Alat yang Digunakan	25
3.2.2 Data yang Digunakan.....	25
3.3 Diagram Alir	26
3.4 Tahap Persiapan	27
3.4.1 Studi Literatur	27
3.4.2 Pengumpulan Data	27

3.5 Tahap Pengolahan Data.....	28
3.5.1 Pengolahan Tutupan Lahan	28
3.5.2 Validasi Tutupan Lahan	31
3.5.3 Pengolahan Data Jenis Tanah	33
3.5.4 Pengolahan Data Curah Hujan	34
3.5.5 Pengolahan Limpasan Air Permukaan	34
3.6 Tahap Analisis	35
3.6.1 Analisis Regresi Linier	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Analisis Tutupan Lahan.....	37
4.1.1 Analisis Tutupan Lahan 2013	37
4.1.2 Analisis Tutupan Lahan 2023	48
4.1.3 Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2013 dan 2023	58
4.2 Analisis Klasifikasi Jenis Tanah.....	60
4.3 Analisis Curah Hujan	61
4.3.1 Analisis Curah Hujan 2013	61
4.3.2 Analisis Curah Hujan 2023	63
4.4 Analisis Limpasan Air Permukaan.....	64
4.4.1 Analisis Limpasan Air Permukaan 2013	65
4.4.2 Analisis Limpasan Permukaan 2023	66
4.4.3 Analisis Perbandingan Tinggi Limpasan Air Permukaan 2013 dan 2023	68
4.5 Analisis Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Air Limpasan.....	69
V. PENUTUP.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN A	84
LAMPIRAN B	104
LAMPIRAN C	124

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu.....	7
2. Klasifikasi Tutupan Lahan	11
3. Kelompok Hydrologic Soil Group (HSG)	13
4. Klasifikasi Jenis Tanah.....	13
5. Klasifikasi Curah Hujan.....	15
6. Klasifikasi Limpasan Air Permukaan.....	16
7. Nilai CN	20
8. Data Penelitian	25
9. Klasifikasi dan Luasan Peta Tutupan Lahan DAS Ciliwung Hulu 2013	38
10. Validasi Sampel Hutan 2013	39
11. Validasi Sampel Kawasan Industri 2013	40
12. Validasi Sampel Lahan Pertanian 2013	41
13. Validasi Sampel Lahan Pertanian Tertutup Tanaman	42
14. Validasi Sampel Lahan Terbuka 2013	43
15. Validasi Sampel Padang Rumput 2013	43
16. Validasi Sampel Perumahan 2013	44
17. Validasi Sampel Tubuh Perairan 2013	45
18. Tabel Akurasi Peta Tutupan Lahan 2013.....	46
19. Klasifikasi dan Luasan Peta Tutupan Lahan DAS Ciliwung Hulu 2023	48
20. Validasi Sampel Hutan 2023	49
21. Validasi Sampel Kawasan Industri 2023	50
22. Validasi Sampel Lahan Pertanian 2023	51
23. Validasi Sampel Lahan Pertanian Tertutup Tanaman	52
24. Validasi Sampel Lahan Terbuka 2023	53
25. Validasi Sampel Padang Rumput 2023	54
26. Validasi Sampel Perumahan 2023	54

27. Validasi Sampel Tubuh Perairan 2023	55
28. Tabel Akurasi Peta Tutupan Lahan 2023.....	56
29. Perubahan Luas Tutupan Lahan dari Tahun 2013 dan 2023	59
30. Klasifikasi daan Luasan Peta Jenis Tanah.....	61
31. Klasifikasi dan Luasan Peta Curah Hujan 2013.....	62
32. Klasifikasi dan Luasan Peta Curah Hujan 2023.....	64
33. Klasifikasi dan Luasan Peta Limpasan Permukaan 2013	66
34. Klasifikasi dan Luasan Peta Limpasan Permukaan 2023	67
35. Perbandingan Tinggi Limpasan Air Permukaan 2013 dan 2023.....	68
36. Perubahan Tutupan Lahan dan Limpasan Air Permukaan	70
37. Model Summary.....	70
38. Pengujian Pengaruh Perubahan Tutupan Terhadap Limpasan Air Permukaan	72
39. Pengujian Signifikansi Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Air Permukaan.....	73
40. Validasi Sampel Hutan 2013	85
41. Validasi Sampel Kawasan Industri 2013.....	87
42. Validasi Sampel Lahan Pertanian 2013.....	89
43. Validasi Sampel Lahan Pertanian Tertutup Tanaman 2013.....	92
44. Validasi Sampel Lahan Terbuka 2013	94
45. Validasi Sampel Padang Rumput 2013	96
46. Validasi Sampel Perumahan 2013	98
47. Validasi Sampel Tubuh Perairan 2013	101
48. Validasi Sampel Hutan 2023	105
49. Validasi Sampel Kawasan Industri 2023.....	107
50. Validasi Sampel Lahan Pertanian 2023.....	109
51. Validasi Sampel Lahan Pertanian Tertutup Tanaman 2023.....	112
52. Validasi Sampel Lahan Terbuka 2023	114
53. Validasi Sampel Padang Rumput 2023	116
54. Validasi Sampel Perumahan 2023	118
55. Validasi Sampel Tubuh Perairan 2023	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Hidrologi	14
2. Lokasi Penelitian.....	24
3. Diagram Alir Penelitian.....	26
4. Proses Klasifikasi <i>Maximum Likelihood Classification</i>	29
5. Proses Koreksi Kelas Tutupan Lahan di <i>Google Earth</i>	30
6. Proses <i>Merge</i>	31
7. Titik Sampel pada <i>Software GIS</i>	32
8. Titik Sampel pada <i>Google Earth Pro</i>	32
9. Proses <i>Projection and Transformation</i>	33
10. Proses IDW	34
11. Proses <i>Intersect</i>	35
12. Peta Tutupan Lahan DAS Ciliwung Hulu 2013	38
13. Peta Tutupan Lahan DAS Ciliwung Hulu 2023	48
14. Peta Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2013 dan 2023	58
15. Peta Jenis Tanah	60
16. Peta Curah Hujan DAS Ciliwung Hulu 2013	62
17. Peta Curah Hujan DAS Ciliwung Hulu 2023	63
18. Peta Limpasan Air Permukaan DAS Ciliwung Hulu 2013	65
19. Peta Limpasan Air Permukaan DAS Ciliwung Hulu 2023	67
20. Diagram Batang Perubahan Tinggi Limpasan Air Permukaan	69

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah populasi penduduk terbesar dengan kekayaan sumber daya alamnya. Jumlah populasi penduduk yang terus meningkat merupakan salah satu faktor utama yang mendorong perubahan tutupan lahan di berbagai wilayah. Konversi lahan pertanian menjadi lahan permukiman yang terjadi mengakibatkan hilangnya vegetasi yang berfungsi sebagai daerah resapan air. Ketika tutupan hijau berkurang drastis, kapasitas infiltrasi lahan turun dan air hujan lebih banyak mengalir di permukaan (*runoff*) menuju sungai dalam waktu singkat, hal tersebut dapat meningkatkan limpasan permukaan. Perubahan tutupan lahan ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem hidrologi khususnya pada Daerah Aliran Sungai (DAS) serta berdampak langsung pada fungsi hidrologis sungai (Suryatmojo, 2025).

Tutupan lahan adalah kondisi fisik permukaan bumi yang mencakup berbagai jenis penggunaan lahan, seperti hutan, lahan pertanian, dan permukiman. Perubahan tutupan lahan, terutama pengurangan area hijau, dapat mengakibatkan dampak negatif yang signifikan, seperti peningkatan limpasan permukaan, penurunan kualitas air, dan peningkatan risiko bencana alam seperti banjir dan tanah longsor. Hilangnya vegetasi juga berdampak pada keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem, yang penting untuk menjaga keseimbangan lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan tutupan lahan yang berkelanjutan sangat penting untuk meminimalkan dampak negatif terhadap DAS dan ekosistem sekitarnya. Ekosistem DAS di bagian hulu berfungsi sebagai area tangkapan air (*recharge area*) yang melindungi wilayah di bawahnya. Karena peranannya yang penting dalam melindungi kawasan hilir dari ekosistem DAS, mempertahankan tutupan lahan berupa vegetasi hutan menjadi sangat penting (Ridwan dan Sarjito, 2024).

Saat ini DAS Ciliwung merupakan salah satu DAS dengan kondisi kritis akibat degradasi lingkungan dan perubahan tata guna lahan yang masif (Yanuar H, 2025). DAS Ciliwung dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian hulu, tengah, dan hilir. Sebagai suatu ekosistem DAS, perubahan bagian DAS akan mempengaruhi seluruh bagian lainnya (Ruspendi dkk., 2013a). Kejadian banjir pada daerah hilir tidak bisa dilepaskan dari curah hujan pada daerah hulunya (BPDAS Citarum Ciliwung 2003). Kawasan DAS Ciliwung Hulu berfungsi sebagai daerah pelindung dan penyangga wilayah DAS, oleh karena itu jika terjadi perubahan pada salah satu komponennya maka akan berdampak pada seluruh bagian DAS, saat ini telah terjadi banyak penyalahgunaan lahan di daerah DAS Ciliwung Hulu sehingga mengakibatkan banjir pada bagian tengah maupun hilirnya (Hamdan, 2020).

Penggunaan lahan di DAS Ciliwung telah berubah drastis dalam beberapa dekade terakhir, ditandai alih fungsi lahan hijau menjadi permukiman, pertanian, dan kawasan wisata terutama di bagian hulu. Puncak sebagai daerah tangkapan air utama awalnya didominasi hutan konservasi dan perkebunan teh, namun kini banyak dibuka untuk *villa*, *resort*, dan objek wisata komersial. Berdasarkan BPDAS Citarum Ciliwung (2011) penguasaan lahan di DAS Ciliwung Hulu sebagian besar sudah dimiliki oleh orang diluar kawasan penelitian. Lahan-lahan milik ini banyak berubah menjadi lahan terbangun jika terdapat akses jalan terhadap lahan tersebut. Akses jalan menjadi faktor dalam konversi lahan pada lahan milik. Lahan dalam bentuk hak guna usaha digunakan sebagai kebun teh (PT Gunung Mas dan PT Ciliwung). Lahan milik umumnya digunakan untuk lahan pertanian, pemukiman, tempat peristirahatan, lahan komersil dan tempat rekreasi (Ruspendi dkk., 2013).

Studi menunjukkan bahwa antara 1990 hingga 2010 terjadi lonjakan area terbangun di hulu DAS Ciliwung sebesar 245% dari sekitar 883 ha menjadi 2.170 ha. Akibatnya, luas ruang hijau terus menyusut: pada tahun 1990 hutan primer dan sekunder masih cukup luas, namun kini tersisa <10% dari DAS (Suryatmojo, 2025). Penelitian yang telah dilakukan oleh Dedi Ruspendi, Setia Hadi, dan Omo Rusdiana., 2013 dengan hasil analisis citra landsat menunjukkan bahwa pertanian lahan kering merupakan lahan yang banyak mengalami pengurangan, yaitu sebesar 9% dari luas 5303 ha pada tahun 1999 menjadi 4115 ha pada tahun 2010.

Perubahan kawasan konservasi seperti hutan dan vegetasi di DAS Ciliwung Hulu berdampak langsung pada fungsi hidrologis sungai. Ketika lahan bervegetasi yang berfungsi sebagai penyerap air berkurang drastis, kapasitas infiltrasi lahan turun dan air hujan lebih banyak mengalir di permukaan atau yang biasa disebut limpasan permukaan (*runoff*). Berkurangnya kawasan resapan air akan berdampak pada air limpasan permukaan yang semakin besar. Limpasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dalam siklus hidrologi. Presipitasi yang terjadi sebagian akan terintersepsi, terinfiltrasi ke dalam tanah untuk menjadi bagian dari air tanah (groundwater) sedangkan yang tidak terinfiltrasi akan menjadi limpasan (*runoff*) yang selanjutnya akan mengalir ke outlet atau badan air terdekat. Besarnya limpasan tergantung pada kondisi lahan dan jenis tanah pada suatu DAS (Kurnia Hidayat dkk., 2021).

Kondisi tersebut dapat berpotensi munculnya banyak genangan air dan banjir di kawasan setempat ataupun di kawasan lain di luar kawasan penyangga (Aziz dkk., 2023). Oleh karena itu, identifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Ciliwung Hulu sangat penting untuk pemahaman dan pengelolaan yang berkelanjutan. Melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat menganalisis citra satelit dari waktu ke waktu, perubahan tutupan lahan dapat dianalisis serta apa dampak yang akan terjadi (Manakane dkk., 2023). Karakteristik tutupan lahan memiliki pengaruh langsung terhadap besarnya koefisien limpasan (Amaru dkk., 2020).

SIG menawarkan pendekatan spasial untuk menganalisis potensi limpasan permukaan di DAS Ciliwung Hulu melalui metode SCS-SSC (*Soil Conservation Service-Curve Number*) yang mengintegrasikan data jenis hidrologi tanah, tutupan lahan, dan kondisi hidrologi permukaan secara spasial (Trifena dan Prabowo, 2020). Pendekatan ini memungkinkan pemetaan distribusi nilai CN, identifikasi zona kritis dengan potensi *runoff* tinggi, dan analisis temporal perubahan karakteristik hidrologi akibat transformasi tutupan lahan untuk mendukung pengelolaan DAS yang berkelanjutan (Maruddani dkk., 2024).

Penelitian mengenai analisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi limpasan permukaan pernah dilakukan oleh Fadhlurrahman Salimin, hasil penelitian diketahui tutupan lahan DAS Bila mengalami perubahan tertinggi pada pertanian lahan kering seluas 520,99 ha. Adapun koefisien limpasan permukaan DAS Bila pada tahun 2016 dikategorikan baik dan pada tahun 2021 dikategorikan sedang (Salimin, 2023). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (Callista Fabiola Candraningtyas dkk., 2023) menghasilkan perubahan penggunaan lahan di sekitar Waduk Gajah Mungkur dan Sukoharjo selama periode 2007 – 2022 menjadi wilayah pemukiman sehingga berdampak langsung terhadap penyumbatan aliran dan minimnya ruang tampungan air.

Dengan adanya penelitian terdahulu, penulis melaksanakan penelitian dengan memanfaatkan kombinasi dari teknologi SIG dan penginderaan jauh untuk menganalisis perubahan tutupan lahan terhadap potensi limpasan permukaan di DAS Ciliwung Hulu periode 2013-2023. Penelitian ini mengintegrasikan analisis multi-temporal tutupan lahan, karakteristik jenis tanah, dan estimasi koefisien limpasan permukaan secara spasial. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir yang lebih akurat, perencanaan tata ruang yang berbasis risiko, dan mitigasi bencana yang lebih efektif.

1.2 Rumusan Masalah

DAS Ciliwung Hulu sebagai kawasan penyangga dan daerah tangkapan air mengalami tekanan ekologis akibat konversi hutan menjadi kawasan permukiman, industri, dan lahan pertanian (Hamdan, 2020). Berkurangnya tutupan vegetasi menyebabkan penurunan kapasitas infiltrasi tanah, sehingga air hujan lebih banyak mengalir sebagai limpasan permukaan menuju wilayah hilir. Kondisi ini diperparah dengan karakteristik jenis tanah yang beragam dengan kemampuan infiltrasi berbeda, sehingga berpengaruh terhadap besaran limpasan yang dihasilkan. Meningkatnya limpasan permukaan tidak hanya mengancam fungsi ekologis DAS, tetapi juga meningkatkan risiko banjir di kawasan hilir.

Berdasarkan permasalahan tersebut, terdapat beberapa pertanyaan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana perubahan tutupan lahan tahun 2013 dan 2023, distribusi curah hujan dan jenis tanah di DAS Ciliwung Hulu?
2. Bagaimana tinggi limpasan air permukaan berdasarkan kombinasi tutupan lahan, curah hujan, dan jenis tanah di DAS Ciliwung Hulu?
3. Bagaimana pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perubahan tutupan lahan tahun 2013 dan 2023, distribusi curah hujan dan jenis tanah di DAS Ciliwung Hulu
2. Mengestimasi tinggi limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu.
3. Mengetahui hubungan perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai dasar teknis bagi Pemerintah Daerah dalam mengendalikan pembangunan di DAS Ciliwung Hulu untuk menekan resiko banjir di wilayah hilir.
2. Peta limpasan air permukaan dapat digunakan oleh BPDAS dan KLHK untuk mengidentifikasi zona kritis yang membutuhkan konservasi hutan dan rehabilitasi lahan secara prioritas.
3. Informasi spasial hubungan curah hujan, tutupan lahan, dan limpasan air permukaan mendukung BNPB, BPBD, BMKG dalam meningkatkan akurasi pemetaan resiko serta sistem peringatan dini banjir.
4. Meningkatkan pemahaman masyarakat atau pembaca mengenai dampak perubahan tutupan lahan terhadap limpasan permukaan dan risiko banjir.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu dengan periode analisis tahun 2013 dan 2023.
2. Data yang digunakan meliputi citra satelit Landsat 8 OLI-TIRS tahun 2013 dan 2023 dari *United States Geological Survey* (USGS), batas DAS Ciliwung Hulu dan peta jenis tanah dari Ina Geoportal, serta data curah hujan dari *Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS).
3. Metode klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* dengan validasi hasil klasifikasi melalui uji akurasi *Confusion Matrix* (*Overall Accuracy* dan *Kappa Coefficient*) menggunakan citra *Google Earth*.
4. Metode estimasi limpasan permukaan menggunakan *metode Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN) yang mengintegrasikan parameter tutupan lahan, jenis tanah, dan curah hujan.
5. Analisis hubungan perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan dilakukan menggunakan analisis regresi linier sederhana.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

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

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1.	Setiawan dkk., 2020	Analisis Penyebab Banjir di Samarinda	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif.	Permasalahan banjir di Kota Samarinda terjadi akibat berlebihnya limpasan permukaan dan tidak tertampungnya limpasan tersebut dalam badan sungai sehingga air meluap.
2.	Salimin, 2023	Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Menggunakan Model <i>Soil And Water Assessment Tool</i> Di Daerah Aliran Sungai Bila	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model <i>Soil and Water Assessment Tool</i> (SWAT).	Tutupan lahan DAS Bila mengalami perubahan tertinggi pada pertanian lahan kering seluas 520,99 ha. Adapun koefisien limpasan permukaan DAS Bila pada tahun 2016 dikategorikan baik dan pada tahun 2021 dikategorikan sedang.
3.	Callista Fabiola Candraningtyas dkk., 2023	Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Terhadap	Metode yang digunakan dalam penelitian ini	Perubahan penggunaan lahan di sekitar Waduk Gajah Mungkur dan Sukoharjo selama periode 2007 – 2022 menjadi wilayah

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
		Fungsi Pengendalian Banjir Surakarta 2023	adalah metode kuantitatif.	pemukiman sehingga berdampak langsung terhadap penyumbatan aliran dan minimnya ruang tampungan air.
4.	Shanquro Jauhari dkk., 2024	Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citeureup Menggunakan <i>Supervised Classification</i> dan Validasi Citra Google Earth	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah <i>Supervised Classification</i> .	Peningkatan luas pemukiman dan area industri sebesar 6,42%. Perubahan penggunaan lahan mendorong pertumbuhan ekonomi dan, mengurangi daerah resapan air, meningkatkan risiko banjir dan longsor serta mengancam ketersediaan air tanah.
5.	Merian Junaedi Prayang, 2025	Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Air Permukaan di DAS Ciliwung Hulu	Metode yang digunakan dalam penelitian ini Adalah <i>Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)</i> .	Hasil penelitian menunjukkan Analisis limpasan permukaan menunjukkan peningkatan area dengan limpasan tinggi dari 1.088 ha (7%) menjadi 2.342 ha (15%) dan limpasan sangat tinggi dari 689 ha (5%) menjadi 880 ha (6%). Uji akurasi klasifikasi tutupan lahan menghasilkan <i>Overall Accuracy</i> 91% (2013) dan 93% (2023) dengan <i>Kappa Coefficient</i> 90% dan 91%.

Penelitian mengenai pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan permukaan telah banyak dilakukan di berbagai daerah aliran sungai di Indonesia. Perubahan fungsi lahan, khususnya dari vegetasi alami menjadi kawasan terbangun, diketahui berpengaruh terhadap peningkatan limpasan dan potensi banjir.

Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan dkk. (2020) mengenai analisis penyebab banjir di Kota Samarinda bertujuan untuk mengidentifikasi faktor utama terjadinya genangan perkotaan. Metode yang digunakan adalah analisis hidrologi dengan pendekatan limpasan permukaan dan evaluasi kapasitas drainase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan luas kawasan terbangun menyebabkan berkurangnya daya infiltrasi tanah sehingga tinggi limpasan meningkat secara signifikan. Penelitian ini menegaskan bahwa perubahan tata guna lahan memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan debit puncak saat hujan ekstrem. Namun demikian, penelitian tersebut belum mengintegrasikan analisis spasial multi-temporal berbasis Sistem Informasi Geografis untuk mengukur perubahan tutupan lahan secara kuantitatif.

Selanjutnya, penelitian oleh Salimin (2023) di DAS Bila menggunakan model hidrologi berbasis *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) untuk menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap limpasan. Penelitian ini memanfaatkan data curah hujan, jenis tanah, dan tutupan lahan sebagai parameter utama dalam simulasi model. Hasilnya menunjukkan bahwa konversi lahan pertanian dan vegetasi menjadi lahan terbuka dan permukiman meningkatkan nilai limpasan tahunan secara signifikan. Meskipun model SWAT mampu mensimulasikan proses hidrologi secara komprehensif, pendekatan tersebut memerlukan parameter yang kompleks dan proses kalibrasi yang cukup panjang.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Callista Fabiola Candraningtyas dkk. (2023) pada DAS Bengawan Solo mengkaji hubungan antara urbanisasi dan peningkatan risiko banjir di wilayah hilir. Metode yang digunakan adalah analisis perubahan tutupan lahan berbasis citra satelit dan evaluasi kapasitas tampung sungai. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan luas kawasan terbangun yang berdampak pada menurunnya fungsi daerah resapan air. Penelitian ini menekankan pentingnya pengendalian pemanfaatan ruang dalam pengelolaan DAS, namun belum menghitung besaran limpasan secara numerik menggunakan pendekatan hidrologi tertentu.

Selain itu, penelitian oleh Shanquro Jauhari dkk. (2024) di DAS Citeureup menggunakan metode klasifikasi citra secara *supervised classification* untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan. Validasi dilakukan menggunakan citra resolusi tinggi dari *Google Earth*. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan luas permukiman dan kawasan industri yang berdampak pada penurunan luas vegetasi. Meskipun penelitian ini kuat dalam analisis perubahan spasial, keterkaitannya dengan peningkatan limpasan permukaan belum dianalisis secara kuantitatif.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa perubahan tutupan lahan terbukti berpengaruh terhadap peningkatan limpasan permukaan dan risiko banjir. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada identifikasi perubahan spasial atau simulasi hidrologi kompleks tanpa mengintegrasikan analisis kuantitatif limpasan berbasis metode sederhana namun aplikatif.

Penelitian ini berbeda karena secara khusus menganalisis perubahan tutupan lahan periode 2013 dan 2023 di DAS Ciliwung Hulu dan menghitung tinggi limpasan permukaan menggunakan metode *Soil Conservation Service Curve Number* berbasis Sistem Informasi Geografis. Selain itu, penelitian ini juga menguji hubungan statistik antara perubahan tutupan lahan dan limpasan menggunakan regresi linier sederhana untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruhnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi perubahan spasial, tetapi juga mengukur dampak hidrologisnya secara kuantitatif dan statistik sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang berbasis risiko.

2.2 Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan kondisi fisik permukaan tanah pada suatu wilayah tertentu yang mencakup jenis penggunaan lahan, seperti lahan pertanian, hutan, kota, padang rumput, sungai, dan lain sebagainya. Latue, 2023 mendefinisikan tutupan lahan (*land cover*) adalah perwujudan fisik dari vegetasi, benda alami, dan unsur – unsur budaya yang ada di permukaan bumi tanpa mempermasalahkan kegiatan manusia pada objek tersebut.

Tutupan lahan mengandung informasi – informasi yang mendasar dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan alam seperti pemodelan iklim dan hidrologi, perlindungan lingkungan, konservasi keanekaragaman hayati, studi siklus biogeokimia serta manajemen sumber daya (Sukmono dan Hadi, 2021). Dengan memahami tutupan lahan, kita dapat memahami pola dan tren penggunaan lahan dan dampaknya pada ekosistem, iklim, dan manusia (Talukdar dkk., 2020).

Perubahan tutupan lahan adalah bertambahnya suatu tutupan lahan dari satu tutupan ke tutupan lainnya diikuti dengan berkurangnya tipe tutupan lahan yang lain dari waktu ke waktu, atau berubahnya fungsi suatu lahan pada kurun waktu yang berbeda (Firmansyah dkk., 2020). Perubahan lahan dapat terjadi karena adanya aktivitas yang dilakukan pada lahan tersebut. Perubahan penutupan lahan dapat dilihat dari analisis citra penginderaan jauh, berikut klasifikasi tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tutupan Lahan

No.	Klasifikasi	Tutupan Lahan
1.	Hutan	Hutan lahan rendah/tinggi primer, hutan sekunder kerapatan sedang-tinggi, hutan jati, hutan sagu, hutan tanaman industri, hutan akasia, mahoni, pinus, sengon, hutan kota
2.	Kawasan Industri	Area parkir, lapangan, bangunan industri/perdagangan/perkantoran, dermaga, jaringan jalan aspal/beton, landas pacu, pelabuhan, stasiun, terminal/bandara
3.	Lahan Pertanian	Sawah, ladang/tegalan dengan palawija, lahan pertanian hortikultura, perkebunan tebu, tanaman budidaya lain, tanaman semusim lahan kering
4.	Lahan Pertanian Tertutup Tanaman	Kebun buah, kebun campuran, perkebunan kakao/kelapa/kelapa sawit/kopi/teh/salak, herba, hutan kayu putih, perkebunan tanaman semusim, perladangan berpindah
5.	Lahan Terbuka	Hamparan batuan/pasir/lahar/lava, pasir pantai, penambangan terbuka, penggalian sirtu, lapangan diperkeras, permukaan diperkeras, rata-rata lumpur, stadion, tempat pembuangan sampah

6.	Padang Rumput	Padang rumput, padang alang-alang, padang golf, padang rumput peternakan ekstensif, sabana, semak, semak belukar
7.	Perumahan	Bangunan permukiman desa, bangunan permukiman kota, pekarangan, vegetasi herba lain
8.	Tubuh Perairan	Danau, embung, sungai, waduk, rawa, tambak, kolam ikan, perairan laut, saluran air, tampungan air

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, 2021)

2.3 Jenis Tanah

Peralihan fungsi menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah dalam meresap air hujan, dikarenakan pengalihan lahan, penggunaan lahan yang salah dan pemadatan tanah oleh alat-alat berat yang mengakibatkan terganggunya laju infiltrasi pada tanah. Tanah yang mempunyai laju infiltrasi yang buruk akan menimbulkan limpasan permukaan meski dengan curah hujan yang cukup rendah (Yasa Ardiansyahd kk., 2017). Penentuan CN memerlukan ketersediaan peta *Hydrologic Soil Group* (HSG) yang pada kenyataannya harus dibuat melalui peta lain yang mengandung parameter yang dibutuhkan oleh HSG.

Kelompok Hidrologi Tanah (HSG) merupakan pengelompokan tanah berdasarkan kemampuan infiltrasi dan karakteristik hidrologinya yang memengaruhi besarnya limpasan permukaan. HSG dibagi menjadi empat kelas, yaitu HSG A dengan kemampuan infiltrasi sangat tinggi dan potensi limpasan sangat rendah, HSG B dengan infiltrasi sedang dan limpasan rendah, HSG C dengan infiltrasi rendah dan limpasan sedang hingga tinggi, serta HSG D dengan infiltrasi sangat rendah akibat tekstur liat berat, drainase buruk, atau kondisi tanah jenuh air sehingga menghasilkan limpasan permukaan sangat tinggi. Klasifikasi HSG ini digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam penentuan nilai *Curve Number* (CN) pada metode *Soil Conservation Service–Curve Number* (SCS–CN) untuk analisis limpasan permukaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelompok *Hydrologic Soil Group* (HSG)

No.	HSG	Tekstur Tanah
1.	A	Pasir, pasir bertanah liat, atau tanah liat berpasir.
2.	B	Tanah liat atau tanah liat berlanau.
3.	C	Campuran tanah liat dan lempung berpasir.
4.	D	Tanah liat berlempung, campuran tanah liat dan lempung berlanau, lempung berpasir, lempung berlanau, atau lempung.

Sumber: (Ramadan dkk., 2017)

Di Indonesia NRCS-CN sendiri memiliki kekurangan karena belum memiliki peta *Hydrologic Soil Group* (HSG). Untuk itu dalam penelitian ini penentuan NRCS-CN diambil informasinya dari beberapa peta yang diperlukan seperti peta tataguna lahan, peta topografi, dan peta tanah yang tersedia seperti peta tanah dari *Harmonized World Soil Database* (HWSD). Dalam pembuatan peta limpasan air permukaan dengan cara melakukan *overlay* pada setiap parameter limpasan air permukaan, berikut klasifikasi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Jenis Tanah

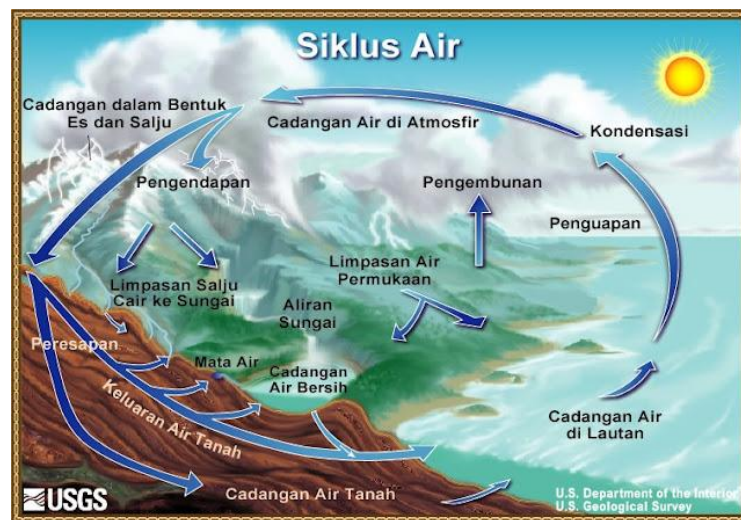
No.	Klasifikasi	Deksripsi	Soil Code
1.	Andosols, Regosols, Humic Andosols	Agak kasar, kasar.	A
2.	Cambisols, Ochric Andosols	Agak kasar/batu, agak halus, kasar/agak halus.	B
3.	Fluvisols, Orthic Acrisols, Nitisols	Agak halus/batu, agak halus/halus, cukup/halus.	C
4.	Vertisols, Gleysols, Thionic Fluvisols, Histosols, Orthic Acrisols	Gambut, gambut/halus, halus.	D

Sumber : (Daru Kartikawati dkk., 2018)

2.4 Infiltrasi Tanah

Dalam siklus hidrologi terdapat beberapa proses yang akan selalu berulang mulai dari proses menguapnya butiran air ke udara karena adanya radiasi matahari (evaporasi), proses pengembunan (kondensasi), proses jatuhnya hujan (presipitasi) yang kemudian sebagian terinfiltrasi dan sebagian menjadi aliran permukaan (*runoff*) hingga akhirnya mengalir kembali ke laut.

Air permukaan akan mengalir melalui sungai menjadi debit sungai (*stream flow*) dan sebagian masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan sebagian lagi mengalir melalui aliran air tanah (Eko Aryanto & Hardiman, 2017). Keseluruhan proses tersebut diatas dikenal sebagai siklus hidrologi, sebagaimana tersaji pada gambar 1.



Gambar 1. Siklus Hidrologi
Sumber: (USGS, 2025)

Proses masuknya air ke dalam tanah sebagai akibat adanya pengaruh gaya gravitasi dan gaya kapiler serta menjadi salah satu konsep dalam hidrologi yang seringkali dihubungkan dengan pengurangan limpasan di permukaan lahan dengan mempertimbangkan pengaruhnya terhadap waktu konsentrasi banjir. Dalam proses infiltrasi terdapat dua istilah yaitu laju infiltrasi yang biasa diartikan sebagai total air yang masuk ke dalam tanah dalam periode waktu yang spesifik dan kapasitas infiltrasi yang biasa diartikan sebagai batas kecepatan maksimum air dapat meresap ke dalam tanah setelah tanah mencapai kondisi jenuhnya (Firminda dkk., 2022).

Ketika intensitas curah hujan melebihi laju infiltrasi tanah, maka air yang tidak dapat diserap akan menjadi limpasan permukaan yang berpotensi menimbulkan banjir. Sebaliknya, pada tanah dengan laju infiltrasi tinggi, sebagian besar air hujan akan meresap sehingga limpasan yang dihasilkan relatif kecil. Oleh karena itu, besarnya curah hujan menjadi faktor kunci dalam menentukan volume limpasan di suatu DAS. Klasifikasi curah hujan tercantum dalam tabel 5 berikut.

Tabel 5. Klasifikasi Curah Hujan

No.	Curah Hujan (mm/tahun)	Deskripsi
1.	> 2.500 mm/tahun	Sangat Lebat
2.	2.000 – 2.500 mm/tahun	Lebat
3.	1.500 – 2.000 mm/tahun	Sedang
4.	1.000 – 1.500 mm/tahun	Ringan

Sumber: (Damar Pandulu, 2016)

2.5 Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS secara umum didefinisikan sebagai suatu hamparan wilayah/kawasan yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit) yang menerima, mengumpulkan air hujan, sedimen dan unsur hara serta mengalirkannya melalui anak-anak sungai dan keluar pada sungai utama ke laut atau danau (Sari, 2012). Definisi DAS, ialah daratan yang dikelilingi oleh pegunungan di atas dataran yang menampung dan menyimpan air hujan kemudian dialirkan ke laut melalui sungai-sungai besar. Wilayah daratan disebut *water catchment area* (DTA) atau daerah tangkapan air, yaitu suatu ekosistem yang unsur utamanya meliputi sumber daya alam (tanah, air, dan tumbuh-tumbuhan), dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumber daya alam.

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah wilayah lingkungan dengan ciri dan struktur yang lengkap, termasuk kapasitas hidrologi saluran air dan pengumpulan, yang berfungsi sebagai penerima manfaat, otoritas dan penyimpan air hujan dan sumber yang berbeda. Aliran, yang merupakan bagian utama dari suatu DAS, dicirikan sebagai ukuran aliran air di sepanjang jalan dari darat ke laut, jadi jalur air adalah cara di mana air dari hulu bertemu dengan satu jalur (misalnya hilir atau muara). dari beberapa siklus, khususnya penghilangan udara, penumpukan dan presipitasi (Haslam 1992; Arini 2005). Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki beberapa kualitas yang dapat menggambarkan kondisi eksplisit mulai dari satu DAS kemudian ke DAS berikutnya.

2.6 Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan adalah bagian limpasan yang melintas diatas permukaan tanah menuju saluran sungai (Asri, 2022). Durasi hujan, intensitas, dan distribusi hujan berpengaruh terhadap laju dan volume limpasan permukaan. Total limpasan dari suatu hujan memiliki hubungan langsung dengan durasi hujan pada intensitas tertentu. Limpasan permukaan (*runoff*) mempunyai kemampuan untuk memindahkan atau mengangkut partikel – partikel tanah yang telah dilepaskan dari agregatnya. Limpasan permukaan bergantung terhadap jumlah curah hujan, kemiringan lereng dan struktur tanah (Amaru dkk., 2020).

Pada hujan dengan intensitas tinggi, total volume limpasan permukaan akan lebih besar dibandingkan dengan hujan yang memiliki intensitas rendah, meskipun total curah hujan yang diterima adalah sama. Limpasan permukaan terjadi ketika intensitas curah hujan melebihi laju infiltrasi tanah, sehingga kelebihan air mengalir di atas permukaan tanah. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti karakteristik tanah, topografi, dan tutupan lahan. Pemahaman mekanisme pembentukan limpasan permukaan sangat penting untuk prediksi banjir dan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan (Lange dan Sippel, 2020). Dalam hasil pembuatan peta limpasan air permukaan diklasifikasikan seperti Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Klasifikasi Tinggi Limpasan Air Permukaan

No.	Klasifikasi	Deksripsi
1.	Sangat Rendah	<2.5 cm
2.	Rendah	2.5 – 5 cm
3.	Sedang	5.1 – 10 cm
4.	Tinggi	10.1 – 15 cm

Sumber: (Muchtar dkk., 2024)

2.7 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem perangkat lunak komputer, perangkat keras dan data yang memungkinkan untuk memasukkan, memanipulasi, menganalisis, dan menyajikan data serta informasi yang terkait dengan lokasi di

permukaan bumi (Ali, 2020). SIG adalah suatu sistem yang dirancang untuk mengelola data yang memiliki referensi spasial seperti koordinat geografis.

Teknologi ini berfungsi sebagai *platform* digital yang memfasilitasi pengolahan informasi spasial yang berkorelasi dengan lokasi – lokasi tertentu di permukaan bumi (Mukhlis, 2023). SIG memiliki berbagai fungsi, seperti pemetaan, analisis spasial, dan pengolahan data. SIG dapat digunakan dalam berbagai bidang, termasuk perencanaan tata ruang, manajemen sumber daya alam, dan mitigasi bencana. Aplikasi SIG dalam perencanaan untuk menganalisis pola penggunaan lahan dan dampaknya terhadap lingkungan. Unsur-unsur SIG yang menguntungkan, misalnya,

1. Informasi dan data yang diperoleh dapat dimanfaatkan sejauh jumlah kualitasnya
2. GIS berubah menjadi penasihat elektronik yang ahli, teguh dan berkomitmen.
3. Pemeriksaan yang terkoordinasi, teratur dan dinamis terlebih lagi, pengambilan keputusan harus bisa dilakukan dengan cepat.

2.8 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh dianggap sebagai ilmu dan teknologi yang melibatkan pengguna sensor dan alat yang tidak berada dalam kontak fisik dengan objek atau daerah yang diamati untuk mengumpulkan data dan informasi tentang mereka. Dalam penginderaan jauh, data tersebut dianalisis dan diinterpretasikan untuk memahami dan memetakan karakteristik fisik, komposisi, dan perubahan yang terjadi pada objek atau daerah yang diamati (Manakane dkk., 2023). Selain itu penginderaan jauh juga didefinisikan sebagai ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dari perangkat yang tidak bersentuhan langsung dengan objek yang dikaji. Teknologi ini memanfaatkan sensor untuk mendeteksi dan merekam radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi.

Secara umum, penginderaan jauh dianggap sebagai ilmu dan teknologi yang melibatkan penggunaan sensor dan alat yang tidak berada dalam kontak fisik dengan objek atau daerah yang diamati untuk mengumpulkan data dan informasi tentang mereka. Dalam penginderaan jauh, data tersebut dianalisis dan diinterpretasikan untuk memahami dan memetakan karakteristik fisik, komposisi, dan perubahan yang terjadi pada objek atau daerah yang diamati (Manakane dkk., 2023).

2.8.1 Citra Satelit Landsat 8

Penginderaan jauh merupakan ilmu serta seni memperoleh informasi sebuah objek, menganalisis data tanpa kontak langsung dengan objek tersebut. Sampai saat ini teknologi yang paling mutakhir adalah penggunaan data informasi yang berasal dari foto udara karena memiliki resolusi yang tinggi dan sifat stereoskopisnya sangat baik. Pemanfaatan citra Landsat banyak digunakan dalam kegiatan survei dan penelitian seperti geologi, geomorfologi, hidrologi, tambang dan kehutanan. Citra satelit merupakan salah satu sumber data yang dapat digunakan dalam penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan satelit pertama kali dipelopori oleh NASA. Landsat 8 merupakan kelanjutan misi Landsat yang pertama kali diluncurkan menjadi satelit pengamat bumi sejak tahun 1972. Pada Landsat 8 rentang spektrum gelombang elektromagnetik yang ditangkap lebih panjang (Aritonang dkk., 2022).

Citra satelit Landsat 8 mempunyai resolusi spasial, temporal, dan spektral yang baik untuk monitoring tanaman padi. Selain itu Landsat 8 meliputi semua permukaan di bawah satelit serta bentuk sinar dipantulkan oleh berbagai jalur spektrum (Azzahra dkk., 2025). Landsat 8 dilengkapi dengan dua sensor utama yaitu Operational Land Imager (OLI) yang merekam 9 saluran spektral dengan resolusi spasial 30 meter untuk band multispektral (band 1-7 dan 9) dan 15 meter untuk band pankromatik (band 8), serta *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang merekam 2 saluran termal dengan resolusi spasial 100 meter (USGS, 2016).

Keunggulan Landsat 8 dibandingkan generasi sebelumnya terletak pada peningkatan resolusi radiometrik dari 8-bit menjadi 12-bit yang memungkinkan pembedaan tingkat kecerahan lebih detail. Data Landsat 8 tersedia secara gratis melalui portal *USGS Earth Explorer* dan telah banyak digunakan untuk penelitian perubahan tutupan lahan karena ketersediaan data historis yang panjang, kualitas citra yang konsisten, dan cakupan global yang sistematis.

2.8.2 Klasifikasi Terbimbing (*Supervised*)

Klasifikasi terbimbing adalah klasifikasi yang dilakukan dengan arahan analisis (*supervised*), dimana kriteria pengelompokan kelas ditetapkan berdasarkan penciri kelas (*class signature*) yang diperoleh melalui pembuatan area contoh (training area) (Purwanto dkk., 2019). Pada analisis sistem kerja metode terbimbing (*Supervised*), terlebih dahulu diharuskan menetapkan beberapa training area (daerah contoh) pada citra sebagai kelas lahan tertentu. Penetapan ini berdasarkan pengetahuan analisis terhadap wilayah dalam citra mengenai daerah-daerah penelitian. Nilai-nilai piksel dalam daerah contoh tersebut kemudian digunakan oleh komputer sebagai kunci untuk mengenai piksel yang lain. Daerah yang memiliki nilai piksel sejenis akan dimasukkan kedalam kelas lahan yang telah ditetapkan sebelumnya.

2.8.3 *Maximum Likelihood Classification*

Metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) merupakan Teknik klasifikasi terbimbing yang umum digunakan dalam penginderaan jauh, dengan asumsi bahwa setiap kelas memiliki distribusi normal *multivariat*. MLC menghitung probabilitas posterior untuk setiap piksel berdasarkan vektor rata-rata dan matriks kovarians kelas, kemudian mengklasifikasikannya ke kelas dengan probabilitas tertinggi. Otomatisasi pemilihan sampel pelatihan menggunakan perpustakaan XML dan penerapan paralelisasi berbasis grid mampu meningkatkan efisiensi klasifikasi, menurunkan waktu komputasi dari 140 detik menjadi 40 detik dengan 6 node, meskipun terdapat kendala seperti piksel null dan keterbatasan skalabilitas (Nabil dkk., 2025).

2.9 Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN)

Metode SCS-CN (*Soil Conservation Service-Curve Number*) merupakan metode empiris dalam pemodelan *rainfall-runoff* yang cukup banyak digunakan. Metode CN merupakan pendekatan empirik untuk mengestimasi aliran permukaan (*runoff*) suatu kawasan didapat dari hubungan antara hujan, tutupan, lahan, dan kelompok hidrologis tanah (Sentosa dkk., 2021). Metode SCS-CN dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat untuk memperkirakan besarnya limpasan permukaan.

Metode SCS-CN ini berguna pada proses analisis hidrologi dan menggunakan informasi terkait curah hujan, mengingat metode ini dikembangkan untuk mengestimasi air limpasan dari air hujan (Az Zahra dkk., 2023). Berikut merupakan nilai CN sesuai dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai CN

No.	Deskripsi	Kelompok Hidrologi Tanah			
		A	B	C	D
1.	Hutan	25	55	70	77
		30	58	72	78
		25	55	70	77
2.	Kawasan Industri	36	60	73	78
3.	Lahan Pertanian	90	93	94	94
		90	93	94	95
4.	Lahan Pertanian Tertutup Tanaman	60	74	83	87
5.	Lahan Terbuka	72	82	88	90
		77	86	91	94
6.	Padang Rumput	52	68	79	84
7.	Perumahan	64	75	83	87
8.	Tubuh Perairan	98	98	98	98

Sumber: (Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, 2021)

Metode CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. Total curah hujan yang jatuh pada setiap hujan (P) diatas tanah dengan potensi maksimal tanah untuk menahan

air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen yaitu tinggi limpasan (Q), Infiltrasi, dan abstraksi awal (Kurnia Hidayat dkk., 2021). Persamaan metode pendugaan volume limpasan (Q) yang digunakan yaitu:

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \dots\dots\dots (1)$$

$$S = \frac{25400-254CN}{CN} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

Q : tinggi limpasan air permukaan (mm)

P : curah hujan (mm)

S : Potensi infiltrasi maksimum (mm)

CN : *Curve Number*

2.10 Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana digunakan untuk memperoleh hubungan numerik sebagai kondisi antara variabel bebas dan variabel terikat. Dalam model ini, hubungan antara kedua variabel dinyatakan dengan persamaan garis lurus, memungkinkan peneliti untuk memahami bagaimana perubahan pada variabel bebas berkontribusi terhadap perubahan variabel terikat. Apabila dalam diagram pencar terlihat bahwa titik titiknya mengikuti suatu garis lurus, menunjukkan bahwa kedua peubah tersebut saling berhubungan secara linier. Bila hubungan linier demikian ini ada, maka kita berusaha menyatakan secara matematik dengan sebuah persamaan garis lurus yang disebut garis regresi linier. Untuk regresi linier sederhana, perlu ditaksir parameter. Jika ditaksir oleh a dan b, maka regresi linier berdasarkan sampel dirumuskan sebagai berikut (Poni Egistin dkk., 2025).

$$Y = \alpha + \beta X \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Y : Nilai yang diukur/dihitung pada variabel tidak bebas

X : Nilai tertentu dari variabel bebas

α : Intersep/perpotongan garis regresi dengan sumbu y

β : Koefisien regresi /kemiringan dari garis regresi /untuk mengukur kenaikan atau penurunan y untuk setiap perubahan satu-satuan x /untuk mengukur besarnya pengaruh x terhadap y kalau x naik satu unit.

2.10.1 Uji F (Uji Simultan)

Uji F merupakan pengujian statistik untuk mengetahui apakah variabel independen secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen dalam model regresi (Ghozali, 2018). Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai F hitung dengan F tabel atau melihat nilai signifikansi pada output analisis regresi.

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji F menurut Santoso (2015):

1. Jika nilai signifikansi $F < \alpha$, maka variabel independen secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.
2. Jika nilai signifikansi $F > \alpha$, maka variabel independen secara simultan tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

Nilai signifikansi (α) yang umum digunakan adalah 0,05 (5%) atau 0,10 (10%). Pemilihan tingkat signifikansi 10% biasanya digunakan dalam penelitian dengan jumlah sampel terbatas atau penelitian eksploratori.

2.10.2 Uji T (Uji Parsial)

Uji t adalah pengujian statistik untuk mengetahui pengaruh variabel independen secara individual terhadap variabel dependen (Ghozali, 2018). Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai t hitung dengan t tabel atau melihat nilai signifikansi pada output analisis regresi.

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji t menurut Santoso (2015):

1. Jika nilai signifikansi $t < \alpha$, maka variabel independen berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen secara parsial.

2. Jika nilai signifikansi $t > \alpha$, maka variabel independen tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen secara parsial.

Nilai koefisien regresi (β) menunjukkan arah dan besaran pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Koefisien positif menunjukkan hubungan searah, sedangkan koefisien negatif menunjukkan hubungan berlawanan. Dalam penelitian perubahan tutupan lahan, nilai koefisien regresi menunjukkan besaran perubahan limpasan air permukaan untuk setiap satuan perubahan tutupan lahan (Asdak, 2010).

2.11 Uji Akurasi

Uji akurasi adalah proses evaluasi hasil klasifikasi citra untuk mengukur tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi dengan kondisi sebenarnya di lapangan atau data referensi yang sudah tervalidasi. Metode yang paling umum adalah *confusion matrix*, yaitu membandingkan kelas hasil klasifikasi dengan kelas referensi secara sistematis untuk mengidentifikasi kesalahan klasifikasi. Dari *confusion matrix* dapat dihitung beberapa parameter akurasi, yaitu *Overall Accuracy* yang menunjukkan proporsi total sampel yang diklasifikasikan dengan benar, *Producer's Accuracy* yang mengukur kemampuan klasifikasi untuk mengidentifikasi kelas tertentu, *User's Accuracy* yang mengukur probabilitas bahwa piksel hasil klasifikasi benar-benar sesuai dengan kelas tersebut di lapangan, serta *Kappa Coefficient* yang merupakan ukuran statistik kesepakatan antara hasil klasifikasi dengan data referensi setelah memperhitungkan kesepakatan yang terjadi secara kebetulan.

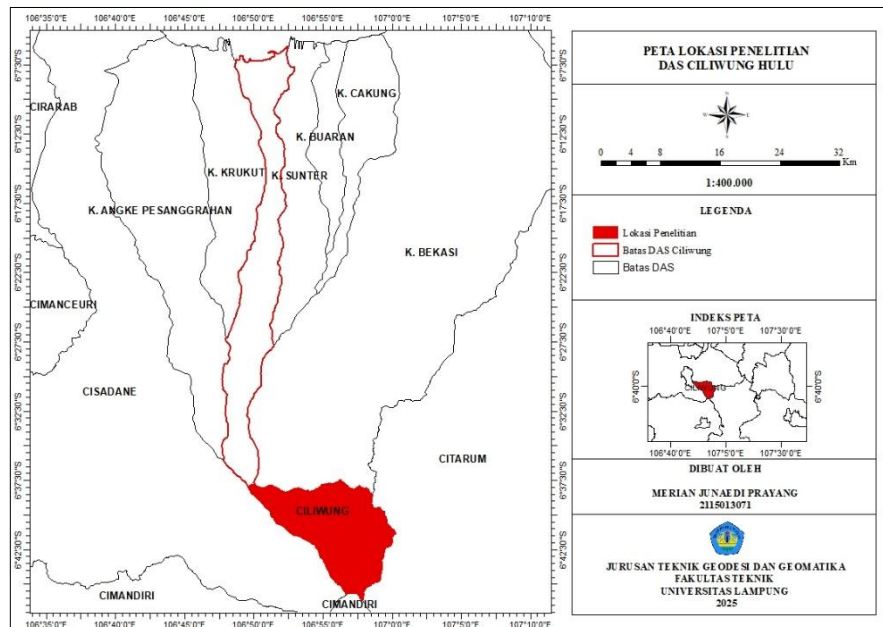
Menurut standar SNI klasifikasi tutupan lahan dianggap memenuhi kriteria minimal jika memiliki *Overall Accuracy* minimal 85%. Pengambilan sampel untuk uji akurasi harus dilakukan secara acak terstratifikasi (*stratified random sampling*) dengan jumlah sampel yang representatif untuk setiap kelas tutupan lahan agar hasil uji akurasi dapat dipercaya dan mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan. Untuk meningkatkan akurasi klasifikasi, diperlukan pemilihan training sample yang representatif, penggunaan algoritma klasifikasi yang sesuai dengan karakteristik data dan kompleksitas tutupan lahan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Ciliwung Hulu yang berada pada wilayah administrasi Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Secara geografis terletak pada koordinat $106,8^{\circ}$ - $107,0^{\circ}$ BT dan $6,6^{\circ}$ - $6,8^{\circ}$ LS. Luas wilayah DAS Ciliwung Hulu adalah 15.267 ha.

DAS Ciliwung Hulu terdiri dari 7 Sub DAS yaitu Sub DAS Cisuren, Ciliwung, Cisukabirus, Ciesek, Ciseseupan, Cibalok dan Cisarua. DAS Ciliwung Hulu meliputi Kecamatan Cisarua, Kecamatan Megamendung, Kecamatan Ciawi, Kecamatan Sukaraja dan Kecamatan Bogor Timur. Adapun peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Data

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan alat, bahan, dan data yang digunakan untuk pendukung keberhasilan penelitian. Adapun alat, bahan, dan data yang digunakan dalam penelitian ini.

3.2.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Laptop yang digunakan untuk mengolah data dalam penelitian ini yaitu Laptop Lenovo *Ideapad Gaming 3 15ACH6* dengan spesifikasi AMD Ryzen 5 5500H with Radeon Graphics 3.30 GHz, RAM 8,00 GB.

2. Perangkat Lunak (*Software*)

- a. *Software* pengolahan data spasial merupakan software yang digunakan untuk pengolahan data spasial seperti proses input data, analisis spasial serta output berupa peta.
- b. *Microsoft Office* digunakan untuk menyusun laporan penelitian tugas akhir.
- c. *Microsoft Excel* digunakan untuk membantu penyusunan atribut perhitungan data curah hujan harian.

3.2.2 Data yang Digunakan

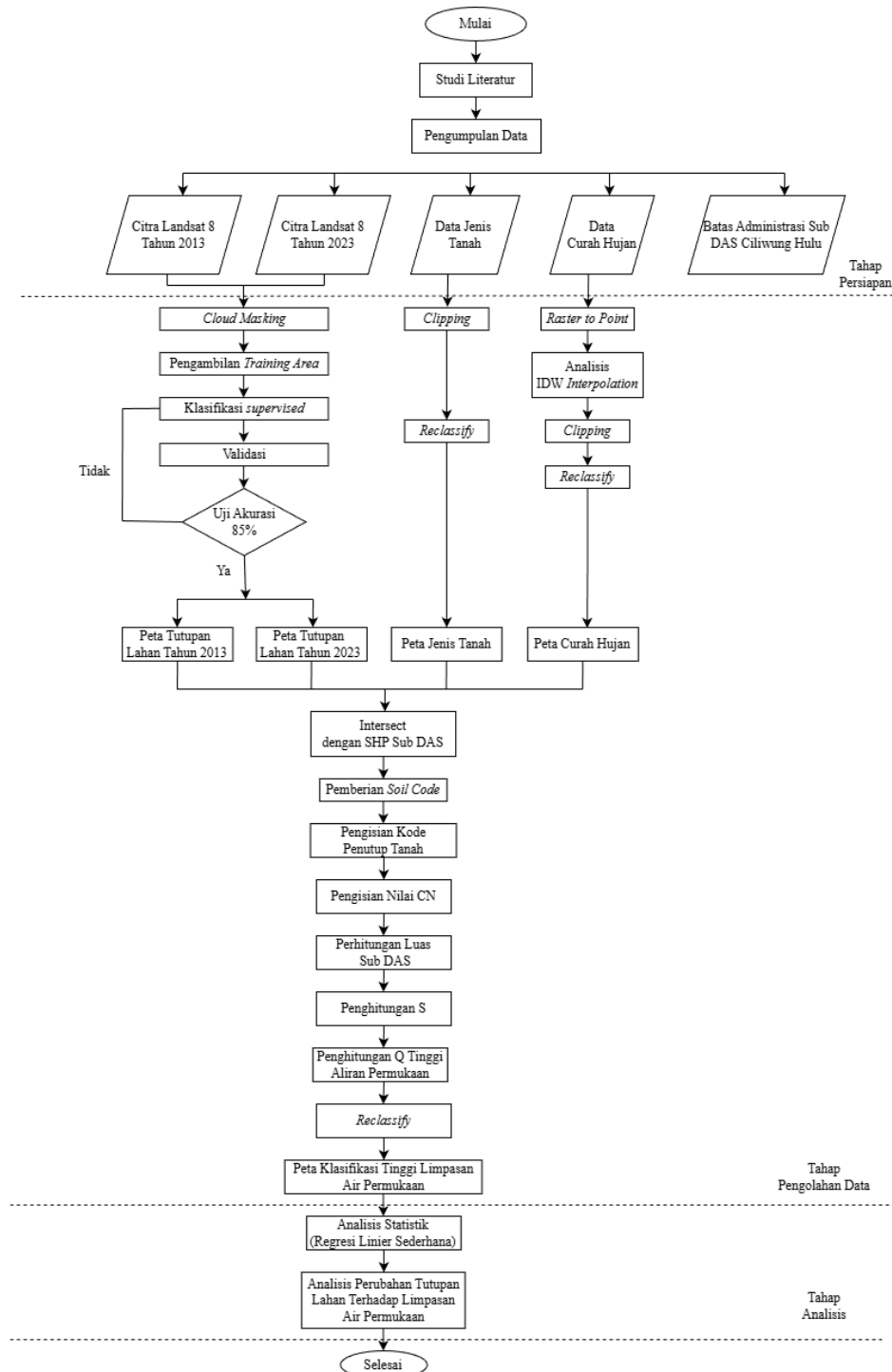
Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Penelitian

Nama Data	Sumber Data	Format Data
Citra Landsat 8 Tahun 2013 dan 2023	USGS	Raster
Batas DAS Ciliwung Hulu	Ina Geoportal	Vektor
Jenis Tanah	<i>FAO/UNESCO Soil Map of the World</i>	Vektor
Curah Hujan Harian	CHIRPS	Tabular dan Raster

3.3 Diagram Alir

Berikut merupakan tahapan – tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yang dapat di lihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.4 Tahap Persiapan

Tahap persiapan yang dilakukan oleh penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.4.1 Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mengumpulkan dan membaca sumber informasi melalui buku, jurnal ilmiah, dan situs *web* untuk mendapatkan konsep atau teori yang mendukung topik yang akan diteliti. Tujuan dari informasi yang dikumpulkan pada tahap ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang subjek penelitian yang sedang dilakukan.

3.4.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan proses yang sistematis yang dilakukan untuk mendapatkan informasi penting dalam penelitian. Tahap pengumpulan data ini diperoleh dari instansi terkait atau sumber data resmi lainnya yang bersangkutan. Penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu informasi yang diperoleh tanpa melakukan observasi langsung di lapangan. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berbagai jenis informasi spasial dan klimatologi yang mendukung analisis perubahan tutupan lahan dan perhitungan limpasan permukaan di DAS Ciliwung Hulu. Berikut adalah sumber data yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Batas Administrasi DAS Ciliwung Hulu

Bersumber dari Ina Geoportal yang akan digunakan sebagai *area of interest* (AOI) dalam proses pengolahan data spasial seperti proses clipping citra satelit, pembatasan wilayah analisis tutupan lahan, overlay parameter hidrologi, serta perhitungan luas dan statistik spasial limpasan permukaan.

b. Data Citra Landsat 8 OLI-TIRS 2013 dan 2023

Bersumber dari *United States Geological Survey* (USGS) yang akan digunakan untuk menganalisis klasifikasi dan perubahan tutupan lahan di wilayah penelitian.

c. Data Jenis Tanah

Bersumber dari *FAO/UNESCO Soil Map of The World* yang akan digunakan untuk menganalisis karakteristik dan klasifikasi jenis tanah serta digunakan sebagai salah satu parameter untuk membuat peta limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu.

d. Data Curah Hujan

Bersumber dari *Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS) yang digunakan untuk menganalisis pola curah hujan di wilayah penelitian.

Setiap data yang telah dikumpulkan selanjutnya diproses dan diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan data spasial guna mendukung pelaksanaan analisis lebih lanjut.

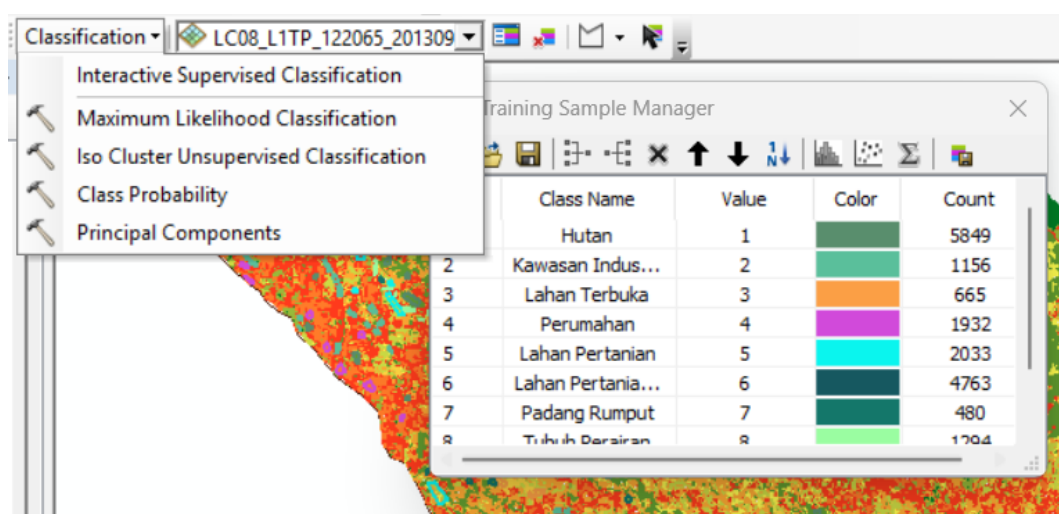
3.5 Tahap Pengolahan Data

Setelah semua data yang diperlukan terkumpul, tahapan selanjutnya yaitu tahapan pengolahan data yang dibagi menjadi beberapa tahapan. Adapun tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

3.5.1 Pengolahan Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan diperoleh melalui pengolahan citra satelit Landsat 8 yang diunduh dari *website United States Geological Survey* (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Citra yang telah diperoleh kemudian diproses menggunakan *software* pengolahan data spasial dengan menyesuaikan batas DAS Ciliwung Hulu sebagai area kajian. Sistem koordinat citra dikonversi ke WGS 1984 UTM Zone 47S melalui *tool Project Raster* untuk memastikan keseragaman sistem proyeksi. Pemotongan citra dilakukan sesuai dengan *Area of Interest* (AOI) menggunakan *tool Clip* berbasis *shapefile* batas administrasi DAS Ciliwung Hulu.

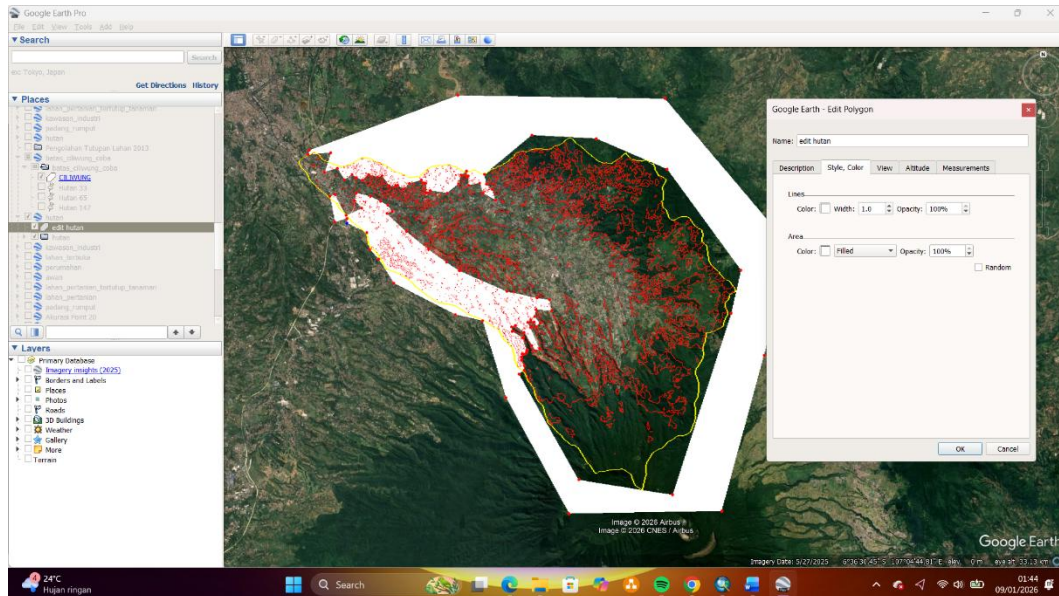
Untuk meningkatkan kualitas visual dan akurasi interpretasi, citra yang telah terpotong kemudian ditajamkan menggunakan tool *Create Pan-sharpened Raster Dataset* yang menggabungkan *panchromatic band 8* dengan *band* multispektral, sehingga menghasilkan resolusi spasial yang lebih optimal untuk analisis tutupan lahan. Identifikasi kelas tutupan lahan dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing menggunakan tool *Maximum Likelihood Classification* berdasarkan sampel *training area* yang telah dibuat dalam bentuk poligon pada masing-masing kelas.



Gambar 4. Proses Klasifikasi *Maximum Likelihood Classification*

Hasil klasifikasi kemudian di *export* dan dikonversi ke format KMZ menggunakan tool *Layer to KML*. Proses digitasi dan koreksi visual dilakukan pada *software Google Earth Pro*. Setiap kelas tutupan lahan yang telah dikonversi menjadi format KMZ kemudian diperbaiki secara manual menggunakan tool *new polygon* untuk menghapus area yang tidak sesuai dengan kelasnya, sehingga diperoleh batas kelas yang lebih akurat. File hasil koreksi disimpan dalam format KML dan dikonversi kembali ke dalam *software ArcGIS* menggunakan tool *KML to Layer* untuk keperluan analisis lanjutan. Proses overlay dilakukan menggunakan tool *Erase* pada masing-masing kelas untuk menghindari tumpang tindih area.

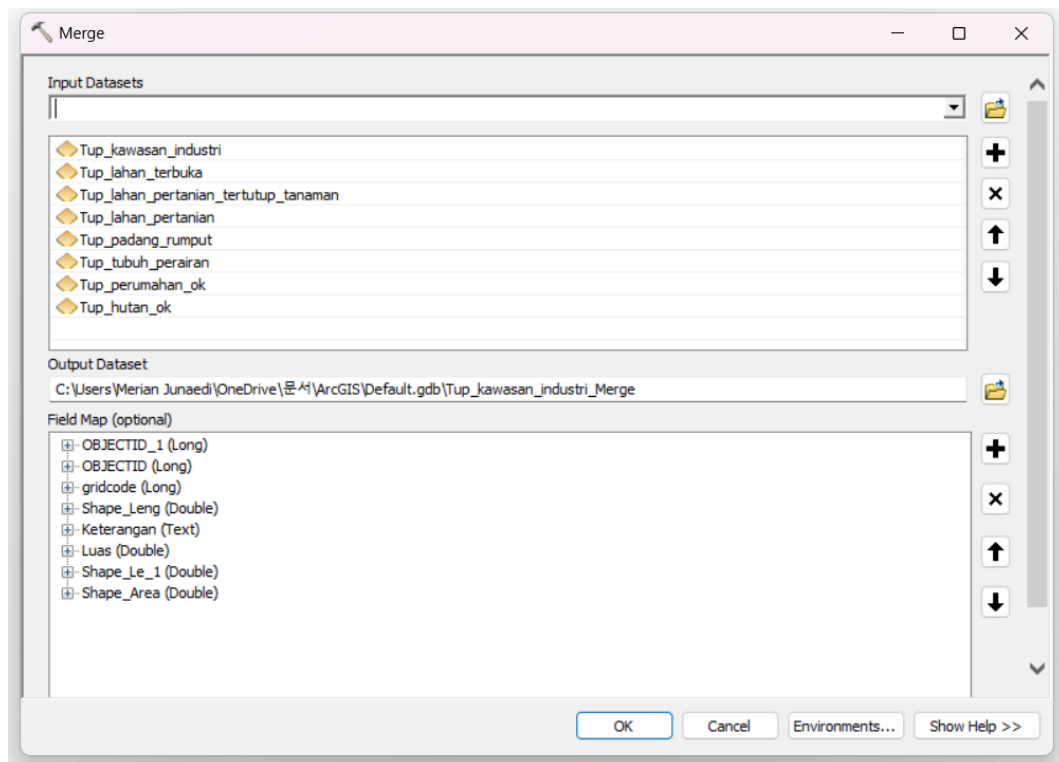
Khusus untuk area yang tertutup awan, dilakukan proses *overlay* tambahan menggunakan *tool Union* antara *layer* awan dengan kelas kawasan perumahan mengingat sebaran awan yang cukup signifikan pada area tersebut. Seluruh kelas tutupan lahan kemudian digabungkan menggunakan *tool Union* dan area di luar batas DAS Ciliwung Hulu dihapus melalui proses *Erase*, dengan area sisa diklasifikasikan sebagai "Tup_Hutan".



Gambar 5. Proses Koreksi Kelas Tutupan Lahan di *Google Earth*

Tahap finalisasi data dilakukan dengan menghapus *field-field* yang tidak diperlukan menggunakan *tool Delete Fields*, terutama pada data kelas kawasan perumahan. *Field* yang masih kosong pada *attribute table* diisi secara otomatis menggunakan *field calculator* untuk memastikan kelengkapan data atribut. Pada layer "Tup_Hutan", dibuat *field* baru bernama "Keterangan" dengan tipe data text yang diisi dengan label "Hutan". Integrasi seluruh kelas tutupan lahan dilakukan melalui *tool Merge* dengan *output* "merge", dimana hanya *field* "Keterangan" yang dipertahankan sedangkan *field* lainnya dihapus. Proses generalisasi batas dilakukan menggunakan *tool Dissolve* berdasarkan *field* "Keterangan" untuk menggabungkan poligon-poligon yang memiliki kelas yang sama, dan hasilnya diekspor dengan nama "Tutupan Lahan DAS Ciliwung Hulu 2013".

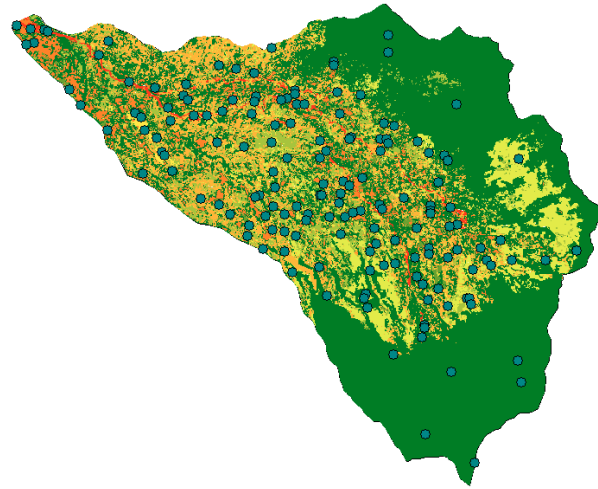
Perhitungan luasan dilakukan dengan membuat field baru bernama "Luas" bertipe double, kemudian diisi secara otomatis dalam satuan Hektar (Ha) menggunakan *tool Calculate Geometry*. Sebagai tahap akhir, dilakukan simbolisasi dengan memberikan warna yang berbeda pada setiap kelas tutupan lahan untuk memudahkan interpretasi visual pada peta hasil analisis.



Gambar 6. Proses *Merge*

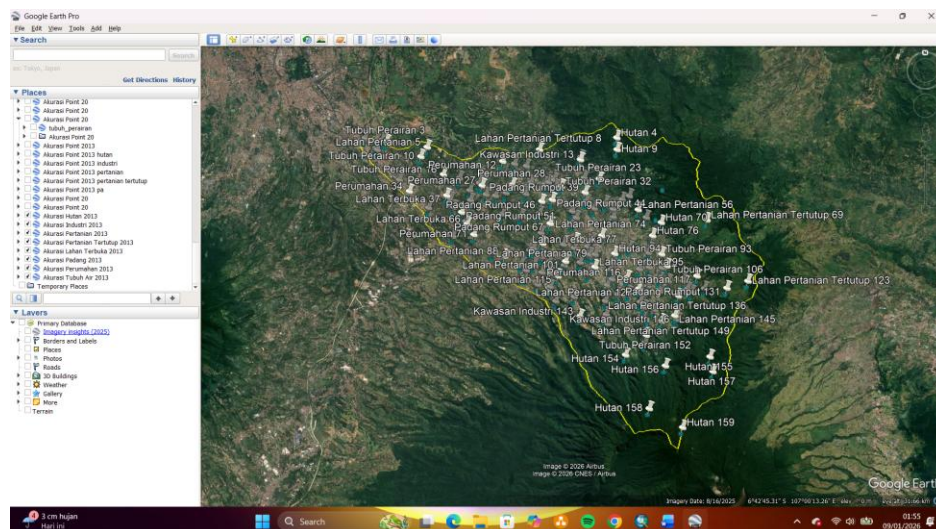
3.5.2 Validasi Tutupan Lahan

Validasi dilakukan menggunakan *confusion matrix* (matriks konfusi) dilakukan dengan menyusun matriks eror antara data klasifikasi dan data referensi untuk mengetahui tingkat kesalahan dan ketepatan tiap kelas. Metode *overall accuracy* menghasilkan nilai 85%, menunjukkan tingkat kesesuaian data klasifikasi dengan data referensi sebesar 85%. Validasi dilakukan dengan menghitung jumlah titik sampel yang sesuai dan tidak sesuai dengan kelasnya menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*.



Gambar 7. Titik Sampel pada Software GIS

Proses validasi tutupan lahan dilakukan dengan mengambil titik sampel secara acak terstratifikasi (*stratified random sampling*) pada software GIS sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, kemudian diverifikasi menggunakan citra Google Earth Pro. Jumlah titik sampel yang diambil untuk setiap kelas tutupan lahan minimal sebanyak 20 titik sesuai dengan ketentuan dalam SNI 8202:2019 tentang Penyusunan Peta Tutupan Lahan. Standar nasional ini mensyaratkan bahwa peta tutupan lahan harus memiliki tingkat akurasi minimal 85%.

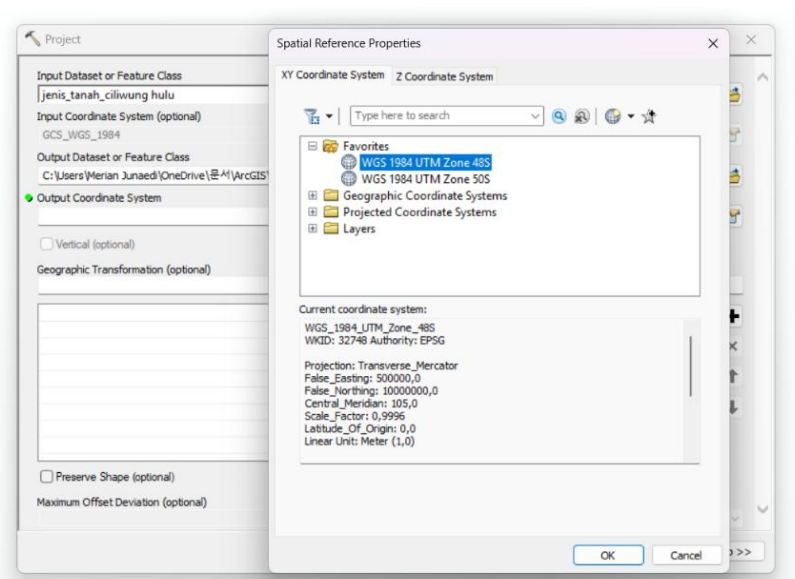


Gambar 8. Titik Sampel pada Google Earth Pro

Hasil peta tutupan lahan DAS Ciliwung Hulu dengan kelas hutan, kawasan industri, lahan pertanian, lahan pertanian tertutup tanaman, lahan terbuka, padang rumput, perumahan, dan tubuh perairan yang diperoleh dari citra *Landsat 8 OLI-TIRS* tahun 2013 dan 2023 menggunakan metode *Maximum Likelihood*, kemudian dilakukan uji akurasi menggunakan metode *Overall Accuracy*. Proses uji akurasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan pada peta tidak hanya akurat, tetapi juga sesuai dengan kondisi dilapangan. Dalam pelaksanaan uji akurasi digunakan titik-titik sampel yang di ambil sesuai dengan kelas yang sudah ditentukan dan validasi dilakukan dengan memanfaatkan citra google earth. Pada DAS Ciliwung Hulu jumlah sampel 8 kelas klasifikasi sebanyak 160 titik sampel.

3.5.3 Pengolahan Data Jenis Tanah

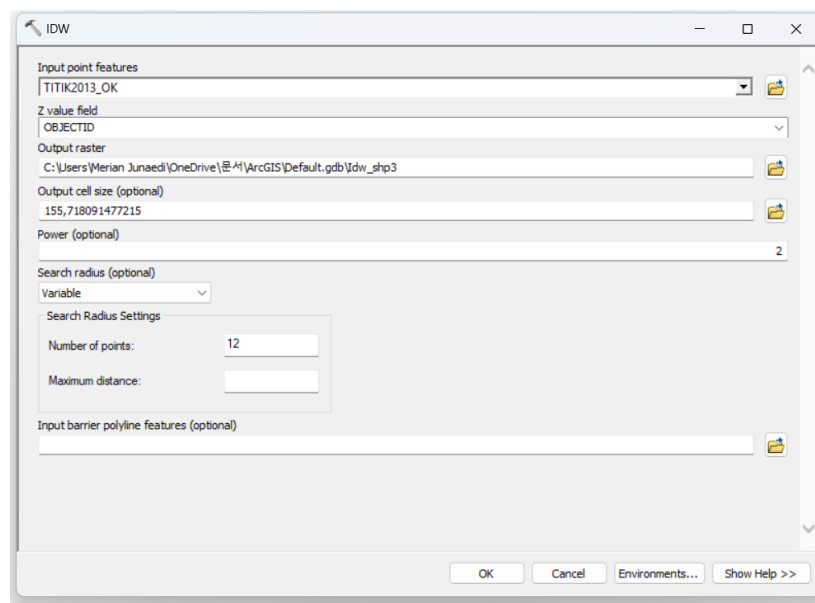
Peta jenis tanah didapatkan dari *FAO/UNESCO Soil Map of The World* pada website <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> menggunakan *software* pengolah data spasial. Data jenis tanah di input pada *software* pengolah data spasial kemudian dilakukan pemotongan data sesuai lokasi penelitian menggunakan tool *Clip* pada *Analysis Tools* dengan data *vector* batas administrasi DAS Ciliwung Hulu. Selanjutnya ubah sistem koordinat menggunakan *Projection and Transformation* dengan tool *Project* dan *input Coordinate System* GCS WGS 1984.



Gambar 9. Proses *Projection and Transformation*

3.5.4 Pengolahan Data Curah Hujan

Pengolahan data curah hujan dimulai dengan proses menggabungkan 12 raster bulanan menggunakan *Spatial Analysis Tools* dengan *tool Cell Statistics (Sum)*, kemudian membersihkan nilai nol dengan *Map Algebra* melalui *tool Raster Calculator* agar hanya data curah hujan valid yang digunakan. Raster tersebut lalu dikonversi menjadi titik melalui *tool Raster to Point*, diseleksi sesuai AOI, dan diberi sistem koordinat yang benar menggunakan *tool Define Projection* serta *Project* ke UTM. Setelah itu dilakukan interpolasi menggunakan metode IDW untuk menghasilkan peta sebaran curah hujan berdasarkan variasi intensitasnya. Hasil IDW kemudian diklasifikasikan dengan *tool Reclassify* dan diubah menjadi poligon melalui *tool Raster to Polygon* dan clip agar sesuai batas AOI.

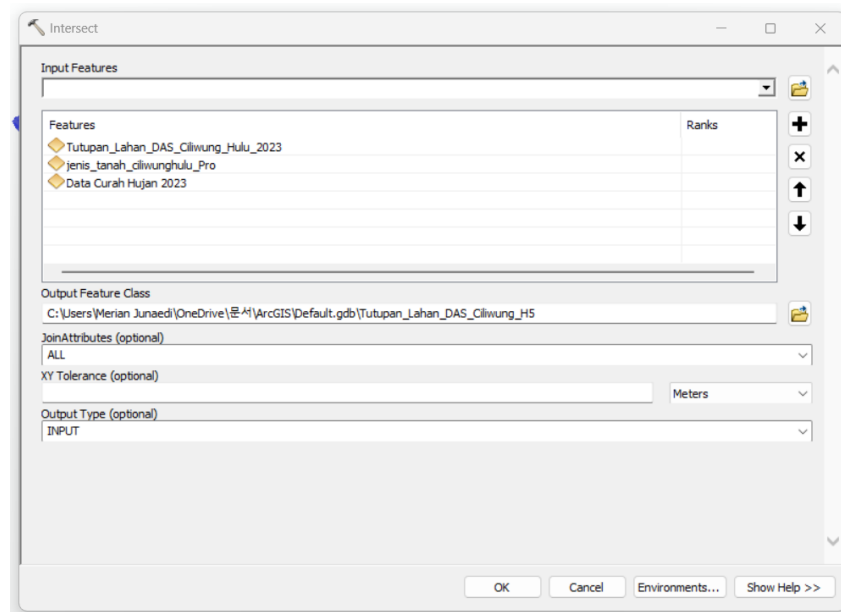


Gambar 10. Proses IDW

3.5.5 Pengolahan Limpasan Air Permukaan

Peta limpasan air permukaan didapatkan dari hasil pengolahan data peta tutupan lahan, peta jenis tanah, dan data curah hujan yang telah diolah menggunakan *software* pengolah data spasial. Proses *overlay* dilakukan dengan tool *Intersect* untuk menggabungkan data dengan input data tutupan lahan, jenis tanah, dan curah hujan yang di *export* dengan nama Pengolahan Q Limpasan. Pada data Pengolahan Q Limpasan dilakukan pengisian bobot nilai CN dengan menggunakan *field*

calculator dan dimasukkan rumus untuk menentukan bobot CN. Pada pengolahan Q Limpasan dilakukan *Calculate Geometry* untuk menghitung luasan. Selanjutnya tahapan pengisian Nilai S yaitu perbedaan potensial antara hujan dengan aliran air permukaan. menggunakan *field calculator* dan dimasukkan rumus untuk menghitung nilai S. Tahapan selanjutnya yaitu penghitungan nilai Q untuk mendapatkan nilai tinggi aliran limpasan air permukaan.



Gambar 11. Proses *Intersect*

3.6 Tahap Analisis

Setelah tahap pengolahan data selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan analisis hasil dengan menggunakan analisis regresi linier untuk mengetahui apakah perubahan tutupan lahan berpengaruh terhadap limpasan air permukaan.

3.6.1 Analisis Regresi Linier

Dilakukan analisis regresi linier sederhana untuk mengetahui pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu. Variabel bebas (X) dalam analisis ini adalah perubahan luas tutupan lahan, sedangkan variabel terikat (Y) adalah perubahan nilai Q (Tinggi Limpasan).

Unit analisis yang digunakan adalah kelas tutupan lahan, sehingga jumlah data yang dianalisis sebanyak delapan sampel sesuai dengan jumlah kelas tutupan lahan. Data regresi diperoleh dengan menghitung selisih nilai masing-masing variabel antara tahun 2013 dan 2023. Model regresi linier sederhana yang digunakan adalah:

$$Y = \alpha + \beta X \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

Y : Perubahan nilai Q Tinggi Limpasan Air Permukaan (mm)

X : Perubahan luas tutupan lahan (Ha)

α : Konstanta

β : Koefisien Regresi

Analisis regresi dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS *Statistics* dengan metode *Enter*. Pengujian model dilakukan melalui koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan variabel terikat, uji F untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara simultan, serta uji t untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara parsial. Dalam penelitian ini digunakan taraf signifikansi (α) sebesar 10%, dengan pertimbangan bahwa jumlah sampel penelitian relatif terbatas dan analisis bertujuan untuk mengidentifikasi kecenderungan hubungan antara perubahan tutupan lahan dan perubahan nilai Q. Hasil analisis regresi dinyatakan signifikan apabila nilai signifikansi (Sig.) $\leq 0,10$.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan penelitian mengenai Analisis Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Air Permukaan di DAS Ciliwung Hulu maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan tutupan lahan di DAS Ciliwung Hulu selama periode 2013 dan 2023 menunjukkan tren degradasi kawasan vegetasi, ditandai dengan penurunan luas hutan sebesar 3.001 ha (32,66%) serta peningkatan lahan pertanian, padang rumput, dan kawasan perumahan. Kondisi tersebut terjadi pada wilayah dengan dominasi jenis tanah *Humic Andosols* dan curah hujan sangat tinggi (>2.500 mm/tahun), yang secara hidrologis rentan menghasilkan limpasan permukaan besar.
2. Estimasi limpasan air permukaan menggunakan metode SCS–*Curve Number* (SCS-CN) menunjukkan peningkatan signifikan kelas limpasan tinggi dan sangat tinggi. Luas area dengan limpasan tinggi meningkat dari 1.088 ha (7%) pada tahun 2013 menjadi 2.342 ha (15%) pada tahun 2023, sedangkan limpasan sangat tinggi meningkat dari 689 ha (5%) menjadi 880 ha (6%). Hal ini mengindikasikan menurunnya kemampuan lahan dalam meresapkan air hujan seiring perubahan tutupan lahan.
3. Hasil analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan berpengaruh signifikan terhadap limpasan air permukaan di DAS Ciliwung Hulu. Nilai signifikansi sebesar 0,086 ($< \alpha$ 10%) membuktikan adanya hubungan yang bermakna, di mana setiap penambahan 1 ha perubahan tutupan lahan meningkatkan tinggi limpasan air permukaan sebesar 167,93 mm.

Temuan ini menegaskan bahwa konversi lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun dan budidaya berkontribusi langsung terhadap peningkatan limpasan dan potensi banjir di wilayah hilir.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya dan pengelolaan DAS Ciliwung Hulu:

1. Untuk penelitian lanjutan, disarankan melakukan analisis temporal dengan periode waktu yang lebih panjang dan interval yang lebih rapat untuk mendapatkan gambaran tren perubahan tutupan lahan yang lebih detail, mengintegrasikan data debit sungai aktual untuk validasi hasil perhitungan limpasan permukaan, melakukan analisis matriks transisi untuk mengidentifikasi pola konversi tutupan lahan yang lebih spesifik, menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi seperti Sentinel-2 atau SPOT, serta melakukan kajian dampak perubahan tutupan lahan terhadap parameter hidrologi lainnya seperti erosi, sedimentasi, dan kualitas air.
2. Untuk pengelolaan DAS, diperlukan upaya prioritas konservasi dan perlindungan kawasan hutan terutama di zona dengan jenis tanah Humic Andosols yang berfungsi sebagai daerah resapan air utama, mengendalikan laju konversi lahan hutan menjadi area terbangun melalui penegakan peraturan tata ruang dan pemberian insentif konservasi kepada masyarakat, mengembangkan sistem pemantauan perubahan tutupan lahan secara berkala menggunakan teknologi penginderaan jauh dan SIG, menerapkan teknik konservasi tanah dan air seperti pembuatan terasering, sumur resapan, dan biopori khususnya di area dengan limpasan tinggi, serta melakukan reboisasi dan penghijauan di kawasan yang mengalami degradasi untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi dan mengurangi limpasan permukaan.
3. Untuk kebijakan perencanaan, hasil penelitian ini perlu diintegrasikan ke dalam dokumen Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) dan Rencana Pengelolaan DAS Ciliwung Hulu, menetapkan zona-zona rawan limpasan tinggi sebagai

area dengan pembatasan pembangunan atau mensyaratkan sistem drainase yang memadai, mengembangkan sistem peringatan dini banjir berbasis analisis limpasan permukaan untuk mitigasi risiko bencana, serta mendorong penerapan konsep pembangunan berkelanjutan dengan mempertimbangkan dampak hidrologi dalam setiap kegiatan pembangunan di DAS Ciliwung Hulu.

4. Untuk peningkatan metode, disarankan melakukan kalibrasi parameter *Curve Number* berdasarkan data lapangan untuk meningkatkan akurasi perhitungan limpasan permukaan, mengintegrasikan model hidrologi yang lebih kompleks seperti SWAT atau HEC-HMS untuk analisis yang lebih komprehensif, serta melakukan ground truthing secara lebih intensif untuk meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan lahan, terutama pada kelas yang sering mengalami *misclassification*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, E. (2020). *Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components*.
- Amaru, K., Dwiratna, S., Rustam Kendarto, D., & Nuraeni, N. (2020). Analisis Volume Limpasan Permukaan Aktual Dan Teoritis Pada Lahan Miring Menggunakan Metode Scs-Cn Di Dta Citarik Hulu. *Prosiding Seminar Nasional Agribisnis 2020*.
- Aritonang, L., Septyani, E., & Maria, L. (2022). Pemetaan Perubahan Luasan Mangrove Melalui Analisis Citra Satelit Landsat di Tangkolak Barat, Karawang, Jawa Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 3(1), 30–35. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.69>
- As, M. D. A., Ambarwati, A. B., Kamila, T. N., Nabila, S. H., Alviandi, R., Putra, A. A., Setiawan, M. R., Somantri, L., & Himayah, S. (2025). Perbandingan Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan dan Penggunaan Lahan Menggunakan Citra Satelit Landsat, Sentinel, dan Pleiades. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 13(1), 60–67. <https://doi.org/10.23887/jjpg.v13i1.83872>
- Asri, F. (2022). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Di Daerah Aliran Sungai (Studi Kasus: DAS Cicatih-Cimandiri, Kabupaten Sukabumi).
- Az Zahra, T., Abdulharis, R., Nurmaulia, S. L., & Julian, M. M. (2023). Strategi Pemetaan Genangan Banjir Sungai di Kota Pekalongan Menggunakan Model SCS-CN. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*, 21(2). <https://doi.org/10.54911/litbang.v21i2.251>
- Aziz, S., Wahono, E. P., Endaryanto, T., Bakri, S., Abidin, Z., & Nurhasanah/. (2023). Analisis Limpasan Air Permukaan Menggunakan Hec Hms Akibat

Perubahan Tutupan Lahan Di Kecamatan Jati Agung Lampung Selatan.
Jurnal Hutan Tropis, 14.

Azzahra, N., Karim, A., & Fazlina, Y. D. (2025). Pemetaan indeks pertanaman lahan sawah menggunakan citra satelit landsat 8 di Kabupaten Tanah Datar (studi kasus: Kecamatan Sungai Tarab). *Agrokompleks*, 25(1), 76–83.
<https://doi.org/10.51978/japp.v25i1.780>

Callista Fabiola Candraningtyas, Lathifa Putri Wiedhya Syahrani, & Luthfia. (2023). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo Terhadap Fungsi Pengendalian Banjir Surakarta 2023. *Sibatik Jurnal*, 2.

Damar Pandulu, G. (2016). Analisis Dan Pemetaan Daerah Kritis Rawan Bencana Wilayah Uptd Sda Turen Kabupaten Malang. Dalam *Jurnal Reka Buana* (Vol. 1, Nomor 2).

Daru Kartikawati, T., Andawayanti, U., & Montarcih Limantara. Lily. (2018). *Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit Limpasan Pada Das Brantas Hulu*.

Eko Aryanto, D., & Hardiman, G. (2017). Kajian Multi Varian Faktor yang Berpengaruh terhadap Infiltrasi Air Tanah sebagai Dasar Penentuan Daerah Potensial Resapan Air Tanah. *Proceeding Biology Education Conference*, 14(1).

Firmanda, R. R., Harisuseno, D., & Primantyo Hendrawan, A. (2022). Studi Pengaruh Sifat Fisik Tanah terhadap Laju Infiltrasi pada Lahan Pertanian. Dalam *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* (Vol. 2, Nomor 1).
<https://jtresda.ub.ac.id/>

Firmansyah, M., Koesoemawati, D. J., & Dewi, R. A. P. K. (2020). Land change prediction in Bondowoso Regency using Automata Markov method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 562(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/562/1/012020>

- Hamdan, M. (2020). *Analisis Debit Aliran Sungai Sub Das Ciliwung Hulu Menggunakan Mw-Swat*. Institut Pertanian Bogor.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. (2021). *Tutorial Penyusunan Peta Rawan Limpasan 2021*. Direktorat Perencanaan Dan Evaluasi Pengendalian Daerah Aliran Sungai Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai Dan Hutan Lindung.
- Kurnia Hidayat, A., Irawan, P., Hendra, Ikhsan, J., Atmadja, S., & Sari, N. K. (2021). Analisis dan Pemetaan Limpasan Permukaan di Das Citanduy Hulu dengan Metode SCSN. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 14(1), 5.
- Lange, H., & Sippel, S. (2020). Machine Learning Applications in Hydrology. Dalam *Forest-Water Interactions* (hlm. 233–257). https://doi.org/10.1007/978-3-030-26086-6_10
- Latue, P. C. (2023). Analisis Spasial Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Pulau Ternate Provinsi Maluku Utara Citra Satelit Resolusi Tinggi. *Buana Jurnal Geografi, Ekologi dan Kebencanaan*, 1(1), 31–38. <https://doi.org/10.56211/buana.v1i1.339>
- Manakane, S. E., Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023a). Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 1(2), 51–60. <https://doi.org/10.56211/tabela.v1i2.301>
- Manakane, S. E., Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023b). Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 1(2), 51–60. <https://doi.org/10.56211/tabela.v1i2.301>
- Manakane, S. E., Rakuasa, H., & Latue, P. C. (2023c). Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Marikurubu, Kota Ternate. *Tabela Jurnal*

- Pertanian Berkelanjutan*, 1(2), 51–60.
<https://doi.org/10.56211/tabela.v1i2.301>
- Maruddani, R. F., Somantri, L., & Panjaitan, F. (2024). Analisis Spasial Perubahan Tutupan Lahan Pasca Kebakaran Hutan Dan Lahan Di Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 11(2), 443–453.
<https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.2.15>
- Muchtar, A., Wahyullah, W., Herawaty, H., Arsyad, U., & Fathurrahman, A. F. (2024). Estimasi Limpasan Permukaan dengan Menggunakan Metode CN Modifikasi di Sub DAS Mamasa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 1001–1008.
<https://doi.org/10.14710/jil.22.4.1001-1008>
- Mukhlis, I. R. (2023). *Sistem Informasi Geografis(SIG)*. PT. Green Pustaka Indonesia. <https://www.researchgate.net/publication/376582770>
- Nabil, M., Rahmawati, D., & Putri, D. H. (2025). Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kutai Kartanegara dengan Metode Maximum Likelihood. Dalam *Jurnal Geosains Kutai Basin* (Vol. 8).
- Poni Egistin, D., Yahdi Rauza, M., Has Ramadhan, R., & Ramadani, S. (2025). Analisis Regresi Linier Sederhana dan Penerapannya. *Jurnal Cahaya Nusantara*, 1(2), 3093–8113. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Purwanto, E. H., Lukiawan, R., Penelitian, P., Standardisasi, P., & Nasional, B. S. (2019). *Parameter Teknis Dalam Usulan Standar Pengolahan Penginderaan Jauh: Metode Klasifikasi Terbimbing Technical Parameter on Proposed of Remote Sensing Processing Data: Supervised Classification*.
- Ramadan, A. N., Adidarma, W. K., Riyanto, B. A., & Windianita, K. (2017). Penentuan Hydrologic Soil Group Untuk Perhitungan Debit Banjir Di Daerah Aliran Sungai Brantas Hulu. *Jurnal Sumber Daya Air*.
- Ridwan, M., & Sarjito, J. (2024). Studi Kajian Dampak Perubahan Tutupan Lahan terhadap Kejadian Banjir di Daerah Aliran Sungai. *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 26(1), 38.
<https://doi.org/10.20961/enviro.v26i1.93145>

- Ruspendi, D., Hadi, S., & Rusdiana, O. (2013a). Kajian Perubahan Penutupan Lahan Pada Das Ciliwung Hulu Dengan Pendekatan Spasial Dinamik. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 5.
- Ruspendi, D., Hadi, S., & Rusdiana, O. (2013). Kajian Perubahan Penutupan Lahan Pada Das Ciliwung Hulu Dengan Pendekatan Spasial Dinamik. *Jurnal Lanskap Indonesia*.
- Salimin, F. (2023). *Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Menggunakan Model Soil And Water Assessment Tool Di Daerah Aliran Sungai Bila*.
- Sari, S. (2012). Studi Limpasan Permukaan Spasial Akibat Perubahan Penggunaan Lahan (Menggunakan Model Kineros). *Journal of Water Resources Engineering*, 2.
- Sentosa, A. K., Asdak, C., & Suryadi, E. (2021). Estimasi Volume Limpasan dan Debit Puncak Sub DAS Cikeruh Menggunakan Metode SCS-CN (Soil Conservation Service-Curve Number). *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 9(1), 90–98. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.10>
- Setiawan, H., Jalil, M., Enggi, M., Purwadi, F., Adios, C., Brata, A. W., Syaful Jufda, A., Studi, P., Geografi, P., Keguruan, F., Pendidikan, I., & Mulawarman, U. (2020). Analisis Penyebab Banjir di Kota Samarinda. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1). <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea>
- Shanquro Jauhari, R., Yan, T., Muda Iskandarsyah, W., & Listiawan, Y. (2024). Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citeureup Menggunakan *Supervised Classification* dan Validasi Citra Google Earth. *Padjajaran Geosience*, 8(2), 2597–4033.
- Sukmono, A., & Hadi, F. (2021). Sungai Bodri Terhadap Debit Puncak Menggunakan Metode Soil Conservation Service (SCS). Dalam *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Nomor 10).

- Suryatmojo, H. (2025). Strategi Terpadu Penyelamatan DAS Ciliwung: Pemulihan Hidrologi DAS, Penegakan Regulasi, Rehabilitasi Ekosistem, dan Penguatan Mitigasi Bencana. *Menara Ilmu Konservasi DAS*.
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y. A., & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations-A review. Dalam *Remote Sensing* (Vol. 12, Nomor 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs12071135>
- Trifena, S., & Prabowo, D. (2020). Potensi Reduksi Limpasan Permukaan Dengan Metode *Soil Conservation Service-Curve Number* Di Kelurahan Rawa Buntu. *Indonesian Journal of Spatial Planning*, 1(1), 51–56. <http://journals.usm.ac.id/index.php/ijsp>
- Yanuar H. (2025). Atasi Krisis Hidrologi di DAS Ciliwung, Ini Saran dari Pakar UGM. *Liputan6*. <https://www.liputan6.com/regional/read/6002758/atasi-krisis-hidrologi-di-das-ciliwung-ini-saran-dari-pakar-ugm>
- Yasa Ardiansyah, E., Tibri, T., Fitrah, A., Azan, S., & A. Sembiring, J. (2017). Analisa Pengaruh Sifat Fisik Tanah terhadap Infiltrasi. *Jurnal Seminar Nasional Teknik UISU*.