

Penggunaan Teknologi Sistem Informasi Geografis Untuk Evaluasi Penutupan Lahan Di Daerah Aliran Sungai Lasolo

¹Davik, ²Baihaqi, ³La Baco Sudia, ⁴Kahirun, ⁵Muhammad Rahmad Ramadhan
¹³⁴Jurusan Ilmu Lingkungan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan UHO, Kendari
²Jurusan Ilmu Teknologi Pangan Fakultas Pertanian UHO, Kendari
⁵Prodi Teknologi Industri Pertanian Universitas Insan Cita Indonesia
¹davik202406@uho.ac.id, ²baihaqi@uho.ac.id

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan ekosistem kompleks yang terdiri dari unsur fisik, biologi, dan sosial yang saling berinteraksi dalam siklus hidrologi. Tutupan lahan memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan hidrologi DAS dengan mempengaruhi infiltrasi air, limpasan permukaan, serta risiko erosi dan sedimentasi. Perubahan tutupan lahan yang tidak terkendali dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi. Sistem Informasi Geografis (SIG) menjadi alat yang efektif dalam memantau dan mengevaluasi perubahan penutupan lahan secara spasial dan temporal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan penutupan lahan di DAS Lasolo menggunakan pendekatan SIG dan metode Maximum Likelihood Classification (MLC) pada citra Landsat tahun 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat empat klasifikasi utama tutupan lahan, yaitu hutan (572,81 ha), pertanian lahan kering (103,46 ha), pemukiman (84,70 ha), dan lahan terbuka (3,06 ha). Analisis akurasi menggunakan uji Kappa menunjukkan tingkat keandalan klasifikasi yang tinggi dengan nilai 87,38%, yang mengindikasikan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara hasil klasifikasi dan kondisi lapangan. Selain itu, hasil analisis Persentase Penutupan Vegetasi (PPV) menunjukkan nilai 88,5%, yang dikategorikan sangat baik yang mencerminkan bahwa DAS Lasolo masih memiliki tingkat vegetasi yang tinggi. Penelitian ini mengonfirmasi bahwa meskipun tutupan lahan yang sangat baik dalam wilayah DAS, faktanya daerah pemukiman bagian hilir selalu mengalami banjir. Oleh karena itu masih perlu dilakukan kajian variabel lainya di DAS Lasolo.

Kata Kunci : Daerah Aliran Sungai, Tutupan Lahan, Sistem Informasi Geografis, Maximum Likelihood Classification, Persentase Penutupan Vegetasi

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu kesatuan ekosistem yang terdiri dari unsur-unsur fisik, biologi, dan sosial yang berinteraksi dalam siklus hidrologi. Salah satu faktor kunci yang mempengaruhi keseimbangan hidrologi suatu DAS adalah tutupan lahan, termasuk vegetasi alami, kawasan pertanian, pemukiman, dan infrastruktur lainnya (Asdak, 2018). Tutupan lahan yang baik dapat menjaga permeabilitas tanah, mengurangi limpasan permukaan, dan mencegah erosi dan sedimentasi sungai (Bruijnzeel, 2004). Di sisi lain, perubahan tutupan lahan yang tidak terkendali dan menurun dapat berdampak pada fungsi daerah aliran sungai (Davik et al., 2022). Selain itu, hal ini juga dapat menyebabkan degradasi lahan, termasuk berkurangnya pasokan air tanah dan peningkatan risiko bahaya hidrometeorologi seperti banjir dan tanah longsor (Lambin dkk., 2001).

Sistem Informasi Geografis (GIS) telah berkembang menjadi alat yang sangat efektif untuk memantau dan menilai tutupan lahan dalam ruang dan waktu (Lillesand et al., 2015). Dengan

memanfaatkan citra satelit dan teknologi penginderaan jauh, GIS memungkinkan analisis dinamika tutupan lahan dan dampaknya terhadap hidrologi DAS secara lebih akurat (Giri, 2016). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa menggabungkan GIS dengan model hidrologi dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam dalam menilai hubungan antara tutupan lahan dan karakteristik aliran sungai (Javadian & Ahmadi, 2016). Penggunaan GIS juga dapat membantu mengidentifikasi kawasan kritis yang rentan terhadap erosi dan sedimentasi, sehingga menjadi dasar bagi strategi konservasi yang lebih tepat sasaran (Foody, 2020). Dalam konteks pengelolaan daerah aliran sungai, data spasial yang dihasilkan oleh GIS juga dapat digunakan untuk mendukung perencanaan tata ruang, restorasi lahan terdegradasi, dan perancangan kebijakan berbasis bukti (Verburg et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tutupan lahan DAS Rasolo menggunakan metode GIS untuk memberikan informasi komprehensif bagi perencanaan dan pengelolaan DAS berkelanjutan. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh data teknik klasifikasi tutupan lahan dan persentase tutupan lahan di DAS Rasolo. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi pemangku kepentingan untuk melakukan upaya mitigasi dan menyusun strategi pengelolaan DAS yang lebih efektif.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis (GIS) adalah teknologi berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan menyajikan data spasial (Burrough & McDonnell, 2015). GIS berperan penting dalam berbagai bidang termasuk penilaian penggunaan lahan karena kemampuannya memberikan informasi akurat mengenai perubahan spatiotemporal tutupan lahan (Longley et al., 2015). Dengan menggunakan GIS, analisis spasial dapat dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi citra, seperti metode maksimum kemungkinan klasifikasi (MLC), untuk menentukan jenis tutupan lahan dengan akurasi tinggi (Lillesand et al., 2015).

Metode Maximum Likelihood Classification (MLC)

Metode Maximum Likelihood Classification (MLC) adalah salah satu metode klasifikasi berbasis statistik yang paling umum digunakan dalam analisis citra penginderaan jauh. Metode ini bekerja dengan mengasumsikan bahwa setiap kelas lahan memiliki distribusi probabilitas normal dalam ruang fitur citra (Richards & Jia, 2006). Keunggulan metode MLC adalah kemampuannya dalam menangani variasi spektral di dalam kelas yang sama serta mempertimbangkan kovarians antar kelas (Jensen, 2016). Namun, kelemahannya terletak pada kebutuhan data latih yang representatif untuk meningkatkan akurasi klasifikasi (Campbell & Wynne, 2011).

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah daratan yang menampung air hujan dan mengalirkannya ke sungai-sungai besar melalui anak-anak sungainya (Asdak, 2018). Daerah aliran sungai mempunyai peranan penting dalam siklus hidrologi dan kelestarian ekosistem, sehingga pengelolaannya harus mempertimbangkan aspek konservasi dan pemanfaatan lahan berkelanjutan (Ward et al., 2015). Perubahan penggunaan lahan DAS dapat mempengaruhi keseimbangan hidrologi, erosi tanah, dan kualitas air (Meyer & Turner, 2016). Oleh karena itu, penilaian penggunaan lahan dengan bantuan GIS sangat diperlukan ketika merencanakan pengelolaan daerah aliran sungai yang berkelanjutan (Gash et al., 2015).

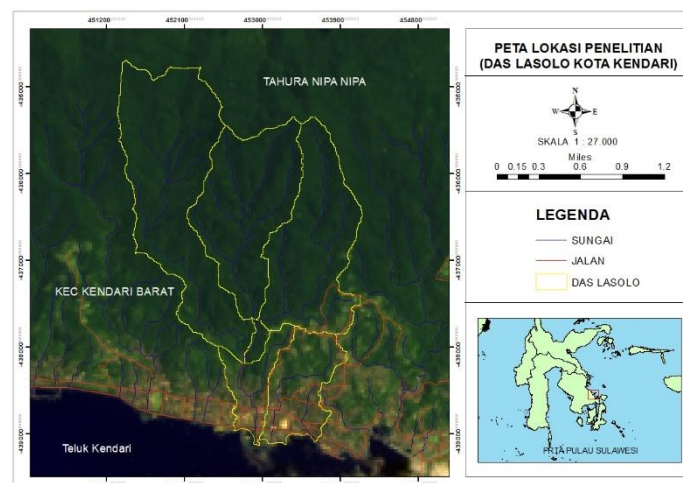
Persentase Penutupan Lahan

Penutupan lahan merupakan kondisi aktual permukaan bumi yang mencerminkan vegetasi alami, lahan pertanian, permukiman, perairan, dan tipe tutupan lainnya (Foley et al., 2005). Analisis persentase penutupan lahan menggunakan SIG dapat memberikan gambaran perubahan lanskap dari waktu ke waktu (Lambin et al., 2001). Data penutupan lahan diperoleh melalui klasifikasi citra satelit,

di mana metode MLC menjadi salah satu teknik yang sering digunakan untuk pemetaan perubahan tutupan lahan dengan tingkat akurasi tinggi (Foody, 2002). Informasi ini sangat penting dalam perencanaan tata guna lahan yang berbasis keberlanjutan (Verburg et al., 2013).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Lasolo pada bulan September tahun 2024. DAS ini bermuara di teluk Kendari dan bagian Hulu berada di Tahura Nipa Nipa. Sebagian besar wilayah ini berada di wilayah administrasi kecamatan Kendari Barat Kota Kendari provinsi Sulawesi Tenggara. Alat yang digunakan meliputi seperangkat laptop yang telah terinstal Aplikasi MS Word, MS Excel dan aplikasi ArcGIS. Sedangkan bahan yang digunakan meliputi data Citra Landsat tahun 2024. Adapun peta lokasi penelitian disajikan sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Analisis Tutupan Lahan Metode Maximum Likelihood Classification

Metode Maximum Likelihood Classification (MLC) adalah salah satu teknik yang paling umum digunakan dalam pengolahan citra satelit dan analisis data spasial di ArcGIS (Jensen, 2005). Metode ini didasarkan pada prinsip probabilitas, di mana kelas objek pada citra diidentifikasi berdasarkan kemungkinan terbesar berdasarkan distribusi statistik data (Richards & Jia, 2006). Proses klasifikasi ini sangat berguna untuk analisis penggunaan lahan, pemantauan perubahan lahan, dan pemetaan tutupan lahan (Lu & Weng, 2007).

Proses klasifikasi dengan metode Maximum Likelihood Classification (MLC) pada ArcGIS dapat dilakukan dalam beberapa langkah. Pertama, pengguna harus memilih area pelatihan yang representatif untuk setiap kelas yang ingin dikelompokkan. Area pelatihan ini digunakan untuk menghitung statistik seperti rata-rata dan kovarians yang digunakan dalam perhitungan fungsi probabilitas (Jensen, 2005). Setelah itu, ArcGIS akan menghitung likelihood untuk setiap piksel dan mengklasifikasikan piksel tersebut ke dalam kelas yang memiliki probabilitas tertinggi (Richards & Jia, 2006). Seluruh proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat Reclassify dan Maximum Likelihood Classification yang ada di ArcGIS.

Penggunaan uji akurasi Kappa sering kali diterapkan dalam analisis spasial, terutama yang berkaitan dengan penginderaan jauh, untuk menilai akurasi hasil klasifikasi citra satelit. Salah satu contoh penerapan uji Kappa dapat ditemukan dalam studi oleh Story & Congalton (1986), yang menunjukkan bahwa uji Kappa dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas data klasifikasi citra dari penginderaan jauh secara statistik. Tingkat kesepakatan dalam uji Kappa dikategorikan sebagai berikut: nilai Kappa lebih dari 0,8 menunjukkan kesepakatan yang sangat baik, antara 0,6 hingga 0,8 menunjukkan kesepakatan yang baik, dan nilai kurang dari 0,4 menunjukkan kesepakatan yang buruk.

(Landis & Koch, 1977). Nilai Kappa yang tinggi menunjukkan bahwa klasifikasi yang dilakukan mendekati kebenaran atau sesuai dengan data referensi yang digunakan dalam analisis. Pengambilan sampel untuk uji akurasi dilakukan dengan tehnik Purposive sampling.

Evaluasi PPV DAS

Persentase Penutupan Vegetasi (PPV) adalah ukuran yang menggambarkan seberapa banyak permukaan lahan yang tertutup oleh vegetasi dalam suatu daerah. PPV dihitung dengan menghitung jumlah area yang tertutup oleh vegetasi dibandingkan dengan total area yang dianalisis. Penutupan vegetasi ini sangat penting dalam pemantauan kondisi ekosistem, pengelolaan sumber daya alam, dan analisis hidrologi, terutama dalam konteks Daerah Aliran Sungai (DAS) karena berperan besar dalam siklus hidrologi dan pengendalian erosi (Martha et al., 2016). Adapun rumus PPV disajikan sesuai Persamaan berikut.

$$PPV = LVP / \text{Luas DAS} \times 100$$

Dimana : PPV (Persentase Penutupan Lahan), LVP (Luas Vegetasi Penutup)

PPV menjadi salah satu parameter penting dalam memahami pengaruh tutupan vegetasi terhadap aliran air, kapasitas retensi air, dan kestabilan tanah. Vegetasi yang rapat berfungsi untuk menyerap air hujan dan mengurangi limpasan permukaan yang dapat menyebabkan erosi tanah. Oleh karena itu, PPV juga dapat digunakan untuk mengevaluasi perubahan penutupan lahan dan dampaknya terhadap kualitas dan kuantitas sumber daya air dalam DAS (Araujo et al., 2018). Adapun kelas klasifikasi PPV DAS disajikan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Nilai dan Kelas PPV

No	Nilai (%)	Kelas
1	$PPV \geq 80$	Sangat baik
2	$60 < PPV \leq 80$	Baik
3	$40 < PPV \leq 60$	Sedang
4	$20 < PPV \leq 40$	Buruk
5	$PPV \leq 20$	Sangat Buruk

Sumber: Permenhut nomor 61 tahun 2014 tentang moneyv DAS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tutupan Lahan Metode Maximum Likelihood Classification

Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan dengan MLC pada citra landsat ditemukan 4 klasifikasi tutupan lahan yaitu pemukiman, lahan terbuka, pertanian lahan kering dan hutan. Adapun hasil klasifikasi dan luas tutupan lahan di DAS lasolo disajikan sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi dan Luas Tutupan Lahan di DAS Lasolo

No	Penutupan lahan	Luas/Ha
1	Pemukiman	84.70
2	Lahan terbuka	3.06
3	Pertanian lahan kering	103.46
4	Hutan	572.81

Sumber: Data hasil olahan tahun 2024

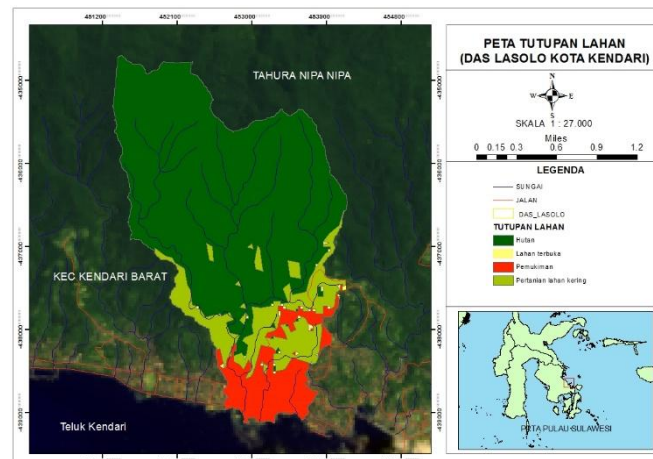
Hasil klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode Maximum Likelihood Classification (MLC) menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh hutan dengan luas 572,81 hektar (ha). Hutan merupakan kelas tutupan lahan terbesar, mencerminkan bahwa kawasan ini masih memiliki tingkat vegetasi yang relatif baik. Keberadaan hutan dalam suatu wilayah sangat penting karena

berfungsi sebagai penyedia jasa ekosistem, termasuk regulasi siklus hidrologi dan penyimpanan karbon (Richards & Van Gils, 2020).

Kelas penutupan lahan terbesar kedua adalah pertanian lahan kering dengan luas 103,46 ha. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat aktivitas pertanian yang cukup signifikan di wilayah tersebut. Lahan pertanian lahan kering biasanya digunakan untuk budidaya tanaman semusim yang bergantung pada curah hujan. Menurut Syahrudin et al. (2022), perubahan tutupan lahan pertanian sering kali disebabkan oleh faktor ekonomi dan kebijakan tata ruang yang mendorong perluasan lahan garapan.

Pemukiman memiliki luas 84,70 ha, menandakan adanya aktivitas urbanisasi atau pemekaran wilayah perumahan. Peningkatan luas pemukiman sering kali berhubungan dengan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan infrastruktur. Penelitian oleh Setiawan et al. (2021) menemukan bahwa ekspansi pemukiman dapat mengurangi tutupan vegetasi alami dan meningkatkan risiko erosi serta perubahan iklim mikro.

Lahan terbuka memiliki luas terkecil, yaitu 3,06 ha. Lahan terbuka biasanya mencakup area yang belum dimanfaatkan secara maksimal, seperti lahan bekas tambang, lahan kritis, atau wilayah yang mengalami degradasi (Rahman et al., 2023). Keberadaan lahan terbuka yang rendah menunjukkan bahwa wilayah penelitian tidak mengalami deforestasi besar-besaran atau degradasi lahan yang signifikan. Adapun sebaran tutupan lahan di DAS Lasolo disajikan sesuai Gambar 2.



Gambar 2. Sebaran Klasifikasi Tutupan Lahan DAS Lasolo

Uji Akurasi Kappa

Jumlah sampel yang digunakan pada uji akurasi yaitu 67 sampel. Jumlah ini didasarkan pada jumlah polygon dari empat jenis penutupan lahan yang tersebar di DAS Lasolo. Jumlah sampel pada Lahan pemukiman yaitu 12 sampel, lahan terbuka 30 sampel, Pertanian lahan kering 15 sampel dan hutan 10 Sampel. Hasil uji akurasi a klasifikasi tutupan lahan dengan metode Maximum Likelihood Classification (MLC) menghasilkan nilai akurasi kappa sebesar 87.38%. Nilai ini menunjukkan bahwa model klasifikasi yang digunakan memiliki tingkat keandalan yang tinggi dalam membedakan kelas tutupan lahan yang dianalisis. Nilai kappa yang berada di atas 80% umumnya dikategorikan sebagai klasifikasi dengan tingkat akurasi yang sangat baik (Congalton & Green, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa metode klasifikasi yang diterapkan dapat meminimalisir kesalahan klasifikasi dan memiliki performa yang baik dalam merepresentasikan kondisi tutupan lahan di daerah studi. Matriks uji akurasi kappa disajikan sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Kesalahan Uji Akurasi Kappa DAS Lasolo

No	Penutupan lahan	Pemukiman	Lahan terbuka	Pertanian lahan kering	Hutan	Jumlah
1	Pemukiman	12				12
2	Lahan terbuka	2	25	3		30

No	Penutupan lahan	Pemukiman	Lahan terbuka	Pertanian lahan kering	Hutan	Jumlah
3	Pertanian lahan kering		1	14		15
4	Hutan				10	10
	Jumlah	14	26	17	10	67

Sumber: Data hasil olahan tahun 2024

Persentase Penutupan lahan (PPV)

Berdasarkan hasil analisis, nilai PPV DAS Lasolo sebesar 88,5% dengan kategori sangat baik. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah DAS Lasolo masih tertutup oleh vegetasi alami seperti hutan atau lahan pertanian berkanopi tinggi. Nilai ini sangat penting karena penutupan vegetasi memiliki peran utama dalam menjaga fungsi ekologis DAS, termasuk dalam regulasi hidrologi, dan pengendalian erosi (Bruijnzeel, 2004).

1. Regulasi Hidrologi dan Keseimbangan Air

Tingginya PPV dalam DAS Lasolo menunjukkan kemampuan kawasan ini dalam mempertahankan siklus hidrologi yang seimbang. Vegetasi yang lebat dapat meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, mengurangi limpasan permukaan, serta menjaga keberlanjutan sumber air tanah (Bonell & Bruijnzeel, 2005). Dengan demikian, DAS Lasolo yang memiliki PPV sangat baik cenderung memiliki debit sungai yang lebih stabil sepanjang tahun dan lebih tahan terhadap risiko banjir serta kekeringan (Kurnianto et al., 2021).

2. Pengendalian Erosi dan Sedimentasi

Penutupan vegetasi yang tinggi juga berkontribusi dalam mengurangi tingkat erosi tanah. Akar tanaman berfungsi memperkuat struktur tanah, sedangkan kanopi pohon membantu mereduksi energi kinetik curah hujan yang dapat menyebabkan degradasi lahan (Putuhena et al., 2019). Dengan PPV sebesar 88,5%, kemungkinan erosi tanah dan sedimentasi di DAS Lasolo dapat ditekan secara signifikan, sehingga menjaga kualitas air di sungai tetap baik dan meminimalkan pendangkalan (Tadono et al., 2022).

3. Keseimbangan Karbon dan Mitigasi Perubahan Iklim

Penutupan vegetasi yang tinggi berperan dalam menyerap karbon dioksida dari atmosfer, membantu mengurangi dampak perubahan iklim. Hutan dan vegetasi alami dalam DAS bertindak sebagai penyerap karbon (carbon sink), yang berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca dan stabilisasi iklim mikro di sekitarnya (Wijaya et al., 2020).

KESIMPULAN

Analisis tutupan lahan menggunakan metode Maximum Likelihood Classification (MLC) pada citra landsat di DAS Lasolo menemukan empat klasifikasi tutupan lahan: pemukiman, lahan terbuka, pertanian lahan kering, dan hutan. Hasil menunjukkan hutan mendominasi dengan luas 572,81 ha, diikuti pertanian lahan kering 103,46 ha, pemukiman 84,70 ha, dan lahan terbuka 3,06 ha. Uji akurasi klasifikasi menunjukkan nilai kappa 87,38%, menandakan model klasifikasi yang andal. Persentase Penutupan Vegetasi (PPV) adalah 88,5%, menunjukkan penutupan vegetasi yang sangat baik. Meskipun nilai PPV pada DAS ini masih sangat baik, daerah pemukiman bagian Hilir selalu mengalami bencana banjir. Dengan demikian wilayah DAS ini masih perlu dilakukan analisis tingkat lanjut mengingat bahwa variabel pengamatan kesehatan DAS tidak hanya berdasarkan pada nilai PPV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada Pimpinan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo atas dukungan, bimbingan, serta masukan yang berharga. Saya juga berterima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan

motivasi serta dorongan dalam menyelesaikan tulisan ini. Semoga kontribusi dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal.

REFERENSI

- Araujo, R., Alves, D., & Silva, D. (2018). Assessment of Vegetation Cover Changes in Watersheds using Remote Sensing and GIS: A Case Study of the Jaguaribe River Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(8), 501.
- Asdak, C. (2018). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Bonell, M., & Bruijnzeel, L. A. (2005). *Forest, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management*. Cambridge University Press.
- Bruijnzeel, L. A. (2004). "Hydrological Functions of Tropical Forests: Not Seeing the Soil for the Trees?" *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185-228.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (2015). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press.
- Davik, Rachman, L. M., Hidayat, Y., & Ridwansyah, I. (2022). Dinamika perubahan penggunaan lahan di Sub DAS Cirasea (DAS Citarum Hulu). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (JPPDAS)*, 6(2), 161–178. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2022.6.2.161-178>
- Foley, J. A., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185-201.
- Foody, G. M. (2020). *GIS and Environmental Modelling*. Taylor & Francis.
- Gash, J. H. C., Odongo, B., & Oyebande, L. (2015). *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change*. Cambridge University Press.
- Giri, C. (2016). *Remote Sensing of Land Use and Land Cover*. CRC Press.
- Javadian, A., & Ahmadi, M. (2016). Application of GIS-based hydrological modeling for sustainable watershed management: Case study of Karun River Basin, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 694.
- Jensen, J. R. (2016). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Pearson.
- Jensen, J.R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Kurnianto, S., Anshari, G. Z., & Septiana, E. (2021). "Hydrological Response of Watershed to Land Use Change in Indonesia." *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35, 100823.
- Lambin, E. F., et al. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2001). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205-241.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870.
- Martha, G. B., Heredia, P., & Souza, C. M. (2016). Impact of Land Use and Land Cover Changes on the Vegetation Cover in the Upper Tietê River Basin, Brazil. *Land Degradation & Development*, 27(1), 101-111.
- Meyer, W. B., & Turner, B. L. (2016). *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge University Press.
- Permenhut Nomor 61 Tahun 2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi DAS

-
- Putuhena, W. M., Haryani, P., & Setiawan, Y. (2019). "Effect of Land Cover Change on Erosion and Sedimentation in a Tropical Watershed." *International Journal of Environmental Science and Development*, 10(4), 114-120.
- Rahman, M. S., Ahmed, B., & Huq, F. F. (2023). "Land Cover Change and Its Environmental Impacts: A Case Study in Bangladesh." *Environmental Management*, 62(3), 455-472.
- Richards, J.A., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* (4th ed.). Springer.
- Richards, P., & Van Gils, H. (2020). "Dynamics of Deforestation and Agricultural Expansion in South America." *Land Use Policy*, 95, 104660.
- Setiawan, Y., Prasetyo, L. B., & Ardiansyah, M. (2021). "Urbanization and Land Use Change in Indonesia: A Remote Sensing Approach." *Journal of Geospatial Science*, 12(2), 87-101.
- Story, M., & Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: A user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), 397-399.
- Syahrudin, H., Fauzi, A., & Ramadhani, N. (2022). "Land Use Change and Agricultural Sustainability in Southeast Asia." *Journal of Agricultural Development*, 18(1), 15-29.
- Tadono, T., Shimada, M., & Yamamoto, H. (2022). "Monitoring Watershed Changes Using Remote Sensing and GIS." *Remote Sensing of Environment*, 268, 112759.
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2020). "The Emergence of Land Change Science for Global Environmental Change and Sustainability." *PNAS*, 110(1), 17-20.
- Verburg, P. H., Crossman, N., & Ellis, E. (2019). "Land System Science and Sustainable Development of Land Use Systems." *Nature Sustainability*, 2(5), 370-376.
- Verburg, P. H., Erb, K.-H., Mertz, O., & Espindola, G. (2019). *Land System Science: Connecting People to Nature*. Springer.
- Verburg, P. H., Neumann, K., & Nol, L. (2013). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Global Change Biology*, 19(4), 1688-1704.
- Ward, J. V., Tockner, K., Arscott, D. B., & Claret, C. (2015). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*, 50(4), 517-539.
- Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications*. McGraw-Hill.
- Wijaya, A., Gaveau, D., & Murdiyarso, D. (2020). "Carbon Emission Reduction from Peatland and Forest Conservation in Indonesia." *Global Environmental Change*, 64, 102154.
- World Resources Institute (WRI). (2021). *The State of Indonesia's Forests and Water Resources*. WRI Indonesia.
- Wulder, M. A., White, J. C., & Loveland, T. R. (2021). "The Role of Remote Sensing in Contemporary Land Change Science." *Remote Sensing of Environment*, 256, 112304.
- Yang, X., & Lo, C. P. (2020). "Modelling Urban Growth and Landscape Changes Using Remote Sensing and GIS." *Landscape and Urban Planning*, 78(1), 65-76.