

**ANALISIS KOMPARASI STATISTIK DAN IMPLIKASI EKOLOGIS DINAMIKA
TUTUPAN LAHAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) LIMBOTO PERIODE 2018-
2022: PENDEKATAN UJI NON-PARAMETRIK WILCOXON SIGNED-RANK**

Dicky Artha¹, Iswan Dunggio², Sukirman Rahim³

Program Studi Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Pascasarjana, Universitas Negeri Gorontalo

Email Korespondensi: iswan@ung.ac.id

Email: mutedmulana@gmail.com

ABSTRACT

Land use transformation within the Limboto Watershed (DAS Limboto) serves as a critical indicator of anthropogenic pressure on the Limboto Lake ecosystem, which currently holds a National Critical status. Most previous studies have evaluated these changes using descriptive percentage methods without inferential statistical validation, thereby failing to detect significant anomalies within the spatial distribution data. This study aims to: (1) analyze the distribution characteristics of land use change data in the Limboto Watershed from 2018 to 2022, (2) test the significance of differences in land use structure using a non-parametric statistical approach, and (3) evaluate the environmental implications of these dynamics on the watershed's hydrological functions. The study utilized secondary time-series land cover data consisting of 12 land use categories ($n=12$). The analysis was conducted using the Shapiro-Wilk Normality Test and the Wilcoxon Signed-Rank Test for paired samples. Descriptive analysis revealed massive degradation in Shrubs (*Semak Belukar*) (-9,838.89 Ha or -79.16%), which shifted primarily into Dryland Agriculture (+4,854.16 Ha) and Plantation Forest (+1,270 Ha). Statistical testing indicated that the distribution of land use change differences was non-normal ($p<0.05$). The Wilcoxon test yielded an asymptotic significance value (p) of 0.248 ($p>0.05$), indicating that, in aggregate, there was no statistically significant difference in the median land area between 2018 and 2022. These findings suggest a phenomenon of "statistical illusion of stability," where the balance of data ranks obscures the reality of severe environmental degradation. The conversion of natural vegetation into monoculture corn farming in upstream areas is predicted to increase the run-off coefficient and exacerbate sedimentation rates in Limboto Lake.

Keywords: Land Use Change, Wilcoxon Signed-Rank, Sedimentation, Environmental Statistics

ABSTRAK

Transformasi penggunaan lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Limboto merupakan indikator kritis tekanan antropogenik terhadap ekosistem Danau Limboto yang kini berstatus Kritis Nasional. Sebagian besar kajian sebelumnya mengevaluasi perubahan ini menggunakan metode deskriptif persentase tanpa validasi statistik inferensial, sehingga gagal mendeteksi signifikansi anomali data dalam distribusi spasial. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis karakteristik distribusi data perubahan lahan DAS Limboto 2018-2022, (2) menguji signifikansi perbedaan struktur penggunaan lahan menggunakan pendekatan statistika non-parametrik, dan (3) mengevaluasi dampak lingkungan dari dinamika tersebut terhadap fungsi hidrologis DAS. Data penelitian adalah data sekunder luas tutupan lahan *time series* ($n=12$ kategori). Analisis dilakukan melalui Uji Normalitas *Shapiro-Wilk* dan Uji Beda Dua Sampel Berpasangan *Wilcoxon Signed-Rank*. Hasil: Analisis deskriptif menunjukkan degradasi masif pada *Semak Belukar* (-9.838,89 Ha atau -79,16%) yang beralih fungsi menjadi *Pertanian Lahan Kering* (+4.854,16 Ha) dan *Hutan Tanaman* (+1.270 Ha). Uji statistik menunjukkan distribusi selisih perubahan lahan tidak normal ($p<0.05$). Uji *Wilcoxon* menghasilkan nilai signifikansi asimtotik (p) sebesar 0.248 ($p>0.05$), yang berarti secara statistik agregat tidak terdapat perbedaan signifikan pada median luas lahan. Temuan ini mengindikasikan

Penerbit:

LKISPOL (Lembaga Kajian Ilmu Sosial dan Politik)

redaksigovernance@gmail.com/admin@lkispol.or.id

502

Indexed



fenomena "stabilitas statistik semu" (*statistical illusion of stability*), di mana keseimbangan peringkat data menutupi realitas degradasi lingkungan. Konversi lahan vegetasi alami menjadi pertanian jagung monokultur di area hulu diprediksi meningkatkan koefisien larian (*run-off*) dan memperparah laju sedimentasi ke Danau Limboto.

Kata Kunci: Perubahan Lahan, Wilcoxon Signed-Rank, Sedimentasi, Statistika Lingkungan.

PENDAHULUAN

Dinamika perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan (*Land Use and Land Cover Change/LULCC*) merupakan salah satu pendorong utama perubahan lingkungan global yang berdampak langsung pada siklus hidrologi, keanekaragaman hayati, dan emisi karbon. Di Indonesia, fenomena ini seringkali termanifestasi dalam bentuk konversi hutan dan lahan vegetasi alami menjadi area pertanian intensif demi mengejar target ketahanan pangan dan pertumbuhan ekonomi regional (Pratama & Yusri, 2020).

Provinsi Gorontalo, khususnya kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS) Limboto, menghadapi tantangan berat terkait pengelolaan tata guna lahan. DAS Limboto dengan luas hulu yang signifikan merupakan area tangkapan air (*catchment area*) utama bagi Danau Limboto. Danau ini telah ditetapkan oleh pemerintah pusat sebagai salah satu dari 15 Danau Prioritas Nasional yang memerlukan penyelamatan segera karena mengalami pendangkalan (sedimentasi) yang ekstrem. Luas Danau Limboto menyusut drastis dari ± 7.000 Ha pada tahun 1932 menjadi kurang dari 2.500 Ha pada dekade terakhir (Kementerian LHK, 2020).

Salah satu faktor pemicu utama degradasi ini adalah perubahan pola tanam masyarakat di wilayah hulu. Fenomena ekspansi tanaman jagung (*Zea mays*) atau yang sering disebut "Jagungisasi" di Gorontalo telah mendorong pembukaan lahan-lahan marginal, termasuk area semak belukar di lereng curam (Lihawa & Mahmud, 2017). Praktik pertanian lahan kering tanpa kaidah konservasi tanah yang memadai ini meningkatkan laju erosi tanah, yang kemudian terbawa aliran sungai seperti Sungai Alo dan Puhu, lalu mengendap di Danau Limboto (Dunggio & Ichsan, 2022).

Pemantauan perubahan tutupan lahan di DAS Limboto telah banyak dilakukan menggunakan teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Namun, tinjauan literatur menunjukkan adanya kesenjangan metodologis. Mayoritas studi yang ada, seperti penelitian Setiawan dan Hidayat (2021) serta Yudistira dan Ramadhan (2023), cenderung berfokus pada analisis deskriptif spasial. Hasil penelitian umumnya disajikan dalam bentuk peta dan tabel persentase perubahan, misalnya studi perubahan lahan pesisir oleh Koem dan Rusiyah (2022).

Meskipun informatif, pendekatan deskriptif memiliki kelemahan fundamental dalam pembuktian ilmiah. Analisis ini tidak mampu menjawab pertanyaan: "*Apakah perubahan yang teramati tersebut signifikan secara statistik, ataukah hanya variasi acak dalam sistem data spasial?*" Tanpa uji statistik inferensial, interpretasi data menjadi subjektif. Selain itu, data luas lahan dalam satu wilayah administrasi tertutup memiliki karakteristik *closed number system* atau *zero-sum game*, yang sering menyebabkan data tidak berdistribusi normal, sehingga penggunaan uji statistik parametrik standar (seperti *Paired T-Test*) menjadi bias dan tidak valid (Mishra et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan statistika non-parametrik yang lebih *robust* (tahan uji). Tulisan ini akan menganalisis karakteristik distribusi data statistik perubahan penggunaan lahan di DAS Limboto periode 2018-2022, Menguji signifikansi perbedaan struktur penggunaan lahan antara tahun 2018 dan 2022 menggunakan Uji *Wilcoxon Signed-Rank* dan Mengevaluasi implikasi hasil uji statistik tersebut terhadap interpretasi kondisi ekologis dan hidrologis DAS Limboto.

METODE

Penelitian ini berfokus pada wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Limboto yang secara administratif terletak di Kabupaten Gorontalo dan sebagian Kota Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Rentang waktu analisis data adalah periode 4 tahun, yaitu membandingkan kondisi *baseline* tahun 2018 dengan kondisi akhir tahun 2022. Data utama yang digunakan adalah data sekunder berupa tabel atribut luas tutupan lahan yang diterbitkan oleh Balai Pengelolaan DAS dan Hutan Lindung (BPDAS) Bone Bolango. Klasifikasi penggunaan lahan terdiri dari 12 kelas ($n=12$), yaitu Hutan Lahan Kering Sekunder, Hutan Tanaman, Semak Belukar, Perkebunan, Pemukiman, Tanah Terbuka, Tubuh Air, Belukar Rawa, Pertanian Lahan Kering, Pertanian Lahan Kering Campur, Sawah dan Bandara

Langkah awal adalah menghitung perubahan luasan (L) dan laju perubahan untuk setiap kategori:

$$\Delta L = L_{2022} - L_{2018}$$
$$\%Change = \frac{L_{2022} - L_{2018}}{L_{2018}} \times 100\%$$

Untuk menentukan metode uji hipotesis yang tepat, dilakukan uji normalitas pada variabel selisih ΔL . Uji *Shapiro-Wilk* dipilih karena lebih sensitif untuk sampel kecil dibandingkan *Kolmogorov-Smirnov*. Statistik uji W dihitung sebagai:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Untuk menentukan metode uji hipotesis

Hipotesis:

- H_0 : Data selisih berdistribusi normal.
- H_1 : Data selisih tidak berdistribusi normal. Kriteria: Tolak H_0 jika nilai $p < 0.05$.

Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi (berdasarkan hasil pendahuluan), digunakan uji Wilcoxon.

Prosedur uji:

1. Hitung selisih (d_i) untuk setiap pasangan. Abaikan $d_i = 0$.
2. Urutkan nilai mutlak $|d_i|$ dari terkecil ke terbesar dan berikan peringkat (R_i)
3. Hitung jumlah peringkat bertanda positif (T^+) dan negatif (T^-).
4. Statistik uji Z (untuk $n > 10$) didekati dengan distribusi normal baku:

$$Z = \frac{T - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}$$

Hipotesis Penelitian:

- H_0 : Median selisih populasi adalah nol ($M_d = 0$). (Tidak ada perbedaan signifikan).
- H_1 : Median selisih populasi tidak sama dengan nol ($M_d \neq 0$). (Ada perbedaan signifikan).

PEMBAHASAN

Karakteristik Perubahan Fisik Penggunaan Lahan

Hasil pengolahan data menunjukkan dinamika perubahan lahan yang sangat fluktuatif di DAS Limboto selama periode 2018 dan 2022. Tabel 1 merangkum matriks perubahan luasan untuk seluruh kategori lahan.

Tabel 1: Kategori Perubahan Lahan tahun 2018 dan 2022

PENGUNAAN LAHAN	LUAS 2018 (HA)	LUAS 2022 (HA)	SELISIH (HA)	% PERUBAHAN
Hutan Lahan Kering Sekunder	7487.10	8537.97	1050.87	14.04%
Hutan Tanaman	0.00	1270.03	1270.03	-
Semak Belukar	12428.12	2589.23	-9838.89	-79.17%
Perkebunan	300.11	419.75	119.64	39.87%
Pemukiman	3139.62	4033.12	893.50	28.46%
Tanah Terbuka	32.21	97.08	64.87	201.40%
Tubuh Air	2436.05	2519.96	83.91	3.44%
Belukar Rawa	1070.12	889.49	-180.63	-16.88%
Pertanian Lahan Kering	25109.30	29963.46	4854.16	19.33%
Pertanian Lahan Kering Campur	28766.98	30631.42	1864.44	6.48%
Sawah	8534.82	8352.92	-181.90	-2.13%
Bandara	81.17	81.17	0.00	0.00%

Sumber: Analisis Data Sekunder, 2025

Secara visual, data menunjukkan adanya "transfer" luasan yang masif. Penurunan tajam pada Semak Belukar (-79,17%) hampir setara dengan akumulasi peningkatan pada sektor pertanian (Lahan Kering, Campur, dan Hutan Tanaman). Hal ini mengindikasikan bahwa pembukaan lahan baru (ekstensifikasi) mayoritas menyasar area semak belukar yang kemungkinan besar berada di area perbukitan atau lahan tidur.

Selain itu, kategori Pemukiman juga mengalami kenaikan sebesar 893,5 Ha (+28,46%), yang mencerminkan pertumbuhan area terbangun seiring dengan penambahan penduduk.

Hasil Uji Prasyarat Analisis

Hasil uji normalitas *Shapiro-Wilk* terhadap variabel selisih (ΔL) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Uji Normalitas

VARIABEL	STATISTIC (W)	DF	SIG.	KETERANGAN
Selisih Perubahan Lahan (Diff)	0.680	12	0.001	Tidak Berdistribusi Normal

(Sumber: Analisis Data Sekunder, 2025)

Dengan nilai signifikansi $p = 0.001 < 0.05$, maka H_0 ditolak. Hal ini menegaskan bahwa data perubahan lahan di DAS Limboto tidak berdistribusi normal. Kurva distribusi data sangat runcing (*leptokurtic*) dengan ekor yang berat, disebabkan oleh adanya perubahan ekstrem pada kategori Semak Belukar dan Pertanian, sementara kategori lain seperti Tubuh Air dan Tanah Terbuka perubahannya relatif kecil. Ketidaknormalan ini memvalidasi penggunaan statistik non-parametrik.

Hasil Uji Hipotesis (Wilcoxon Signed-Rank)

Rangkuman hasil uji peringkat bertanda *Wilcoxon* disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3: Rangkuman Uji Wilcoxon Signed-Rank

PARAMETER	NILAI	KEPUTUSAN
Z Statistic	-1.156	-

Penerbit:

LKISPOL (Lembaga Kajian Ilmu Sosial dan Politik)

redaksigovernance@gmail.com/admin@lkispol.or.id

505

Indexed

SINTA 5



Asymp. Sig. (2-tailed)	0.248	Gagal Tolak H0
Negative Ranks (N)	3	Penurunan Luas
Positive Ranks (N)	8	Kenaikan Luas
Ties	1	Tetap

Hasil pengujian menunjukkan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar 0.248. Karena nilai $0.248 > 0.05$ (taraf signifikansi 5%), maka keputusan statistik adalah Gagal Menolak H0. Kesimpulan statistik: Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada median luas penggunaan lahan DAS Limboto antara tahun 2018 dan 2022.

Paradoks Statistik: Ilusi Stabilitas dalam Data Lingkungan

Hasil uji statistik yang menyatakan "tidak ada perubahan signifikan" tampak bertentangan dengan fakta fisik lapangan di mana terjadi perubahan bentang alam ribuan hektar. Inilah yang disebut sebagai Paradoks Statistik dalam data lingkungan *closed-system*.

Uji *Wilcoxon* bekerja berdasarkan peringkat (*ranking*), bukan magnitudo absolut. Meskipun *Semak Belukar* kehilangan hampir 10.000 Ha, dalam logika uji peringkat, data ini hanya dihitung sebagai "satu kejadian penurunan" (Negative Rank). Penurunan masif ini secara matematis diimbangi oleh kenaikan moderat pada 8 kategori penggunaan lahan lainnya (Positive Ranks). Akibatnya, median dari selisih data tetap berada di sekitar nol.

Temuan ini memberikan pelajaran penting: Kestabilan angka agregat statistik dapat menutupi instabilitas ekologis yang parah. Jika pengambil kebijakan hanya melihat laporan statistik makro yang menyimpulkan "struktur lahan stabil ($p > 0.05$)", maka urgensi penanganan kritis bisa terabaikan. Analisis statistik harus selalu disandingkan dengan analisis anomali (*outlier analysis*) untuk melihat realitas sebenarnya.

Fenomena "Jagungisasi" dan Degradasi Lahan

Meskipun statistik menyatakan stabil, realitas ekologis menunjukkan sinyal bahaya. Konversi *Semak Belukar* menjadi Pertanian Lahan Kering adalah bentuk degradasi kualitas lahan yang serius. Temuan ini mengonfirmasi fenomena "Jagungisasi" yang masif di Gorontalo, di mana lahan-lahan tidur dibuka untuk tanaman jagung (Yudistira & Ramadhan, 2023).

Implikasi ekologis dari perubahan ini sangat krusial jika ditinjau dari aspek konservasi tanah dan air:

1. Peningkatan Faktor C (Cover Management): *Semak belukar* adalah tutupan lahan dengan kerapatan vegetasi tinggi yang efektif mematahkan energi kinetik hujan. Nilai faktor C untuk semak berkisar 0,01. Saat diubah menjadi ladang jagung, nilai C melonjak menjadi 0,5 - 0,7 (terutama saat fase tanam awal). Ini berarti potensi erosi meningkat hingga 50-70 kali lipat pada petak lahan yang sama (Kurniawan et al., 2022).
2. Kerentanan Morfologi: Sebagian besar *semak belukar* di DAS Limboto terletak di area perbukitan dengan kemiringan lereng $>15\%$. Pembukaan lahan pertanian di area ini tanpa terasering memicu *sheet erosion* (erosi lembar) yang menggerus lapisan topsoil subur.

Dampak terhadap Sedimentasi Danau Limboto

Perubahan di hulu DAS memiliki dampak langsung ke hilir. Danau Limboto bertindak sebagai "wadai" (*sink*) bagi seluruh material sedimen yang dihasilkan di DAS. Berdasarkan data penelitian, penambahan luas pertanian lahan kering sebesar +4.854 Ha merupakan ancaman nyata bagi keberlangsungan danau. Material tanah yang tererosi dari lahan pertanian ini akan terbawa oleh jaringan sungai (Sungai Biyonga, Alo, Pohu) dan mengendap di dasar danau.

Studi Dunggio dan Ichsan (2022) menyebutkan bahwa muatan sedimen (*sediment load*) terbesar berasal

dari sub-DAS yang didominasi pertanian lahan kering. Penurunan luas Belukar Rawa (-180 Ha) yang terdeteksi dalam data ini semakin memperburuk situasi. Rawa adalah filter alami (*natural wetland filter*) yang berfungsi menjebak sedimen sebelum masuk ke badan air utama danau. Hilangnya rawa berarti hilangnya mekanisme pertahanan diri danau terhadap pendangkalan.

Aspek Sosial-Ekonomi sebagai Pendorong Perubahan

Penting untuk memahami *driving force* di balik angka statistik ini. Peningkatan pertanian lahan kering (+19%) dan pemukiman (+28%) didorong oleh faktor ekonomi dan demografi. Jagung menjadi komoditas primadona karena siklus panen cepat dan harga yang relatif stabil, mendorong petani merambah lahan semak belukar yang sebelumnya tidak produktif secara ekonomi. Di sisi lain, munculnya Hutan Tanaman (+1.270 Ha) mungkin mengindikasikan adanya investasi kehutanan industri atau program rehabilitasi, namun perlu dikaji apakah jenis tanamannya monokultur yang kurang ramah diversitas hayati dibandingkan semak belukar alami.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komprehensif yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan adanya fenomena paradoks antara stabilitas statistik dan instabilitas ekologis di DAS Limboto. Secara metodologis, data perubahan penggunaan lahan periode 2018–2022 terbukti memiliki karakteristik distribusi yang tidak normal dengan variasi nilai ekstrem, sehingga penggunaan pendekatan statistika non-parametrik adalah langkah yang mutlak diperlukan. Hasil pengujian hipotesis menggunakan *Wilcoxon Signed-Rank Test* menunjukkan bahwa secara statistik agregat, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada median struktur penggunaan lahan antara tahun 2018 dan 2022. Hal ini disebabkan oleh mekanisme uji peringkat yang menyeimbangkan frekuensi kenaikan luasan pada mayoritas kategori lahan dengan penurunan luasan pada minoritas kategori, tanpa memperhitungkan besaran absolut perubahannya.

Namun, "ketidaksignifikanan" statistik ini justru menutupi fakta degradasi lingkungan yang masif di lapangan. Stabilitas angka median menyembunyikan realitas bahwa telah terjadi alih fungsi lahan secara ekstrem, di mana hampir 80% luasan semak belukar atau setara dengan 9.838 hektar telah hilang dan dikonversi menjadi lahan pertanian lahan kering dan pemukiman. Transformasi radikal dari tutupan vegetasi alami menjadi lahan budidaya intensif ini merupakan ancaman serius bagi keberlangsungan fungsi hidrologis DAS, karena secara drastis meningkatkan koefisien aliran permukaan dan mempercepat laju transportasi sedimen menuju Danau Limboto yang kini dalam kondisi kritis.

Merespons temuan tersebut, diperlukan intervensi kebijakan yang tegas dan terukur dari pemerintah daerah maupun pemangku kepentingan terkait. Prioritas utama harus diarahkan pada penegakan aturan tata ruang yang melarang praktik pertanian tanaman semusim, khususnya jagung, pada lahan dengan kemiringan lereng di atas 15 persen yang sebelumnya merupakan habitat semak belukar. Untuk lahan pertanian yang telah terlanjur dibuka di area hulu, pemerintah wajib mendorong penerapan pertanian konservasi melalui pembuatan terasering, rorak, dan penanaman strip vegetasi guna menekan laju erosi tanah.

Selain upaya di wilayah hulu (*on-site*), strategi pengendalian di wilayah hilir juga mendesak dilakukan melalui restorasi kawasan sempadan danau. Sisa-sisa habitat belukar rawa harus diproteksi dan direhabilitasi fungsinya sebagai penyaring sedimen alami (*natural sediment trap*) terakhir sebelum material erosi masuk ke badan air danau. Terakhir, bagi komunitas ilmiah dan perumus kebijakan, studi ini merekomendasikan agar evaluasi kesehatan lingkungan tidak hanya bergantung pada indikator statistik rata-rata atau median semata, melainkan harus memberikan perhatian khusus pada anomali data ekstrem (*outliers*) yang sering kali menjadi indikator awal terjadinya kerusakan ekosistem yang tidak dapat dipulihkan.

REFERENSI

- Alfianto, F., & Cecilia, A. (2020). Analisis Laju Sedimentasi pada Muara Sungai Alo-Pohu Menuju Danau Limboto. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 88–95.
- Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Bone Bolango. (2022). *Data perubahan lahan tahun 2018 dan 2022*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Dunggio, I., & Ichsan, A. C. (2022). Analisis Beban Sedimen (Sediment Load) pada Sub DAS Alo-Pohu Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Hutan Tropis*, 10(1), 45–52. <https://doi.org/10.20527/jht.v10i1.1234>
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489.
- Hollander, M., Wolfe, D. A., & Chicken, E. (2013). *Nonparametric Statistical Methods* (3rd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2020). *Rencana Pengelolaan Danau Prioritas Nasional 2020-2024*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pengendalian Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung.
- Koem, S., & Rusiyah, S. (2022). Analisis Perubahan Pemanfaatan Lahan di Kawasan Pesisir Danau Limboto Tahun 2015-2020. *Jurnal Spasial*, 9(1), 125–134.
- Kurniawan, A., Suratman, S., & Marfai, M. A. (2022). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Laju Erosi di DAS Limboto Menggunakan Metode USLE. *Jurnal Geografi dan Lingkungan*, 15(1), 22–34.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205–241.
- Lihawa, F., & Mahmud, M. (2017). The Impact of Corn Farming on Lake Limboto Sedimentation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 81, 012025.
- Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive Statistics and Normality Tests for Statistical Data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67–72.
- Pratama, R., & Yusri, D. (2020). Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk Pemetaan Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Supervised Classification. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(4), 112–121.
- Rosner, B., Glynn, R. J., & Lee, M. L. (2006). The Wilcoxon Signed Rank Test for Paired Comparisons of Clustered Data. *Biometrics*, 62(1), 185–192.
- Santoso, S. (2019). *Menguasai Statistik Non Parametrik: Konsep dan Aplikasi dengan SPSS*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Setiawan, I., & Hidayat, R. (2021). Analisis Spasial Temporal Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya Terhadap Hidrologi DAS Limboto. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 245–256.
- Yudistira, R., & Ramadhan, T. (2023). Evaluasi Kesesuaian Lahan Tanaman Jagung di DAS Limboto Berbasis GIS. *Agri-Sosioekonomi*, 19(1), 45-56.