

PEMODELAN HIDROGRAF UNTUK MENILAI PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN SUNGAI DI SUB-DAS TANRALILI, SULAWESI SELATAN

(Hydrograph Modeling to Assess the Impact of Land Use Changes on River Flow Characteristics in the Tanralili Sub-Watershed, South Sulawesi)

Sartika Laban^{1*}, Hazairin Zubair¹, Fajar Nugraha², Nurul Fajeriana³

¹Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10 Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

³Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Sorong, Jl. Pendidikan No.27, Kota Sorong 98419, Papua Barat Daya, Indonesia

*Email: ika-l@unhas.ac.id

Diterima: 27 April 2025, Direvisi : 1 Juni 2025, Disetujui : 30 Juni 2025

ABSTRACT

The Tanralili sub-watershed is part of the Maros watershed, located in South Sulawesi, which plays a crucial role in maintaining an important ecosystem function. However, it has experienced a decline in quality due to land cover change, such as deforestation. This study aimed to assess the physical characteristics of the Tanralili sub-watershed area that affect the variability of stream flow components, analyse land cover changes, calculate the magnitude of flow components, and evaluate the impact of land cover change on the hydrological response of the sub-watershed. The data used included land cover, rainfall, river water levels in 2011 and 2022, and soil types. The straight-line hydrograph method was used to analyse the river flow components, namely surface flow, interflow, and base flow. The results showed an increase in surface flow of 85.43% and a decrease in base flow of 65.12%. This change is related to the conversion of forests into agricultural land and settlements, as well as variations in rainfall that affect the watershed's hydrological response. These changes increase the potential risk of flooding during the rainy season and droughts during the dry season. Therefore, the importance of upstream area conservation and land conversion control as part of hydrological risk mitigation strategies and sustainable water resources management in the Tanralili Sub-watershed. Although this study suggests that the hydrograph approach can be used to detect the impact of land use change on river flow dynamics, further research is needed to conduct statistical analyses to determine the factors that influence changes in river flow.

Keywords: surface flow, interflow, base flow, Landsat image, deforestation

ABSTRAK

Sub-DAS Tanralili merupakan bagian dari DAS Maros di Sulawesi Selatan yang memiliki fungsi ekosistem yang penting, namun mengalami penurunan kualitas akibat perubahan tutupan lahan seperti deforestasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik fisik wilayah sub-DAS Tanralili yang memengaruhi variabilitas komponen aliran sungai, menganalisis perubahan tutupan lahan, menghitung besaran komponen aliran, serta mengevaluasi dampak perubahan tutupan lahan dengan respon hidrologis sub-DAS. Data yang digunakan meliputi tutupan lahan (tahun 2011 dan 2022), curah hujan, tinggi muka air sungai masing-masing tahun 2011 dan 2022, serta jenis tanah. Metode hidrograf straight line digunakan untuk menganalisis komponen aliran sungai, yaitu aliran permukaan, aliran lateral, dan aliran dasar. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan aliran permukaan sebesar 85,43% dan penurunan aliran dasar sebesar 65,12%. Perubahan ini terkait dengan konversi hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman serta variasi curah hujan yang memengaruhi respon hidrologi DAS. Perubahan ini meningkatkan potensi risiko banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Oleh karena itu, pentingnya konservasi kawasan hulu dan pengendalian alih fungsi lahan sebagai bagian dari strategi mitigasi risiko hidrologi dan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan di sub-DAS Tanralili. Walaupun penelitian ini mengindikasikan bahwa pendekatan hidrograf dapat digunakan dalam mendeteksi dampak perubahan lahan terhadap dinamika aliran sungai namun penelitian lanjutan perlu melakukan analisis statistik untuk mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi perubahan aliran sungai.

Kata kunci: aliran dasar; aliran lateral; aliran permukaan; citra landsat; deforestasi

I. PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) berfungsi secara vital dalam mengendalikan siklus hidrologi di suatu wilayah. Salah satu DAS yang memiliki fungsi ekosistem yang sangat kompleks di Pulau Sulawesi adalah DAS Maros. Keberadaan karst dan keanekaragaman hayati yang jarang ditemukan menjadikan DAS Maros bernilai ekologi sangat tinggi (Ekasari *et al.*, 2021). Salah satu sub-DAS di DAS Maros, yaitu sub-DAS Tanralili, memiliki peranan yang penting dalam penyediaan air bagi masyarakat di Kabupaten Maros dan Kota Makassar (Syafri *et al.*, 2020). Namun, kualitas sub-DAS Tanralili mengalami

penurunan akibat perubahan tutupan lahan, terutama kehilangan vegetasi hutan atau deforestasi (Marselianti *et al.*, 2023; Surahman *et al.*, 2021; Suryanto *et al.*, 2021). Hal ini menyebabkan peningkatan erosi setiap tahunnya (Suryanto *et al.*, 2021), penurunan air tanah dan berkurangnya kemampuan tanah dalam meresapkan air (Surahman *et al.*, 2021), serta penurunan cadangan karbon (Marselianti *et al.*, 2023) di sub-DAS Tanralili.

Kondisi ini berdampak langsung pada keberlanjutan fungsi Bendung Leko Pancing yang ada dalam wilayah DAS Maros. Di mana keberlanjutan fungsi bendung ini sangat bergantung pada

kestabilan debit air dan kualitas lingkungan di hulu DAS Maros. Bendung Leko Pancing secara geografis terletak pada 5° 8' 20" LS, 119° 38' 29" BT, dan secara administratif berada di Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros. Bendung Leko Pancing memiliki nilai strategis sebagai penyedia air irigasi bagi 3.625 ha sawah pada daerah irigasi Leko Pancing Kabupaten Maros (Suleman & Yusuf, 2019) dan juga sebagai sumber air baku minum bagi masyarakat Kabupaten Maros dan Kota Makassar (Syafri *et al.*, 2020).

Perubahan tutupan lahan adalah proses dinamis yang dipengaruhi oleh fenomena alam dan kegiatan antropogenik (Kumar *et al.*, 2022; Yesuph & Dagneu, 2019). Di antara keduanya, kegiatan antropogenik menjadi faktor utama penyebab perubahan tersebut (Ferreira *et al.*, 2019; Nut *et al.*, 2021). Kegiatan antropogenik umumnya dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pangan, industri (Serrão *et al.*, 2022; Malede *et al.*, 2022) dan berbagai kebutuhan lainnya. Akibatnya, banyak lahan bervegetasi hutan dikonversi menjadi lahan pertanian atau tutupan lahan lainnya (Mathewos *et al.*, 2022).

Perubahan tutupan lahan ini menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, terutama terhadap siklus hidrologi. Dampaknya antara lain peningkatan aliran permukaan (Mekuriaw, 2019; Husaini *et al.*, 2022), penurunan laju infiltrasi dan permukaan air tanah (Dash *et al.*, 2024; Vaillancourt *et al.*, 2019). Jika dibiarkan terus menerus, dampak ini dapat menyebabkan bencana seperti banjir dan kekeringan (Dwivedi *et al.*, 2005). Perubahan tutupan lahan telah meningkatkan debit sungai yang

berpotensi banjir dan kerusakan infrastruktur pengairan seperti bendung (Dharma *et al.*, 2021). Selain itu, perubahan hutan menjadi lahan kosong atau pemukiman menyebabkan peningkatan debit rencana di DAS Komering dimana nilai koefisien limpasan meningkat dan nilai aliran dasar menurun (Permatasari *et al.*, 2017). Pengurangan lahan bervegetasi lebat, seperti hutan mengurangi kekasaran permukaan tanah, luas area berdaun berdampak pada evapotranspirasi, dan kedalaman perakaran (Gashaw *et al.*, 2018). Perubahan tutupan lahan juga dapat memicu perubahan iklim (Bolan *et al.*, 2024). Gabungan antara perubahan tutupan lahan dan perubahan iklim menjadi faktor utama yang memengaruhi proses hidrologis di suatu DAS (Petrovic, 2021). Menganalisis dampak perubahan tutupan lahan dan perubahan iklim terhadap aliran hidrologi DAS merupakan tantangan besar, mengingat hubungan yang kompleks antara tutupan lahan, iklim, dan hidrologi (Kumar *et al.*, 2022).

Dampak perubahan tutupan lahan terhadap sistem hidrologi DAS secara kuantitatif dapat dipahami melalui pendekatan analisis yang mampu menggambarkan respon DAS terhadap curah hujan (Lee *et al.*, 2023). Salah satu metode yang umum digunakan adalah analisis hidrograf. Analisis ini merepresentasikan besarnya aliran permukaan yang dihasilkan dan memungkinkan memetakan perubahan pola aliran akibat modifikasi tutupan lahan seperti meningkatnya debit puncak (Lestari *et al.*, 2019; Permatasari *et al.*, 2017). Metode ini mampu memberikan gambaran

dinamis tentang respon hidrologi DAS sehingga dapat digunakan sebagai indikator terhadap degradasi lingkungan atau deforestasi (Reddy & Bhavani, 2024). Analisis hidrograf menjadi alat penting dalam menilai konsekuensi ekologi dari perubahan penggunaan lahan terhadap hasil air dan kestabilan debit sungai.

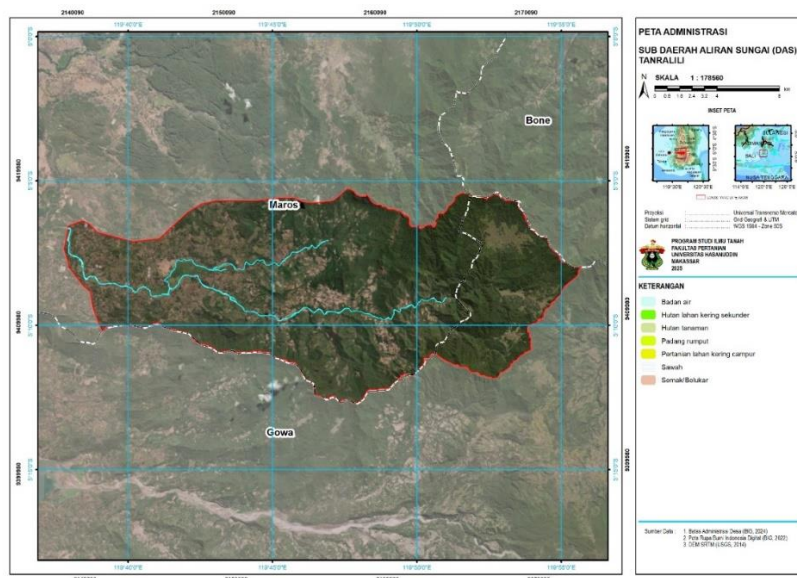
Aliran hidrologi DAS, seperti aliran permukaan (*surface flow*), aliran lateral (*inter flow*) dan aliran dasar (*base flow*), dapat diperoleh dengan memisahkan data debit aliran (Cartwright & Miller, 2021). Adapun teknik yang dapat diterapkan untuk memisahkan komponen aliran sungai dari data debit yakni dengan pemisahan hidrograf menggunakan metode *straight line* (Bosch *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2021). Hidrograf merupakan respons dari daerah tangkapan air terhadap curah hujan, dan terdiri dari ketiga komponen aliran tersebut. Aliran lateral sering dianggap bagian dari aliran permukaan karena responsnya yang cepat. Penelitian ini difokuskan pada identifikasi karakteristik fisik DAS yang berkontribusi

terhadap komponen aliran sungai, menganalisis perubahan penutupan lahan pada tahun 2011 dan 2020, serta mengukur nilai dari setiap komponen aliran sungai. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji dampak perubahan tutupan lahan terhadap komponen aliran sungai di Sub-DAS Tanralili.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Juni 2022, di wilayah sub-DAS Tanralili yang merupakan sub dari DAS Maros. Secara geografis terletak antara $5^{\circ} 4' 28,76''$ - $5^{\circ} 13' 9,21''$ LS dan $119^{\circ} 36' 48,24''$ - $119^{\circ} 56' 26,31$ BT dan secara administratif terletak di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros dan Kecamatan Tombolopao Kabupaten Gowa (Gambar 1). Sub-DAS Tanralili dengan outlet Bendung Leko Pancing memiliki luas sekitar 28.466,5 ha. Bagian timur di sub-DAS Tanralili adalah dataran tinggi dan bagian barat adalah dataran rendah.



Gambar (Figure) 1. Peta administrasi sub-DAS Tanralili (*Administrative map of the Tanralili sub-watershed*)
Sumber (Source): Hasil analisis (*Analysis result*)

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian pemodelan hidrograf dalam menilai pengaruh penutupan lahan terhadap karakteristik aliran sungai di sub-DAS Tanralili disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

C. Metode Penelitian

1) Membuat peta karakteristik DAS

Salah satu data yang sangat penting untuk menggambarkan karakteristik suatu

DAS yang berguna bagi studi hidrologi adalah data kelas lereng. Pada penelitian ini data kelas lereng diperoleh dari hasil pengolahan data penginderaan jauh yaitu *digital elevation model* (DEM) SRTM. Peta lereng dikelaskan berdasarkan klasifikasi kelas lereng oleh Sukarman *et al.* (2017). Klasifikasi kelas lereng dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya menghitung luas area setiap kelas kemiringan lereng.

Tabel (Table) 1. Alat yang digunakan dalam penelitian pemodelan hidrograf di Sub-DAS Tanralili. (*Tools used in the study of hydrograph modeling*).

No. (Number)	Alat (Equipment)	Kegunaan (Function/Usage)
1	Komputer	Menginput dan mengolah data penelitian
2	Printer	Mencetak dokumen kebutuhan penelitian
3	Microsoft Excel	Analisis data penelitian
4	Perangkat lunak GIS	Analisis spasial dan interpretasi citra
5	GPS	Menentukan titik koordinat di lapangan
6	Kamera	Dokumentasi visual

Tabel (Table) 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian pemodelan hidrograf di sub-DAS Tanralili (*Materials used in the hydrograph modeling study*).

No. (Number)	Bahan (Material)	Sumber (Source)
1	Data curah hujan harian (2011-2020)	BMKG Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin
2	Data tinggi muka air Sungai (2011-2020)	BBWS Jeneberang Saddang
3	Citra Landsat-7	earthexplorer.usgs.gov, 2011-2012
4	Citra Landsat-8 Path 114 dan Row 64	earthexplorer.usgs.gov, 2013-2020
5	Digital Elevation Model SRTM 30 M	earthexplorer.usgs.gov, 2014
6	Peta Rupa Bumi Indonesia 1:50.000	Badan Informasi Geospasial, 2012
7	Batimetri Nasional	Badan Informasi Geospasial, 2018
8	Peta Penutupan Lahan 1:250.000	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, tahun 2011 sampai 2020
-9	Peta Jenis Tanah 1:50.000	Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, 2017

Tabel (Table) 3. Klasifikasi kelas lereng (Slope Class Classification)

No. (Number)	Klasifikasi (Classification)	Kemiringan (%) (Slope (%))
1	Datar	0 – 8
2	Landai	8 – 15
3	Agak curam	15 – 25
4	Curam	25 – 45
5	Sangat curam	>45

Sumber (Source): Sukarman et al. (2017)

Data jenis tanah juga sangat penting untuk menjelaskan kondisi hidrologi suatu wilayah DAS. Peta jenis tanah yang diperoleh diklasifikasikan pada tingkat sub group menggunakan sistem klasifikasi tanah USDA (*United States Departement of Agriculture*), kemudian di konversi menjadi tingkat *Great Group*. Setelah itu, menghitung luas area setiap jenis tanah.

2) Analisis perubahan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020

Analisis tutupan lahan dilakukan dengan membandingkan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020 yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Sebelum dilakukan analisis tutupan lahan, data tutupan yang telah diperoleh dari KLHK dibandingkan dengan data dari citra satelit pada tahun yang sama. Hal tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa data tutupan lahan yang dianalisis memiliki akurasi yang cukup untuk menggambarkan kondisi lahan pada wilayah kajian. Selanjutnya, perubahan tutupan lahan dihitung dengan melakukan tumpang susun antara peta tutupan lahan tahun 2011 dengan peta tahun 2022. Selanjutnya diolah menggunakan matrik pivot tabel pada microsoft excel. Persentase perubahan tutupan lahan dihitung menggunakan persamaan 1 (Kumar et al., 2022):

$$\Delta H = \left(\frac{Lu_1 - Lu_0}{Lu_0} \right) \times 100 \tag{1}$$

Keterangan (Remarks):

ΔH = Persentase perubahan tutupan lahan (%)

Lu_1 = waktu akhir atau waktu setelah perubahan tutupan lahan (tahun)

Lu_0 = waktu awal atau waktu sebelum perubahan tutupan lahan (tahun)

3) Pemisahan komponen aliran sungai dari data debit

Langkah pertama dalam pemisahan komponen aliran sungai yaitu mengubah nilai tinggi muka air menjadi nilai debit dengan menggunakan persamaan *rating curve* (Negatu et al., 2022):

$$Q = a (H - H_0)^b \tag{2}$$

Keterangan (Remarks):

Q = Debit (m³/det)

a,b = Konstanta

H = Tinggi muka air (mm)

H₀ = Tinggi muka air pada aliran nol (Q = 0)

Pada saat menghitung nilai debit, komponen aliran sungai seperti aliran permukaan atau aliran cepat yang juga memuat aliran lateral dan aliran dasar dipisahkan dengan menggunakan metode *straight line method* (Pelletier & Andréassian, 2020). Metode ini memisahkan aliran dengan menghubungkan dengan garis lurus pada

saat awal limpasan ke titik resesi. Aliran permukaan dan aliran lateral berada di atas garis putus-putus tersebut, sedangkan aliran dasar berada dibagian bawah garis putus-putus (Gambar 2) (Bosch *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2021; Subramanya, 2008). Metode ini tergolong sangat sederhana dan dapat memisahkan komponen aliran sungai dengan cepat (Casado-Rodríguez & Del Jesus, 2022). Namun metode ini memiliki ketidakpastian dalam penentuan komponen aliran sungai (Villalba-Barrios *et al.*, 2023), karena *base flow* tidak selalu mengikuti kurva resesi (Aksoy *et al.*, 2009). Setelah memperoleh nilai setiap komponen aliran sungai, selanjutnya menghitung rata-rata setiap komponen aliran sungai tersebut.

4) Menilai dampak perubahan tutupan lahan terhadap komponen sungai

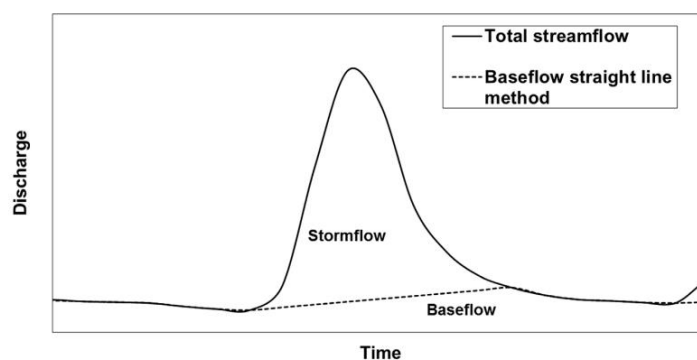
Dampak perubahan tutupan lahan terhadap komponen aliran sungai, seperti aliran permukaan, aliran lateral, dan aliran dasar dilakukan melalui pendekatan

deskriptif dan kuantitatif. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi dan mengukur pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap masing-masing komponen aliran sungai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

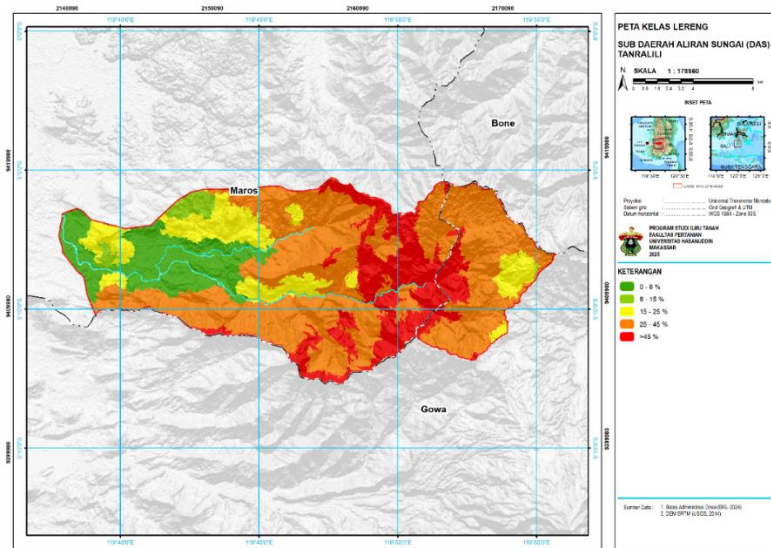
Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang dianalisis yaitu kelas lereng dan jenis tanah. Kelas lereng di sub-DAS Tanralili didominasi oleh lereng dengan klasifikasi curam seluas 13.359,5 ha (47,36%), kemudian diikuti kelas lereng sangat curam (>45%) seluas 4.901,6 ha (17,37%). Adapun kelas lereng yang memiliki luas sangat kecil yaitu lereng dengan kelas landai, memiliki luas area sekitar 1398.6 ha (4.96%). Kelas lereng curam dan sangat curam mendominasi di bagian tengah dan timur di sub-DAS Tanralili, sedangkan pada bagian ujung di bagian barat didominasi oleh lereng dengan kelas datar. Peta kelas lereng dapat dilihat pada Gambar 3 dan luasnya dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar (Figure) 2. Ilustrasi teknik pemisahan komponen aliran sungai menggunakan metode *straight line method* (Illustration of the river flow component separation technique using the straight line method)

Sumber (Source): Bosch *et al.* (2017)



Gambar (Figure) 3. Peta kelas lereng sub-DAS Tanralili (Slope class map of the Tanralili sub-watershed)
 Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Tabel (Table) 4. Distribusi kelas kemiringan lereng di Sub-DAS Tanralili (Slope class distribution in the Tanralili sub-watershed).

No. (Number)	Kelasifikasi (Classification)	Kemiringan (%) (Slope (%))	Luas (Area)	
			ha	%
1.	Datar	0 – 8	4.254,0	15,08
2.	Landai	8 – 15	1.398,6	4,96
3.	Agak curam	15 - 25	4.297,6	15,23
4.	Curam	25 - 45	13.359,5	47,36
5.	Sangat curam	>45	4.901,6	17,37

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Kemiringan lereng sangat menentukan kecepatan aliran dan waktu terjadinya infiltrasi. Lereng yang datar cenderung memiliki aliran yang lambat dan memberikan waktu agar terjadi proses infiltrasi, sedangkan pada lereng curam aliran terjadi dengan cepat dan sulit terjadi infiltrasi karena aliran yang cepat tersebut. Hal tersebut sangat menentukan nilai aliran permukaan dan aliran dasar yang berpengaruh terhadap grafik hidrograf. Bentuk hidrograf dipengaruhi oleh faktor karakteristik DAS, seperti kondisi lereng, geologi dan geomorfologi (Fischer *et al.*, 2021; Naik *et al.*, 2024). Selain itu kemiringan lereng juga turut berperan

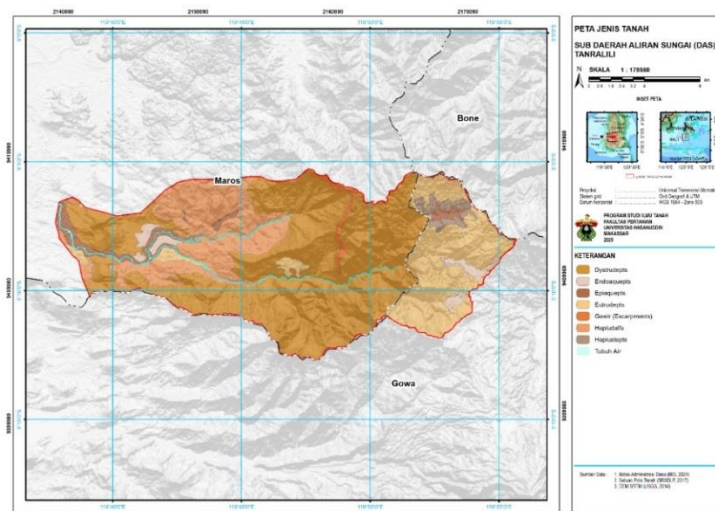
dalam kejadian meningkatkan resiko bahaya banjir karena berpotensi menyebabkan longsor.

Kondisi lereng di sub-DAS Tanralili yang didominasi oleh lereng curam dan sangat curam, menjadi indikasi bahwa sangat perlu untuk pengelolaan sumberdaya lahan. Pada lereng yang curam dan sangat curam, jika tidak dikelola secara baik maka mungkin dapat mengakibatkan bencana seperti banjir dan longsor karena tingginya nilai aliran permukaan. Namun lereng bukan menjadi satu-satunya faktor yang dapat memengaruhi tingginya nilai aliran permukaan, terdapat faktor lain seperti tanah dan tutupan vegetasi.

Jenis tanah disajikan dalam tingkatan *great group*, untuk memudahkan dalam mengetahui karakteristik tanah. Jenis tanah di Sub-DAS Tanralili terdiri dari 6 *great group*, diantaranya *dystrudepts*, *endoaquepts*, *epiaquepts*, *eutrudepts*, *haplustepts*, dan *hapludalfs*. *Great group Dystrudepts* mendominasi jenis tanah di sub-DAS dengan luas sekitar 15.630,5 ha (54,91%), diikuti oleh *Eutrudepts* seluas 5.148,9 ha (18,09%) dan *Hapludalfs* seluas 5.121,9 ha (18,03%). Dua jenis tanah pertama termasuk dalam ordo *Inseptisols*, sedangkan *Hapludalfs* termasuk dalam ordo *Alfisols*. Jenis tanah yang memiliki luas paling kecil adalah *haplustepts* dengan luas area sekitar 472,1 ha (1,66%). Peta jenis tanah disajikan pada Gambar 4 dan

informasi luasan masing-masing jenis tanah terdapat pada Tabel 5.

Karakteristik DAS yang sangat berpengaruh terhadap debit aliran sungai dan komponennya adalah lereng dan tanah (Fischer *et al.*, 2021; Naik *et al.*, 2024). Lereng sangat erat kaitannya dengan kecepatan aliran, lereng yang datar cenderung menyebabkan aliran air yang lambat, sehingga memberikan waktu yang cukup bagi proses infiltrasi untuk berlangsung. Sebaliknya, pada lereng yang curam, aliran air berlangsung dengan cepat sehingga proses infiltrasi menjadi sulit terjadi. Kondisi ini sangat menentukan besarnya aliran permukaan dan aliran dasar yang pada akhirnya memengaruhi bentuk grafik hidrograf sungai.



Gambar (Figure) 4. Peta jenis tanah sub-DAS Tanralili (Soil type map of the Tanralili sub-watershed)
Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Tabel (Table) 5. Sebaran jenis tanah di sub-DAS Tanralili (Soil type distribution in the Tanralili sub-watershed)

No. (Number)	Great Group (Great Group)	Luas (Area)	
		ha	%
1.	<i>Dystrudepts</i>	15630.5	54.91
2.	<i>Endoaquepts</i>	672.8	2.36
3.	<i>Epiaquepts</i>	1038.8	3.65
4.	<i>Eutrudepts</i>	5148.9	18.09
5.	<i>Haplustepts</i>	472.1	1.66
6.	<i>Hapludalfs</i>	5131.9	18.03

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Area sub-DAS Tanralili yang didominasi oleh lereng curam dan sangat curam diperlukan penerapan manajemen konservasi lahan yang tepat dan terpadu. Manajemen ini mencakup pengendalian erosi, pengelolaan vegetasi penutup tanah, serta penerapan teknik konservasi tanah seperti terasering dan penanaman vegetasi penahan lereng. Jika tidak dikelola dengan baik, kondisi lereng yang curam ini dapat meningkatkan risiko bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor akibat tingginya nilai aliran permukaan. Namun demikian, lereng bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi besarnya aliran permukaan. Faktor lain seperti karakteristik tanah, jenis dan kondisi tutupan vegetasi, serta pola tutupan lahan juga berperan penting dalam menentukan besarnya aliran permukaan dan risiko bencana. Oleh karena itu, manajemen yang efektif harus mempertimbangkan seluruh faktor tersebut secara holistik guna mengurangi risiko bencana sekaligus menjaga fungsi hidrologis sub-DAS Tanralili secara berkelanjutan.

Tanah berpengaruh terhadap tingkat infiltrasi. Tanah di sub-DAS Tanralili didominasi oleh sub ordo *dystrudepts*, *eutrudepts*, dan *hapludalfs*. Tanah-tanah tersebut memiliki tekstur sedang hingga agak halus. Berdasarkan penelitian Kholis & Rendra (2022), potensi infiltrasi pada tanah *dystrudepts* dan *eutrudepts* tergolong sedang dan pada tanah *hapludalfs* termasuk ke dalam kelas agak lambat. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan tekstur diantara kedua tanah tersebut. Dimana tanah *dystrudepts*, *eutrudepts*

memiliki tekstur tanah lempung liat berdebu dengan laju infiltrasi agak lambat hingga sedang, dan tanah *hapludalfs* bertekstur halus atau berliat.

Tekstur tanah sangat memengaruhi tingkat risiko banjir. Tanah berpasir menghasilkan infiltrasi yang tinggi dan memungkinkan air lebih cepat meresap dibandingkan tekstur tanah lainnya. Tanah berpasir memiliki partikel tanah dan pori-pori tanah yang besar, sehingga mampu menyerap air lebih cepat dan limpasan air yang terjadi kecil. Sedangkan tanah berliat, selain memiliki partikel yang halus, juga kurang permeabel yang berakibat pada daya serap tanah yang lebih sedikit dan limpasan air yang besar, sehingga mengakumulasi air dalam waktu yang lebih lama (Fajeriana & Risal, 2023). Tipe tanah ini menahan laju infiltrasi air sehingga implikasinya adalah bahwa tanah ini rentan dan berisiko banjir (Naik *et al.*, 2024).

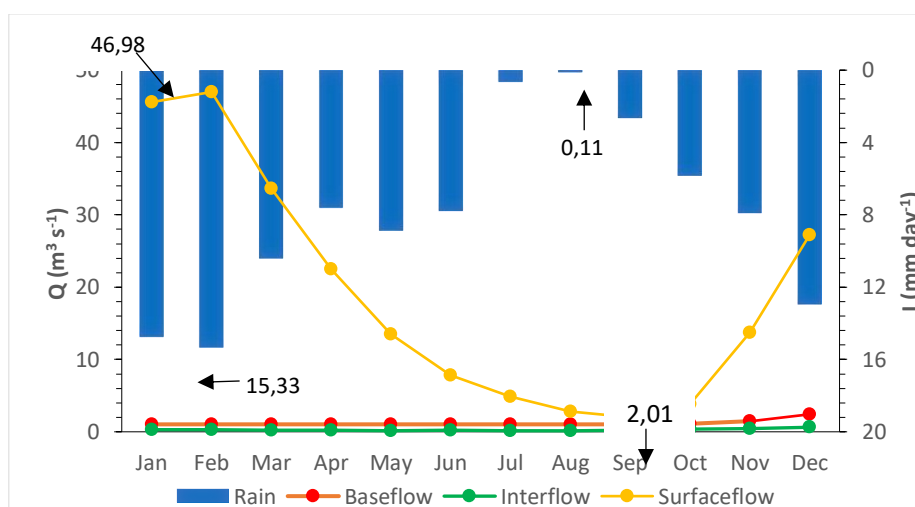
Debit aliran sungai dan hubungannya dengan curah hujan

Faktor yang memengaruhi nilai komponen aliran sungai tidak hanya dari faktor fisik saja seperti kelas lereng, jenis tanah, dan tutupan lahan, tetapi juga faktor iklim seperti curah hujan berpengaruh secara signifikan. Hubungan antara curah hujan dan komponen aliran sungai dapat diketahui dengan membandingkan kedua nilai tersebut. Berdasarkan hasil rata-rata bulanan antara tahun 2011 hingga 2020, curah hujan dan aliran permukaan tertinggi terjadi pada bulan Februari dengan curah hujan sebesar 15,33 mm hari⁻¹ dan aliran permukaan sebesar 46,98 m³ s⁻¹. Curah hujan terendah

terjadi pada bulan Agustus dengan intensitas $0,11 \text{ mm hari}^{-1}$ sementara aliran permukaan terendah terjadi pada bulan September sebesar $2,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Perbandingan curah hujan dan komponen aliran sungai dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada tahun 2011 – 2020, curah hujan rata-rata harian tertinggi terjadi pada bulan Februari sedangkan yang terendah terjadi pada bulan Agustus, yaitu masing-masing $15,33 \text{ mm}$ dan $0,11 \text{ mm}$. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa, curah hujan memainkan peranan penting dalam menentukan nilai komponen aliran sungai, khususnya aliran permukaan. Nilai aliran permukaan akan mengalami penurunan apabila curah hujan juga mengalami penurunan, begitu sebaliknya. Kondisi tersebut konsisten dengan pandangan yang dikemukakan oleh Kumar *et al.* (2023) yang menyebutkan bahwa tutupan lahan dan variabilitas iklim mempengaruhi respon hidrologi dan menyebabkan fluktuasi pada berbagai proses hidrologi terutama pada aliran sungai.

Rata-rata curah hujan yang terendah terjadi pada bulan Agustus ($0,11 \text{ mm d}^{-1}$) dan aliran permukaan yang terendah terjadi pada bulan September ($2,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Perbedaan tersebut disebabkan oleh keberadaan aliran dasar yang tetap mengalir ke sungai pada bulan Agustus sehingga pada bulan ini aliran sungai masih tetap berlangsung. Kemudian pada bulan September curah hujan mulai mengalami peningkatan yang mana curah hujan ini akan mengisi kekosongan air yang ada di dalam tanah akibat adanya aliran dasar pada bulan sebelumnya. Menurut Aboelnour *et al.* (2021), aliran dasar merupakan bagian dari aliran sungai yang bersumber dari air tanah dan berbagai sumber air lainnya yang masuk ke sungai dengan jeda waktu tertentu. Aliran dasar ini berperan penting dalam mempertahankan kontinuitas aliran di sungai utama maupun anak sungai, serta kerap diasosiasikan dengan proses pengisian ulang air tanah selama periode musim kemarau.



Gambar (Figure) 6. Rata-rata bulanan komponen aliran sungai dengan rata-rata curah hujan harian selama 10 tahun (2011-2020) (The monthly average of river flow components with the average daily rainfall over 10 Years (2011–2020))

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

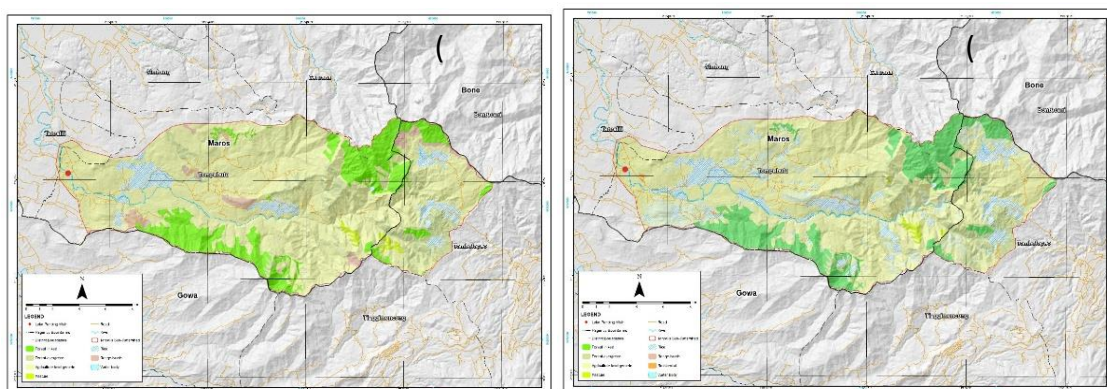
Analisis perubahan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020 di Sub-DAS Tanralili

Hasil analisis peta tutupan lahan pada tahun 2011 dan 2020 (Gambar 5) menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan yang cukup signifikan pada berbagai kategori tutupan lahan di sub-DAS Tanralili. Berdasarkan Tabel 6, perubahan paling mencolok terjadi pada lahan sawah yang mengalami peningkatan luas sebesar 1.349,5 ha atau setara dengan 80%. Kenaikan ini diduga berkaitan dengan alih fungsi dari kategori pertanian lahan kering yang justru mengalami penurunan luas sebesar 1.280,5 ha (6,60%). Selain itu, kawasan permukiman yang sebelumnya tidak teridentifikasi pada tahun 2011, mulai muncul pada tahun 2020 dengan luas 55,7 ha (0,20%). Hal ini mencerminkan adanya peningkatan pembangunan atau ekspansi lahan terbangun di wilayah sub-DAS.

Kategori tubuh air juga mengalami peningkatan cukup besar, yakni sebesar 138,6 ha (191,17%). Hal ini dapat diartikan sebagai adanya penambahan genangan atau perluasan badan air, baik alami maupun buatan. Di sisi lain, beberapa

kategori vegetasi alami mengalami penyusutan. Hutan lahan kering berkurang sebesar 84,2 ha (1,91%), hutan tanaman menurun 170,2 ha (9,14%), dan padang rumput mengalami penurunan yang paling besar secara persentase yakni sebesar 103,7 ha atau 46,48%. Sementara itu, semak belukar mengalami peningkatan seluas 94,6 ha (11,71%) yang kemungkinan merupakan bentuk regenerasi vegetasi sekunder atau hasil dari lahan tidak aktif yang mengalami pertumbuhan alami kembali. Secara keseluruhan, perubahan ini mengindikasikan adanya tekanan terhadap lahan pertanian dan vegetasi alami. Hal tersebut dapat berdampak langsung pada kondisi hidrologis Sub-DAS, terutama dalam kaitannya dengan aliran permukaan, infiltrasi, dan potensi banjir di wilayah hilir.

Peningkatan tubuh air yang sangat tinggi dapat disebabkan oleh badan sungai yang mengalami pelebaran dari tahun 2011 hingga tahun 2020. Pelebaran badan sungai dapat disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya aliran sungai yang cepat dan aktifitas manusia. Aliran sungai yang cepat berpotensi menyebabkan erosi tebing sungai (Murniningsih, 2018).



Gambar (Figure) 5. Peta tutupan lahan Sub-DAS Tanralili tahun (a) 2011; (b) 2020 (Land cover map of the Tanralili sub-watershed in (a) 2011; (b) 2020)

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Tabel (Table) 6. Luas perubahan tutupan lahan tahun 2011 dan 2020 di Sub-DAS Tanralili (Land cover change area in 2011 and 2020 in the Tanralili sub-watershed).

Tutupan lahan (Land cover)	Luas tahun 2011 (Area in 2011)		Luas tahun 2020 (Area in 2020)		Luas Perubahan (Area change)	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Hutan lahan kering	4413	15.50	4328.8	15.21	-84.2	-1.91
Hutan tanaman	1862.8	6.54	1692.6	5.95	-170.2	-9.14
Semak belukar	807.8	2.84	902.4	3.17	94.6	11.71
Padang rumput	223.1	0.78	119.4	0.42	-103.7	-46.48
Pertanian lahan kering	19400.5	68.15	18120	63.65	-1280.5	-6.60
Sawah	1686.9	5.93	3036.4	10.67	1349.5	80.00
Permukiman	0	0	55.7	0.20	55.7	
Tubuh air	72.5	0.25	211.1	0.74	138.6	191.17
Total	28466.5	100	28466.5	100		

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Selain faktor perubahan aktual di lapangan, peningkatan luasan badan air yang teridentifikasi pada tahun 2020 juga kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan jenis citra satelit yang digunakan dalam klasifikasi tutupan lahan. Data tutupan lahan tahun 2011 menggunakan hasil analisis citra Landsat 7 ETM+, sementara data tahun 2020 menggunakan hasil analisis citra Landsat 8 OLI. Kedua sensor ini memiliki perbedaan karakteristik, terutama pada resolusi radiometrik dimana Landsat 8 memiliki kemampuan deteksi yang lebih tinggi (17 bit) dibandingkan Landsat 7 (8 bit) (Irons *et al.*, 2012). Citra satelit yang memiliki resolusi radiometrik yang lebih tinggi memiliki heterogenitas yang lebih kompleks dibandingkan dengan citra satelit dengan resolusi radiometrik yang lebih rendah (You *et al.*, 2022) sehingga citra Landsat 8 dapat menangkap variasi yang kecil pada suatu citra, sedangkan citra Landsat 7 cenderung menampilkan visual yang homogen. Perbedaan ini dapat memengaruhi akurasi dalam

mengidentifikasi objek dengan nilai pantulan rendah seperti badan air, sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dipertimbangkan sebagai salah satu faktor non lapangan yang memengaruhi hasil klasifikasi (Ihlen, 2019; Roy *et al.*, 2014)

Perubahan tutupan lahan dapat berpengaruh signifikan terhadap kondisi hidrologi suatu wilayah. Konversi lahan hijau menjadi area terbangun dapat meningkatkan aliran permukaan, dan menurunkan infiltrasi tanah (Pribadi *et al.*, 2020) serta penurunan aliran air tanah (Putra *et al.*, 2024). Perubahan tutupan lahan seperti deforestasi dan urbanisasi menyebabkan peningkatan limpasan permukaan, aliran puncak, dan risiko banjir (Caja *et al.*, 2018; Santillan *et al.*, 2019). Urbanisasi mengubah komponen hidrologi khususnya evapotranspirasi, aliran dasar dan perkolasi di DAS Buyukcekmece di Istanbul (Sertel *et al.*, 2019). Penyebab terjadinya perubahan penggunaan lahan dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti peningkatan jumlah penduduk, peningkatan kebutuhan pangan, dan

kondisi sosial ekonomi. Pernyataan ini sejalan dengan Birhanu *et al.* (2019) yang mengemukakan bahwa perubahan tutupan lahan merupakan hasil dari interaksi antara dinamika sosial-ekonomi, demografi, serta kondisi biofisik. Perubahan tutupan lahan tidak hanya memberikan dampak negatif terhadap komponen-komponen neraca air, tetapi juga dampak positif seperti manfaat sosial dan ekonomi.

Pada sub-DAS Tanralili terjadi penurunan luas pada kategori pertanian lahan kering campuran seluas 1.280,5 ha (6.60%) menjadi sawah dan permukiman, luas areal sawah sendiri mengalami peningkatan menjadi 1.349,5 ha (80%). Perubahan tutupan lahan memengaruhi besarnya aliran permukaan, karena perubahan vegetasi yang terjadi turut mempengaruhi kemampuan infiltrasi tanah (Fajeriana *et al.*, 2024). Selain itu, perubahan lahan hutan menjadi lahan budidaya tanpa adanya tindakan konservasi dapat memperburuk erosi tanah dan lanskap (Han *et al.*, 2020). Peningkatan jumlah penduduk di wilayah DAS menyebabkan perluasan areal pertanian seperti sawah (Chuko & Abdissa, 2023).

Hutan menjadi salah satu penutupan lahan yang berperan penting dalam menjaga kondisi hidrologis. Perubahan lahan hutan menjadi non hutan dapat mengakibatkan tingginya nilai aliran permukaan. Faktor yang mendasari kejadian ini adalah penutupan lahan hutan yang beragam dapat mengintersepsi air hujan lebih baik dibandingkan penutupan lahan lainnya. Hutan sekunder di sub-DAS Tanralili mengalami penurunan luas antara

tahun 2011 hingga 2020, dengan total pengurangan area seluas 84,2 ha (1,91%). Meskipun persentase penurunan ini tergolong kecil namun hal ini menunjukkan adanya indikasi perubahan tutupan lahan yang dapat mencerminkan adanya tekanan penggunaan lahan sehingga berdampak pada fungsi ekosistem DAS. Pernyataan ini sejalan dengan pendapat Yang *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa perubahan penutupan lahan utamanya yang memiliki vegetasi akan mempengaruhi kondisi banjir pada wilayah tersebut baik volume, frekuensi dan debit. Menurut Mekuriaw (2019), perubahan penutupan lahan dari lahan tidak terbangun menjadi lahan terbangun dapat berdampak pada penurunan kapasitas resapan air dan meningkatkan laju aliran permukaan, yang berpotensi menimbulkan banjir, terutama di wilayah hilir.

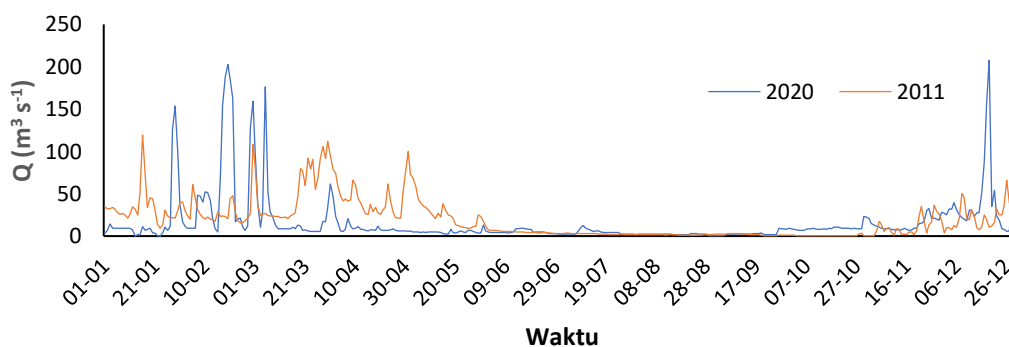
Perubahan nilai rata-rata komponen aliran sungai tahun 2011 dan 2020 di Sub-DAS Tanralili

Debit aliran sungai di sub-DAS Tanralili mengalami peningkatan puncak dari tahun 2011 hingga tahun 2020. Puncak aliran tertinggi pada tahun 2011 yaitu $119,35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ yang terjadi pada bulan Januari dan meningkat pada tahun 2020 yaitu $207,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ yang terjadi pada bulan Desember (Gambar 7). Secara total, perubahan aliran rata-rata setiap komponen aliran sungai disajikan pada Tabel 7. Aliran permukaan mengalami peningkatan yang cukup signifikan antara tahun 2011-2020, sedangkan aliran dasar mengalami penurunan yang cukup signifikan. Aliran permukaan mengalami peningkatan sebesar $8,56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (85.43%), sedangkan

aliran dasar mengalami penurunan sebesar $0,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (65.12%). Peningkatan tersebut selain disebabkan oleh adanya perubahan tutupan lahan (Tabel 6), dapat juga disebabkan oleh perubahan curah hujan pada tahun-tahun tersebut (Gambar 8).

Peningkatan nilai aliran permukaan merupakan respon dari aktivitas alam dan

manusia yang terjadi di wilayah tersebut. Sub-DAS Tanralili mengalami peningkatan nilai aliran permukaan sebesar 85.43%. Salah satu faktor yang dapat menyebabkan perubahan nilai aliran permukaan adalah perubahan penutupan lahan dan perubahan curah hujan.



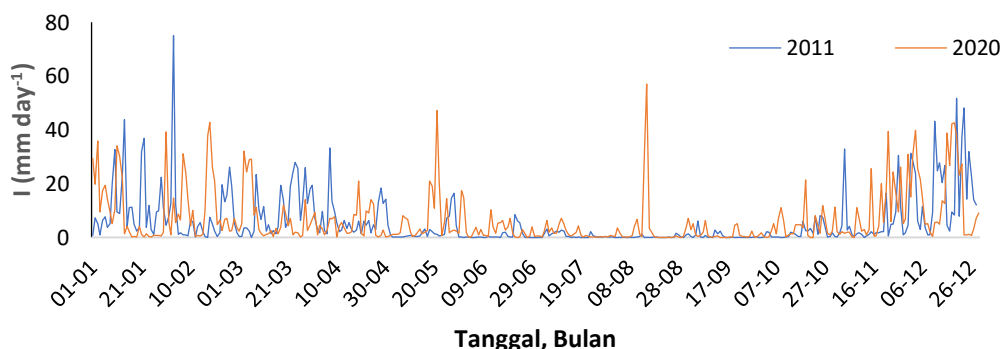
Gambar (Figure) 7. Hidrograf debit aliran sungai tahun 2011 dan 2020 (Hydrograph of river flow discharge in 2011 and 2020)

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Tabel (Table) 7. Perubahan nilai rata-rata komponen aliran sungai di Sub-DAS Tanralili (Change in the Average Values of River Flow Components in the Tanralili Sub-watershed)

Komponen Aliran Sungai	Aliran Tahun 2011		Aliran Tahun 2020		Perubahan	
	m^3s^{-1}	(%)	m^3s^{-1}	(%)	m^3s^{-1}	(%)
Base flow	1.29	11.01	0.45	2.32	-0.84	-65.12
Inter flow	0.43	3.69	0.42	2.17	-0.01	-2.33
Surface flow	10.02	85.30	18.58	95.51	8.56	85.43
Jumlah	11.75	100	19.45	100		

Sumber: Hasil analisis (Analysis result)



Gambar (Figure) 8. Fluktuasi curah hujan tahun 2011 dan 2020 (The rainfall fluctuation in 2011 and 2020)

Sumber (Source): Hasil analisis (Analysis result)

Menurut Yulianto *et al.* (2022) dan Merz *et al.* (2021) bahwa debit aliran dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan faktor karakteristik DAS. Faktor meteorologi yang mempengaruhi debit aliran sungai meliputi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi hujan. Sementara itu, karakteristik DAS yang turut memengaruhi debit aliran adalah luas dan bentuk DAS, topografi, serta pola tutupan lahan.

Tingginya nilai *surface flow* di sub-DAS Tanralili disebabkan oleh berbagai faktor fisik DAS dan faktor iklim yang telah disebutkan sebelumnya. Jenis tanah di sub-DAS Tanralili menyebabkan infiltrasi menjadi rendah, hal tersebut diperparah oleh kondisi lereng di sub-DAS Tanralili yang didominasi oleh lereng curam dan sangat curam. Selain itu, perubahan pada tutupan lahan yang terjadi di kawasan sub-DAS Tanralili telah menyebabkan terjadinya perubahan terhadap iklim mikro yang berpengaruh terhadap kondisi hidrologi di sub-DAS Tanralili. Menurut Husaini *et al.* (2022) parameter yang memengaruhi daerah resapan air adalah jenis tanah atau batuan, curah hujan, kemiringan lereng dan penggunaan lahan atau penutup lahan.

IV. KESIMPULAN

Analisis hidrograf menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada komponen aliran sungai di sub-DAS Tanralili antara tahun 2011 dan 2020, yaitu peningkatan aliran permukaan sebesar 85,43% dan penurunan aliran dasar sebesar 65,12%. Perubahan ini sejalan dengan adanya penurunan tutupan hutan dan peningkatan

lahan terbangun seperti sawah dan pemukiman, serta variasi curah hujan yang memengaruhi respon hidrologi DAS. Karakteristik fisik DAS, seperti lereng yang curam dan tekstur tanah yang agak halus sampai halus (lempung dan liat) juga memengaruhi terjadinya aliran permukaan. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya konservasi khususnya di kawasan hulu dan pengendalian alih fungsi lahan untuk meminimalkan resiko banjir dan degradasi tata air. Hasil ini mengindikasikan bahwa pendekatan hidrograf dapat digunakan untuk menilai dampak perubahan tutupan lahan terhadap hasil air di sub-DAS Tanralili. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan data curah hujan secara spasial-temporal yang lebih rinci dan pendekatan pemodelan hidrologi guna meningkatkan akurasi estimasi dinamika aliran. Analisis statistik perlu juga dilakukan untuk menilai faktor-faktor utama yang memengaruhi perubahan komponen aliran sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih yang mendalam kepada Bapak Akbar dan keluarga yang telah memberikan fasilitas tempat tinggal selama penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala dan staf BBWS Pompengan Jeneberang atas dukungannya dalam penyediaan data yang diperlukan untuk penelitian ini.

KONTRIBUSI

Kontribusi setiap penulis yakni: penulis pertama (1) menyusun konseptualisasi, metodologi, melakukan pengumpulan

data, interpretasi hasil, dan penulisan naskah; penulis kedua (2) berkontribusi pada analisis hidrologi dan interpretasi hasil; penulis ketiga (3) mengumpulkan data, pemetaan, dan analisis citra; dan penulis keempat (4) berkontribusi pada tinjauan kritis dan penyunting naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboelnour, M. A., Engel, B. A., Frisbee, M. D., Gitau, M. W., & Flanagan, D. C. (2021). Impacts of Watershed Physical Properties and Land Use on Base flow at Regional Scales. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 35, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100810>
- Afonso De Oliveira Serrão, E., Silva, M. T., Ferreira, T. R., Paiva De Ataide, L. C., Assis Dos Santos, C., Meiguins De Lima, A. M., De Paulo Rodrigues Da Silva, V., De Assis Salviano De Sousa, F., & Cardoso Gomes, D. J. (2022). Impacts of land use and land cover changes on hydrological processes and sediment yield determined using the SWAT model. *International Journal of Sediment Research*, 37(1), 54–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2021.04.002>
- Aksoy, H., Kurt, I., & Eris, E. (2009). Filtered smoothed minima base flow separation method. *Journal of Hydrology*, 372(1–4), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.037>
- Birhanu, A., Masih, I., Van Der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X. (2019). Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 112, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006>
- Bolan, S., Padhye, L. P., Jasemizad, T., Govarthanam, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Hou, D., Zhou, P., Biswal, B. K., Balasubramanian, R., Wang, H., Siddique, K. H. M., Rinklebe, J., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of The Total Environment*, 909, 168388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>
- Bosch, D. D., Arnold, J. G., Allen, P. G., Lim, K.-J., & Park, Y. S. (2017a). Temporal variations in base flow for the little river experimental watershed in South Georgia, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.02.002>
- Bosch, D. D., Arnold, J. G., Allen, P. G., Lim, K.-J., & Park, Y. S. (2017b). Temporal variations in base flow for the Little River experimental watershed in South Georgia, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.02.002>
- Caja, C., Ibunes, N., Paril, J., Reyes, A., Nazareno, J., Monjardin, C., & Uy, F. (2018). Effects of Land Cover Changes to the Quantity of Water Supply and Hydrologic Cycle using Water Balance Models. *MATEC Web of Conferences*, 150, 06004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815006004>
- Cartwright, I., & Miller, M. P. (2021). Temporal and spatial variations in river specific conductivity: Implications for understanding sources of river water and hydrograph separations. *Journal of Hydrology*, 593, 125895.

- <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125895>
- Casado-Rodríguez, J., & Del Jesus, M. (2022). Hydrograph separation for tackling equifinality in conceptual hydrological models. *Journal of Hydrology*, 610, 127816. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127816>
- Chuko, F. W., & Abdissa, A. G. (2023). Impact of land-use dynamics and climate change scenarios on Groundwater recharge in the case of Anger watershed, Ethiopia. *Heliyon*, 9(8), e18467. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18467>
- Dash, P., Shekhar, S., Paul, V., & Feng, G. (2024). Influence of Land Use and Land Cover Changes and Precipitation Patterns on Groundwater Storage in the Mississippi River Watershed: Insights from GRACE Satellite Data. *Remote Sensing*, 16(22), 4285. <https://doi.org/10.3390/rs16224285>
- Dharma, I. G. A., Waspodo, R. S. B., & Pandjaitan, N. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Debit Sungai (Studi Kasus: Sub-DAS Cikeas): Analysis of Land Use Change Influence to River Discharge (Study Case: Cikeas Sub-Basin). *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 121–132. <https://doi.org/10.29244/jsil.6.2.121-132>
- Dwivedi, R. S., Sreenivas, K., & Ramana, K. V. (2005). Cover: Land-use/land-cover change analysis in part of Ethiopia using Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1285–1287. <https://doi.org/10.1080/01431160512331337763>
- Eka Kusuma Putra, Kharistya Amaru, & Dwi Rustam Kendarto. (2024). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Respon Hidrologi di Sub Daerah Aliran Sungai Cimeta Menggunakan Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *JURNAL TRITON*, 15(1), 78–92. <https://doi.org/10.47687/jt.v15i1.715>
- Ekasari, C., Barkey, R., A, C., Nursaputra, M., & Pahar, S. P. P. (2021). Socioeconomic characteristics of communities utilizing land in forest areas in the Maros Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 886(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/886/1/012028>
- Fajeriana, N., Ali, A., & Rini, R. P. (2024). Soil Tillage and Planting Along the Contour on Sloping Land to Minimize the Potential for Erosion and Surface Runoff. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(1). <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.1.82.93>
- Fajeriana, N. & Darmawan Risal. (2023). Peningkatan Pemahaman Tentang Potensi Erosi: Erosivitas dan Erodibilitas Dengan Simulasi Hujan Pada Topografi dan Tutupan Lahan yang Berbeda. *Abdimas: Papua Journal of Community Service*, 5(1), 64–74. <https://doi.org/10.33506/pjcs.v5i1.1687>
- Ferreira, L. M. R., Esteves, L. S., De Souza, E. P., & Dos Santos, C. A. C. (2019). Impact of the Urbanisation Process in the Availability of Ecosystem Services in a Tropical Ecotone Area. *Ecosystems*, 22(2), 266–282. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0270-0>
- Fischer, S., Schumann, A., & Bühler, P. (2021). A statistics-based automated

- flood event separation. *Journal of Hydrology*, *X*, *10*, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100070>
- Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M., & Worqlul, A. W. (2018). Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, *619–620*, 1394–1408. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.191>
- Ihlen, V. (2019, November 26). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. USGS. <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, *122*, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Kholis, A. N., & Rendra, M. I. (2022). Potensi Resapan Air Tanah Di Kabupaten Bojonegoro Dengan Pendekatan GIS. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, *10(2)*, 222–233.
- Kumar, M., Denis, D. M., Kundu, A., Joshi, N., & Suryavanshi, S. (2022). Understanding land use/land cover and climate change impacts on hydrological components of Usri watershed, India. *Applied Water Science*, *12(3)*, 39. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01547-6>
- Kumar, S., Mishra, A., & Singh, U. K. (2023). Assessment of Land Cover Changes and Climate Variability Effects on Catchment Hydrology Using a Physically Distributed Model. *Sustainability*, *15(13)*, 10304. <https://doi.org/10.3390/su151310304>
- Lee, J., Park, M., Min, J.-H., & Na, E. H. (2023). Integrated Assessment of the Land Use Change and Climate Change Impact on Base flow by Using Hydrologic Model. *Sustainability*, *15(16)*, 12465. <https://doi.org/10.3390/su151612465>
- Lee, K.-S., Park, Y., & Shin, W.-J. (2021). Hydrograph separation for a small agricultural watershed: The role of irrigation return flow. *Journal of Hydrology*, *593*, 125831. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125831>
- Lestari, S. A., Anugerah, D. D., & Sarino. (2019). Analysis of Flood Hydrograph to the Land Use Change on Flood Peak Discharge in the Sekanak Watershed. *Journal of Physics: Conference Series*, *1198(8)*, 082016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/8/082016>
- Malede, D. A., Alamirew, T., & Andualem, T. G. (2022). Integrated and Individual Impacts of Land Use Land Cover and Climate Changes on Hydrological Flows over Birr River Watershed, Abbay Basin, Ethiopia. *Water*, *15(1)*, 166. <https://doi.org/10.3390/w15010166>
- Marselianti, Zubair, H., & Neswati, R. (2023). Soil Carbon Storage in Forest and Agriculture Land Use in the Tanralili Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1230(1)*, 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012036>
- Mathewos, M., Lencha, S. M., & Tsegaye, M. (2022). Land Use and Land Cover Change Assessment and Future Predictions in the Matenchose Watershed, Rift Valley Basin, Using CA-Markov Simulation. *Land*, *11(10)*, 1632.

- <https://doi.org/10.3390/land11101632>
- Mekuriaw, T. (2019). Evaluating Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Surface Runoff using Arc SWAT Model in Sore and Geba Watershed, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 9(10), 7–17. <https://doi.org/10.7176/JEES/9-10-02>
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U., & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 592–609. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>
- Murniningsih, S. (2018). Study of erosion and sedimentation in urban areas for river with meander pattern. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 191(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/191/1/012127>
- Naik, S. R. S., Masilamani, P., Kushawaha, J., & Jahangeer, J. (2024). Investigating the impact of land use land cover change on groundwater level dynamics in the Koraiyar watershed, Coimbatore District, Tamil Nadu, India. *Frontiers in Water*, 6, 1339613. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1339613>
- Negatu, T. A., Zimale, F. A., & Steenhuis, T. S. (2022). Establishing Stage–Discharge Rating Curves in Developing Countries: Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/hydrology9010013>
- Nut, N., Mihara, M., Jeong, J., Ngo, B., Sigua, G., Prasad, P. V. V., & Reyes, M. R. (2021). Land Use and Land Cover Changes and Its Impact on Soil Erosion in Stung Sangkae Catchment of Cambodia. *Sustainability*, 13(16), 9276. <https://doi.org/10.3390/su13169276>
- Pelletier, A., & Andréassian, V. (2020). Hydrograph separation: An impartial parametrisation for an imperfect method. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(3), 1171–1187. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1171-2020>
- Permatasari, R., Sabar, A., & Natakusumah, D. K. (2017). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Rezim Hidrologi DAS (Studi Kasus: DAS Komerang). *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 91–98. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.1.11>
- Petrovic, F. (2021). Hydrological Impacts of Climate Change and Land Use. *Water*, 13(6), 799. <https://doi.org/10.3390/w13060799>
- Pribadi, A. D., Kusumawati, R. D., & Firdausi, A. A. (2020). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Di Das Sampean Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 19(2), 84–101. <https://doi.org/10.35760/dk.2020.v19i2.3492>
- Puslittanak. (2004). *Laporan Akhir Pengkajian Potensi Bencana Kekeringan, Banjir dan Longsor di Kawasan Satuan Wilayah Sungai Citarum-Ciliwung, Jawa Barat Bagian Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Reddy, P. S., & Bhavani, R. (2024). Impact of Land-Use Changes on the Runoff of Nandigama, Andhra Pradesh, India. *Ecological Engineering &*

- Environmental Technology*, 25(2), 121–129.
<https://doi.org/10.12912/27197050/175958>
- Rizki Ramadhan Husaini, Muhammad Yazid, & Muhammad Al Amin. (2022). Identifikasi Kondisi Daerah Resapan Air Berbasis SIG (Studi Kasus di Kabupaten Bengkalis). *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil*, 1(2), 58–66.
<https://doi.org/10.56208/jtrs.v1.i2-hal58-66>
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E., W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., ... Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154–172.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Santillan, J. R., Amora, A. M., Makinano-Santillan, M., Gingo, A. L., & Marqueso, J. T. (2019). Analyzing The Impacts Of Land Cover Change To The Hydrologic And Hydraulic Behaviours Of The Philippines' Third Largest River Basin. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-3/W1, 41–48.
<https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-W1-41-2019>
- Sertel, E., Imamoglu, M. Z., Cuceloglu, G., & Erturk, A. (2019). Impacts of Land Cover/Use Changes on Hydrological Processes in a Rapidly Urbanizing Mid-latitude Water Supply Catchment. *Water*, 11(5), 1075.
<https://doi.org/10.3390/w11051075>
- Subramanya, K. (2008). *Engineering Hydrology* (3rd ed.). Tata McGraw-Hill Publishing company Limited.
- Sukarman, Ritung, S., Anda, M., & Suryani, E. (2017). *Pedoman Pengamatan Tanah di Lapangan*. IAARD Press.
<https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/3c760cbd-804d-4458-9701-8d78771bbf60/content>
- Suleman, A. R., & Yusuf, H. (2019). Analisis Indeks Kinerja Rehabilitasi Jaringan Irigasi pada Daerah Irigasi (D.I) Lekoancing Kabupaten Maros. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3, 55–60.
- Surahman, S., Zubair, H., Munir, A., & Achmad, M. (2021). Impact of land use change on groundwater flow using SWAT model, study case: Tanralili Sub Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(3), 032056.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/3/032056>
- Suryanto, N. U., Damayanti, A., Dimyati, M., & Rustanto, A. (2021). Erosion hazard levels in the tanralili sub-watershed, south sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 683(1), 012065.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/683/1/012065>
- Syafri, S., Surya, B., Ridwan, R., Bahri, S., Rasyidi, E. S., & Sudarman, S. (2020). Water Quality Pollution Control and Watershed Management Based on Community Participation in Maros City, South Sulawesi, Indonesia. *Sustainability*, 12(24), 10260.
<https://doi.org/10.3390/su122410260>

- Vaillancourt, C., Duchesne, S., & Pelletier, G. (2019). Hydrologic Performance of Permeable Pavement as an Adaptive Measure in Urban Areas: Case Studies near Montreal, Canada. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(8), 05019020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001812](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001812)
- Villalba-Barrios, A. F., Coronado-Hernández, O. E., Fuertes-Miquel, V. S., Coronado-Hernández, J. R., & Ramos, H. M. (2023). Statistical Approach for Computing Base Flow Rates in Gaged Rivers and Hydropower Effect Analysis. *Hydrology*, 10(7), 137. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070137>
- Yang, H., Choi, H. T., & Lim, H. (2018). Applicability Assessment of Estimation Methods for Base flow Recession Constants in Small Forest Catchments. *Water*, 10(8), 1074. <https://doi.org/10.3390/w10081074>
- Yesuph, A. Y., & Dagneu, A. B. (2019). Land use/cover spatiotemporal dynamics, driving forces and implications at the Beshillo catchment of the Blue Nile Basin, North Eastern Highlands of Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 8(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0148-y>
- You, H., Tang, X., Deng, W., Song, H., Wang, Y., & Chen, J. (2022). A Study on the Difference of LULC Classification Results Based on Landsat 8 and Landsat 9 Data. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/su142113730>
- Yulianto, F., Khomarudin, M. R., Hermawan, E., Nugroho, N. P., Chulafak, G. A., Nugroho, G., Nugroho, U. C., Suwarsono, S., Fitriana, H. L., & Priyanto, E. (2022). Spatial and temporal distribution of estimated surface runoff caused by land use/land cover changes in the upstream Citarum watershed, West Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(2), 3293–3305. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.092.3293>