

# Analisis Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Potensi Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Tallo

## *Analysis of The Impact of Land Use Changes on Flood Potential in The Tallo River Watershed*

Azis Priatna\*, Batara Surya, Syafri

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Program Pascasarjana, Universitas Bosowa

\*E-mail: azispriatna1973@gmail.com

Diterima: 10 Januari 2025/Disetujui: 30 Juni 2025

**Abstrak.** Daerah Aliran Sungai Tallo merupakan salah satu Daerah Aliran Sungai yang penting di Sulawesi Selatan, dimana bagian hilirnya merupakan wilayah pemukiman Kota Makassar. Kondisi DAS Tallo telah mengalami penurunan kualitas yang ditandai dengan terjadinya erosi dan tanah longsor serta banjir terutama pada daerah hilir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan, dampak perubahan penggunaan lahan pada terhadap potensi banjir serta membangun model pengendalian banjir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo. Jenis data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data hidrologi dan data spasial (Geographic Information System) GIS. Data hidrologi meliputi data curah hujan 2014-2024 di Stasiun curah hujan (CH) wilayah DAS Tallo. Data spasial GIS meliputi koordinat Stasiun Pengamatan Arus Sungai (SPAS) dan Stasiun CH, penggunaan lahan DAS Tallo tahun 1990 sampai dengan tahun 2023, jenis tanah, batas DAS Tallo, jaringan Sungai Das Tallo, kelerengan dan RBI kontur Provinsi Sulawesi Selatan. Analisis data dilakukan dengan analisis GIS menggunakan software Arc-GIS 9.3. Analisis pendugaan debit puncak menggunakan model rasional. Analisis hidrologi menggunakan HEC-RAS dimulai dengan memodelkan geometri sungai pada RAS Mapper di HEC-RAS dengan peta DEM. Skenario pengelolaan DAS dilakukan dengan membangun 4 model simulasi yaitu model eksisting (Model 1), model pengelolaan ruang terbuka hijau (Model 2), model pengelolaan ruang terbuka hijau dan biopori (Model 3) dan Model pengelolaan ruang terbuka hijau dan biopori dan rehabilitasi DAS 30% (Model 4). Simulasi terhadap scenario dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (Software) Stella 9.02. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi Perubahan penggunaan lahan Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo Tahun 1990-2023 secara signifikan, konversi lahan permukiman meningkat dari 5,415,50 ha menjadi 14.701,53 ha (21,40%) selain itu terjadi penurunan signifikan terhadap lahan berhutan. Perubahan penggunaan lahan menyebabkan peningkatan laju aliran permukaan pada DAS Tallo dengan laju peningkatan volume aliran permukaan adalah 806,872,29 m<sup>3</sup>/tahun sehingga berdampak pada potensi banjir terutama pada daerah hilir. Skenario pemodelan banjir dengan pengelolaan DAS secara terpadu dengan Penyediaan ruang terbuka hijau (RTH) pada semua wilayah pemukiman sebesar 30% dan atau teknologi biopori yang dibuat sedalam 1 meter dengan diameter lubang sekitar 0,10 meter yang ditanam dengan jarak 10 x 10 (100 lubang per hektar) pada 30% wilayah pemukiman serta rehabilitasi DAS 30% dapat mengendalikan banjir dengan menurunkan volume aliran permukaan masing-masing sebesar 64,81% dari aliran permukaan keseluruhan pada DAS Tallo.

**Kata Kunci:** Banjir, DAS Tallo, Pemodelan, Penggunaan Lahan

**Abstract.** The Tallo watershed is one of the important river basins in South Sulawesi, where the downstream part is the residential area of Makassar City. The condition of the Tallo watershed has experienced a decline in quality, characterized by erosion, landslides and flooding, especially in downstream areas. This research aims to analyze land use changes, the impact of land use changes on potential flooding and build a flood control model in the Tallo River Basin (DAS). The types of data required in this research include hydrological data and GIS spatial (Geographic Information System) data. Hydrological data includes rainfall data for 2014-2024 at the rainfall station (CH) in the Tallo watershed area. GIS spatial data includes coordinates of the River Flow Observation Station (SPAS) and CH Station, Tallo Watershed land use from 1990 to 2023, soil type, Tallo Watershed boundaries, Tallo River network, slope and RBI contour of South Sulawesi Province. Data analysis was carried out using GIS analysis using Arc-GIS 9.3 software; Analysis of peak discharge estimation using a rational model. Hydrological analysis using HEC-RAS begins by modeling river geometry on RAS Mapper in HEC-RAS with DEM maps. The watershed management scenario was carried out by building 4 simulation models, namely the existing model (Model 1), the green open space management model (Model 2), the green open space and biopore management model (Model 3) and the green open space and biopore management model and 30% watershed rehabilitation (Model 4). Simulation of the scenario was carried out using Stella 9.02 software. The results of the research show that there has been a significant change in land

use in the Tallo River Watershed (DAS) in 1990-2023, residential land conversion increased from 5,415.50 ha to 14,701.53 ha (21.40%) in addition to a significant decrease in forested land. Changes in land use cause an increase in surface flow rates in the Tallo watershed with an increase in surface flow volume of 806,872.29 m<sup>3</sup>/year, thus having an impact on the potential for flooding, especially in downstream areas. Flood modeling scenario with integrated watershed management by providing 30% green open space (RTH) in all residential areas and/or biopore technology made 1 meter deep with a hole diameter of around 0.10 meters planted at a distance of 10 x 10 (100 holes per hectare) in 30% of residential areas and 30% watershed rehabilitation can control flooding by reducing the volume of surface flow each by 64.81% of the total surface flow in the Tallo Watershed.

**Keywords:** Flood, Tallo Watershed, Modelling, Land Use



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

## Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan sistem hidrologi yang kompleks, di mana terdapat keseimbangan dinamis antara input dan output energi serta material; gangguan pada satu komponen, seperti penggunaan lahan, otomatis memengaruhi sistem secara keseluruhan. (Paoletti & Nastri, 2021) Komponen struktur utama dalam DAS air, tanah, dan vegetasi—berperan secara sinergis dalam mengatur aliran hidrologi. Oleh karena itu, perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali dapat mengganggu keseimbangan tersebut dan meningkatkan risiko peristiwa ekstrem seperti banjir.

Perubahan tataguna lahan, khususnya alih fungsi lahan hijau menjadi area permukiman atau pertanian intensif, terbukti meningkatkan aliran permukaan (runoff) dan menurunkan kemampuan infiltrasi tanah (Naharuddin et al., 2022). Studi global menunjukkan bahwa land use/land cover (LULC) change menjadi salah satu faktor signifikan yang memicu peningkatan frekuensi dan intensitas banjir, terutama di daerah aliran sungai tropis (Makinano et al., 2023). Implementasi teknologi pemodelan seperti XGBoost dan Random Forest telah menerapkan parameter LULC sebagai indikator utama dalam memprediksi zona rentan banjir.

Secara lokal, DAS Tallo di Sulawesi Selatan mengalami tekanan signifikan akibat perubahan penggunaan lahan selama dekade terakhir. Luas DAS ini mencapai sekitar 43.681 ha, dengan wilayah hilirnya meliputi pusat pemukiman Kota Makassar. Topografi dataran rendah di hilir, ditambah curah hujan tinggi 2.200–2.600 mm per tahun, menjadikan sistem ini sangat rentan terhadap banjir musiman dan limpasan ekstrem (BPKH Wilayah VII, 2023).

Pengelolaan DAS Tallo bagian hulu juga menunjukkan tren perubahan lahan seluas ribuan hektar untuk permukiman dan pertanian, tanpa disertai konservasi tanah dan air yang memadai. Studi kasus serupa seperti pada Kelara Watershed di Sulawesi Selatan menyimpulkan bahwa alih fungsi lahan tanpa strategi konservasi menyebabkan peningkatan debit puncak dan perluasan wilayah genangan (Nita et al., 2022). Hal ini direfleksikan melalui penurunan luas tutupan hutan—hanya sekitar 11 % pada tahun 2023—mengindikasikan pergeseran signifikan dalam fungsi ekologis DAS.

Lebih jauh, penelitian global menyampaikan pentingnya integrasi antara perubahan tutupan lahan dan model hidrologi untuk memperkirakan risiko banjir ke depan. (Fohrer, 2023). Model hidrologi-hidraulik seperti yang dipakai pada Zhaojue River Basin (China) dan Kelara Watershed memperlihatkan bahwa kombinasi antara perubahan penggunaan lahan dan infrastruktur tanpa mempertimbangkan mitigasi akan memperburuk kerentanan banjir secara spasial.

Potensial risiko ini diperparah oleh perubahan iklim. Proyeksi iklim makro menunjukkan intensitas hujan yang lebih tinggi datang dalam periode pendek, sebagai akibat perubahan pola curah hujan tropis (UN-CC Learn, 2012). Kondisi seperti ini secara otomatis mengurangi waktu resapan tanah dan memperpendek durasi aliran puncak, meningkatkan peluang terjadinya banjir bandang pada DAS seperti Tallo.

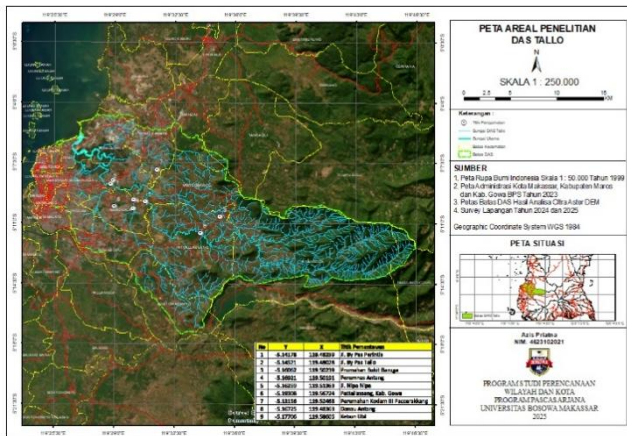
Secara regional, kejadian banjir di Sulawesi Selatan — termasuk di DAS Tallo — telah menimbulkan gangguan sosial-ekonomi yang besar. Misalnya, banjir besar pada tahun 2019 dan 2020 mengakibatkan korban jiwa, kerusakan properti, dan penutupan akses infrastruktur publik. (Petricola et al., 2022). Fenomena ini menegaskan perlunya kajian komprehensif lebih lanjut mengenai implikasi perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir.

Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir di DAS Tallo. Fungsi pendukung penelitian mencakup pemetaan perubahan tutupan lahan (2002–2023), simulasi debit limpasan, dan penyusunan skenario penanganan banjir melalui pendekatan integratif. Hasil penelitian diharapkan memberikan dasar ilmiah bagi strategi pengelolaan DAS dan perencanaan mitigasi bencana di Kota Makassar.

## Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada wilayah DAS Tallo yang meliputi 3 (tiga) wilayah administrasi yaitu kota Makassar, kabupaten Gowa dan kabupaten Maros. Kota Makassar merupakan wilayah hilir dari DAS Tallo dan hampir setiap musim hujan selalu terjadi banjir pada wilayah-wilayah genangan sekitar bantaran sungai Tallo diantaranya di wilayah kecamatan Tamalanrea dan kecamatan Manggala (Antang dan sekitarnya, dengan fenomena seringnya terjadi

banjir di wilayah hilir DAS Tallo, sehingga menarik untuk dilakukan penelitian. Wilayah DAS Tallo memiliki luas 43.681,66 ha dengan jumlah penduduk sebanyak 1.828.655 jiwa. Lokasi penelitian dapat dilihat pada peta berikut.



**Gambar 1.** Peta Daerah Aliran Sungai Tallo

Penelitian ini menggunakan dua jenis data utama, yaitu data primer dan data sekunder, yang masing-masing berperan penting dalam mendukung analisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo. Data primer diperoleh melalui observasi dan pengukuran langsung di lapangan, serta pengumpulan data melalui metode kualitatif berupa wawancara. Data primer yang dikumpulkan meliputi informasi tentang tutupan lahan aktual, kondisi fisik sungai, serta karakteristik wilayah yang menjadi lokasi genangan banjir. Pengamatan ini dilakukan untuk memastikan validitas data spasial serta untuk melengkapi analisis spasial berbasis citra satelit dan sistem informasi geografis (SIG). Wawancara dilakukan secara mendalam dengan pihak-pihak yang memiliki pengetahuan lokal mengenai kondisi historis dan perubahan-perubahan yang terjadi di DAS Tallo, seperti masyarakat setempat, perangkat kelurahan, serta instansi teknis terkait. Teknik pengumpulan data primer melalui observasi lapangan dan wawancara telah terbukti efektif untuk memperoleh pemahaman komprehensif mengenai dinamika lingkungan di kawasan DAS. (Balasubramani, 2020).

Sementara itu, data sekunder digunakan untuk memberikan informasi pendukung dan referensi historis yang memperkuat temuan dari data primer. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data curah hujan selama 10 tahun terakhir (2015–2024) yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), serta data tutupan lahan sejak tahun 1990 hingga 2023 yang bersumber dari data LULC (Land Use Land Cover) nasional dan data satelit Landsat. Selain itu, digunakan pula data citra Aster Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) untuk memperoleh informasi mengenai kondisi topografi dan kemiringan lereng yang menjadi determinan dalam proses limpasan air permukaan.

Untuk keperluan analisis spasial dan pemetaan, digunakan peta administrasi dan peta Rupabumi yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Penggunaan data sekunder seperti citra satelit dan curah hujan jangka panjang sangat penting dalam kajian banjir karena memungkinkan peneliti melakukan identifikasi tren perubahan lahan serta menganalisis hubungan spasio-temporal antara penggunaan lahan dan intensitas banjir. (Acuña et al., 2022) (Priyatna et al., 2023)

Penggunaan data primer dan sekunder secara integratif memungkinkan penelitian ini untuk melakukan pendekatan kuantitatif dan kualitatif secara bersamaan, yang telah terbukti efektif dalam studi hidrologi dan pengelolaan DAS di berbagai wilayah tropis. (Cecilio et al., 2020). Pendekatan kombinatorik ini juga memperkuat validitas hasil, terutama dalam membuat model prediktif risiko banjir dan merancang skenario mitigasi berbasis penggunaan lahan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial dan hidrologis untuk mengevaluasi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir di wilayah DAS Tallo. Proses analisis diawali dengan pengumpulan data curah hujan harian dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) selama periode 2015–2024. Data curah hujan dari beberapa stasiun yang berada dalam atau di sekitar DAS Tallo diolah untuk memperoleh rata-rata curah hujan wilayah. Selanjutnya, dilakukan analisis intensitas curah hujan menggunakan metode rasional yang banyak digunakan dalam kajian hidrologi perkotaan untuk memperkirakan intensitas hujan berdasarkan periode ulang tertentu (return period), yang kemudian dijadikan masukan dalam pemodelan banjir. (Vangelis et al., 2022).

Simulasi potensi banjir dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), yang memungkinkan analisis aliran satu dimensi di sepanjang jaringan sungai. Model ini divalidasi dengan data historis banjir dan kondisi aktual topografi yang diperoleh dari citra Digital Elevation Model (DEM) Aster. Selain itu, data perubahan penggunaan lahan dianalisis dari tahun 1990 hingga 2023 menggunakan citra satelit Landsat dan diproses dengan bantuan perangkat lunak pengolahan citra seperti ArcGIS. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan pendekatan supervised classification dan divalidasi menggunakan data lapangan serta citra resolusi tinggi. Perubahan ini digunakan untuk mengevaluasi kontribusi antropogenik dalam peningkatan risiko banjir. (Zhou et al., 2023; Swain et al., 2020)

Estimasi debit banjir dilakukan berdasarkan parameter hasil analisis curah hujan dan karakteristik penggunaan lahan. Hasilnya digunakan untuk menyusun model sistem dinamis menggunakan perangkat lunak Stella, yang berguna dalam memprediksi perilaku debit banjir di masa mendatang

dengan mempertimbangkan berbagai skenario pengelolaan lahan. Pendekatan sistem dinamis dipilih karena mampu menggambarkan interaksi antara variabel-variabel lingkungan secara temporal dan nonlinier, serta telah terbukti efektif dalam merancang strategi pengelolaan DAS yang adaptif. (Guemouria et al., 2023) Dengan demikian, hasil dari model ini akan memberikan simulasi kuantitatif terhadap perubahan debit banjir serta efektivitas tindakan mitigasi yang diterapkan.

## Hasil dan Pembahasan

### a. Gambaran Umum Lokasi

Wilayah DAS Tallo secara geografis terletak pada posisi 119° 25' 00'' - 119° 47' 00'' BT dan 05° 03' 00'' - 05° 18' 00'' LS. Adapun luas keseluruhannya yaitu 43.681 ha. Batas-Batas DAS Tallo adalah:

- Sebelah Utara berbatasan dengan DAS Maros.
- Sebelah Timur berbatasan dengan DAS Jeneberang.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan DAS Jeneberang.
- Sebelah Barat berbatasan dengan Selat Makassar.

Sedangkan secara administrasi DAS Tallo termasuk dalam wilayah 3 Kabupaten dan 22 Kecamatan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Luas Kabupaten/Kota dan Persentase Wilayah di DAS Tallo

No.	Kabupaten	Luas (Ha)	Persen (%)
1	Makassar	12,009.23	27.49
2	Gowa	26,176.26	59.93
3	Maros	5,496.17	12.58
	Jumlah	43,681.66	100.00

Sumber: Analisis GIS, 2024

Berdasarkan persentase luas DAS Tallo menunjukkan bahwa luas Kota Makassar yaitu 12,009.23 ha atau sekitar 27.49% dari luas keseluruhan, sedangkan Kabupaten Gowa yaitu 26.176,26 ha atau sekitar 59.93% dari luas keseluruhan. Sedangkan luas Kabupaten Maros yang masuk kedalam wilayah DAS Tallo yaitu 5.496,17 ha atau hanya sekitar 12.58% dari luas keseluruhan. Wilayah DAS Tallo terdiri dari 22 Kecamatan yang tersebar di setiap Kabupaten/Kota. Untuk Kota Makassar, terdapat 13 Kecamatan yang masuk kedalam DAS Tallo yaitu Kecamatan Birngkanaya, Bontoala, Makassar, Mamajang, Manggala, Mariso, Panakkukang, Rapoccini, Tallo, Tamalanrea, Tamalate, dan Ujung Pandang. Terdapat 5 lima kecamatan pada Kabupaten Kabupaten Gowa yaitu Kecamatan Bontomarannu, Parangloe, Pattalasang, Somba Opu, dan Tinggimoncong. Wilayah Kabupaten Maros yang masuk ke dalam wilayah DAS Tallo ada 4 kecamatan yaitu Mandai, Moncongloe, Tanralili dan Tompobulu.

### b. Karakteristik DAS Tallo

#### 1. Topografi dan Bentuk Wilayah

Keadaan topografi DAS Tallo bervariasi dari datar sampai sangat curam. Sebagian besar wilayah DAS Tallo tergolong datar dengan kemiringan lereng (0-8) % umumnya terdapat di bagian hilir DAS, dengan luas wilayah 33,636.53 ha atau 77.03 % dari total areal DAS. Daerah dengan topografi sangat curam (> 45) % terdapat pada daerah hulu DAS dengan luas 477.98 ha atau 1.09%.

#### 2. Jenis Tanah

Jenis tanah pada DAS tallo terdiri atas enam jenis tanah yaitu dystropepts, fluvaquents, haplustults, tropaquepts, tropudults, ustropepts. Sebagian besar wilayah DAS Tallo merupakan jenis tanah dystropepts dan tropaquepts. Jenis tanah dystropepts memiliki luas 11,181.26 ha atau sekitar 25.60% dari total luas DAS sedangkan jenis tanah tropaquepts memiliki luas 13,410.79 ha atau sekitar 30.70% dari total luas DAS. Sedangkan jenis tanah yang paling kecil luasannya adalah tanah Ustropepts 1,957.08 ha, atau sekitar 4.48 %.

#### 3. Penggunaan Lahan

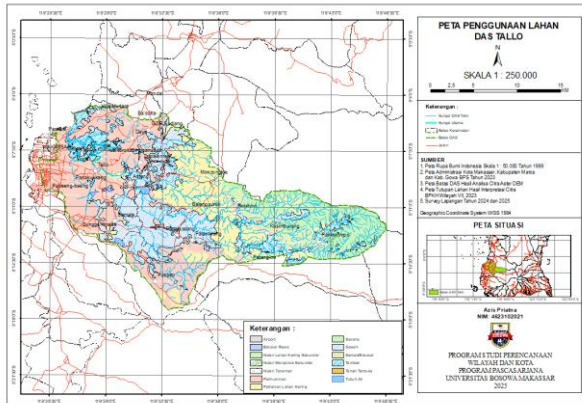
Jenis penggunaan lahan wilayah DAS Tallo sebagian besar merupakan penggunaan lahan sawah dengan luas 16.398,04 ha atau sekitar 38,07% dari total arealnya. Luas pemukiman yaitu 5.559 ha atau sekitar 12,91%, pertanian lahan kering dan semak yaitu 6.193 ha atau sekitar 14%, sedangkan luas hutan yaitu 5.811 ha atau sekitar 13,49%. Jenis penggunaan lahan >10% yaitu pertanian lahan kering, hutan mangrove, dan tambak. Penggunaan lahan DAS Tallo dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

**Tabel 2.** Luas Dan Persentase Penggunaan Lahan Lahan di DAS Tallo

No.	Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Bandara / Pelabuhan	102.98	0.24
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	5075.32	11.62
3	Hutan Mangrove Sekunder	502.28	1.15
4	Hutan Tanaman	84.51	0.19
5	Permukiman	14701.53	33.60
6	Pertanian Lahan Kering	5392.38	12.34
7	Pertanian Lahan Kering Semak	2667.37	6.10
8	Savana / Padang Rumput	1.89	0.00
9	Sawah	10607.97	24.28
10	Semak Belukar	2901.51	6.64
11	Semak Belukar Rawa	14.34	0.03
12	Tambak	1308.16	2.99
13	Tanah Terbuka	25.46	0.06
14	Tubuh Air	295.97	0.68
	Grand Total	43,681.66	100.00

Sumber: Analisis GIS, 2024





**Gambar 3.** Peta Penggunaan Lahan DAS Tallo

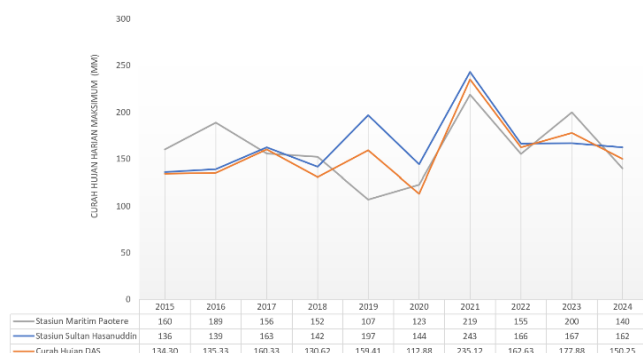
#### 4. Data curah hujan

Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan pada DAS Tallo, dimana stasiun curah hujan yang digunakan dalam

**Tabel 3.** Curah Hujan di Wilayah DAS Tallo

Stasiun Maritim Paotere													
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	Max
2015	160.3	42.8	127.6	89.9	5.2	30.0	0	0	0	0	27.9	130.7	160
2016	160.3	104.3	76.2	38.7	5.5	23.9	8.5	0	52	188.7	57.3	115.3	189
2017	107.9	120.3	42.2	70.8	6.9	55.8	13.6	45.4	50.9	40	78.5	156.0	156
2018	124.6	112.8	152.1	40.9	9.5	22.1	25.5	1.2	0.5	9.7	36.2	140.3	152
2019	84.4	40.5	88.5	10.7	32.9	46.8	2.0	0	2.0	11.5	2.1	0	107
2020	89.1	95.1	50.7	35.7	122.9	50.6	2.1	0	16.0	11.5	21.0	58.1	123
2021	111.0	82.2	153.7	135.8	43.5	16.1	24.9	30.4	58.1	22.5	49.8	218.8	219
2022	123.1	155.3	36.0	24.3	147.6	19.3	4.1	13.4	34.6	10.1	54.9	102.0	155
2023	90.7	90.2	51.8	51.0	34.6	15.4	35.7	0	0	7.5	26.4	63.2	200
2024	51.4	66.9	54.6	33.0	9.0	23.6	33.6	0.2	10.0	16.0	99.4	140.0	140
Stasiun Sultan Hasanuddin													
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	Max
2015	104.8	121.7	65.7	59.3	30.6	55.6	0.0	0.0	0.0	0.0	43.6	136.1	136
2016	124.4	85.6	59.7	55.2	27.6	24.0	18.7	17.8	46.1	139.3	52.2	85.7	139
2017	96.7	84.6	45.8	99.5	18.7	41.5	10.8	55.7	88.8	38.2	75.0	162.5	163
2018	134.2	87.1	49.4	34.4	14.4	33.8	26.5	0.5	0.0	81.9	78.6	141.6	142
2019	197.0	55.7	47.9	68.2	13.4	21.8	3.3	0.5	0.0	18.2	49.0	39.7	197
2020	48.2	106.2	116.1	52.0	47.0	20.6	5.0	8.0	19.0	59.4	70.4	144.2	144
2021	131.6	166.3	208.7	115.8	84.3	52.1	30.3	55.0	61.1	74.9	113.5	243.3	243
2022	130.6	166.3	109.6	72.8	42.8	48.2	47.7	18.0	56.5	51.2	138.4	176.4	176
2023	136.0	166.8	57.0	75.2	40.1	50.6	0.0	0.0	24.0	63.2	116.6	167.0	167
2024	82.8	59.4	115.6	19.6	25.8	45.2	41.6	0.8	7.6	65.8	70.4	162.3	162

Sumber: Hasil perhitungan data Curah Hujan Harian 2015-2024, BMKG



**Gambar 4.** Data Curah Hujan Maksimal Tahun 2015 Sampai Dengan 2024

menganalisa data hidrologi untuk mendapatkan debit puncak (Q) pada wilayah DAS Tallo yaitu stasiun Meteorologi Maritim Paotere dan stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin, curah hujan rata-rata wilayah pada DAS Tallo adalah sebesar 155,87 mm. Curah hujan wilayah rata-rata merupakan hasil perhitungan dari kedua stasiun yang berada di wilayah DAS Tallo yang mempunyai data curah hujan harian secara lengkap, dimana dihitung hujan maksimal selama 10 tahun yang kemudian dikalikan dengan koefisien luas wilayah cakupan masing-masing stasiun.

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 4, curah hujan wilayah masing-masing stasiun selama 10 tahun mulai dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2024, menunjukkan bahwa curah hujan rata-rata pada stasiun curah hujan Meteorologi Maritim Paotere sebesar 160,11 mm dan pada stasiun curah hujan Meteorologi Sultan Hasanuddin sebesar 165,94 mm.

#### c. Perubahan Penggunaan Lahan di DAS Tallo

Jenis penggunaan lahan suatu wilayah sangat mempengaruhi laju dan volume aliran permukaan, penggunaan lahan hutan dapat menunjukkan laju aliran permukaan di bandingkan penggunaan lahan padang rumput atau jenis tanah terbuka (Arsyad dan Rustiadi, 2008). Pengaruh aktivitas tataguna lahan tersebut di atas dapat memberikan akibat nyata pada volume aliran permukaan dan waktu tercapainya debit puncak aliran sebagai respon DAS terhadap curah hujan pada tingkat awal. Sejalan bertambah besar dan lama waktu hujan, pengaruh kombinasi tanaman-tanah terhadap aliran permukaan menjadi berkurang. Oleh karenanya, pengaruh vegetasi hutan terhadap terjadinya aliran permukaan adalah kecil untuk curah hujan besar (Asdak, 2002).

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai

C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinsepsi atau terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang masih baik harga C mendekati nol, semakin rusak suatu DAS, harga C makin mendekati satu (Asdak, 2002).

Tabel 4. Perubahan Penggunaan Lahan di DAS Tallo Periode 1990-2023

No	Penggunaan Lahan	Luas (ha) 1990	Luas (ha) 2023	Perubahan Luas (ha)	Persentase Perubahan (%)	Laju Persentase Perubahan (%/tahun)
1	Awan	12.34	0.00	-12.34	-0.03	-0.001
2	Bandara/Pelabuhan	9.18	102.98	93.80	0.22	0.007
3	Hutan Lahan Kering Primer	3,987.11	-	-3,987.11	-9.19	-0.278
4	Hutan Lahan Kering Sekunder	827.35	5,075.32	4,247.97	9.79	0.297
5	Hutan Mangrove Sekunder	330.63	502.28	171.65	0.40	0.012
6	Hutan Tanaman	111.91	84.51	-27.40	-0.06	-0.002
7	Pemukiman	5,415.50	14,701.53	9,286.02	21.40	0.649
8	Pertanian Lahan Kering	-	5,392.38	5,392.38	12.43	0.377
9	Pertanian Lahan Kering Campur	1,898.96	2667.37	768.41	1.77	0.054
10	Savana/Padang Rumput	-	1.89	1.89	0.00	0.000
11	Sawah	15,993.91	10,607.97	-5,385.93	-12.41	-0.376
12	Semak/Belukar	10,761.55	2,901.51	-7,860.04	-18.12	-0.549
13	Semak Belukar Rawa	455.90	14.34	-441.57	-1.02	-0.031
14	Tambak	1,520.92	1,308.16	-212.76	-0.49	-0.015
15	Tanah Terbuka	1,995.26	-	-1,995.26	-4.54	-0.138
16	Tubuh Air	361.15	295.97	-65.18	-0.15	-0.005
Grand Total		43,681.66	43,385.69			

Sumber: Analisis GIS, 2024

Tabel 4, menunjukkan perubahan penggunaan lahan di di DAS Tallo periode 1990-2023. Berdasarkan Tabel tersebut dapat diketahui bahwa perubahan penggunaan lahan paling banyak terjadi pada lahan pemukiman dimana terjadi peningkatan dari 5,415,50 ha pada tahun 1990 menjadi 14.701,53 ha pada tahun 2023 atau terjadi peningkatan sebesar 9.286,02 ha (21,40%%). Perubahan penggunaan lahan juga sangat signifikan terjadi pada sawah dimana terjadi penurunan luas sawah dari dari 15.993,91 ha pada tahun 1990 menjadi 10.607,97 ha pada tahun 2023 atau terjadi penurunan sebesar 5385,93 ha (12,41%). Hutan lahan kering primer pada tahun 1990 seluas 3.987,11 ha telah habis terkonversi menjadi penggunaan lain.

Perubahan penggunaan lahan pada dasarnya tidak dapat dihindarkan dalam pelaksanaan pembangunan. Pertumbuhan penduduk yang pesat serta bertambahnya tuntutan kebutuhan masyarakat akan lahan, seringkali mengakibatkan benturan kepentingan atas penggunaan lahan serta terjadinya ketidaksesuaian antara penggunaan lahan dengan rencana peruntukannya. Lahan itu bersifat terbatas dan tidak bisa ditambah kecuali dengan kegiatan reklamasi, sehingga keterbatasan lahan di perkotaan menyebabkan kota berkembang secara fisik ke arah pinggiran kota (Lisdiyono, 2004).

d. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Laju Puncak Aliran Permukaan di DAS Tallo

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial dan hidrologis untuk mengevaluasi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir di wilayah DAS Tallo. Data curah hujan harian selama

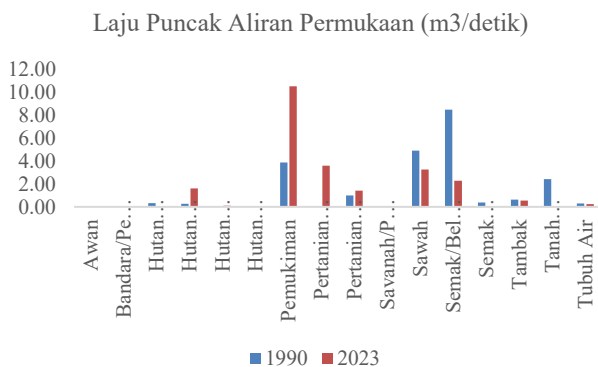
periode 2015–2024 diperoleh dari stasiun meteorologi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang berada di wilayah DAS Tallo dan sekitarnya. Data ini diolah untuk menghitung rata-rata curah hujan wilayah, yang selanjutnya digunakan dalam analisis hidrologis. Analisis intensitas curah hujan dilakukan dengan metode rasional, yang umum digunakan dalam estimasi debit banjir di daerah perkotaan dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam kondisi DAS kecil hingga menengah (Cotugno et al., 2021). Metode ini menghasilkan distribusi curah hujan berdasarkan periode ulang tertentu, yang menjadi input penting dalam simulasi banjir.

Simulasi potensi banjir dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System), yang memungkinkan analisis aliran satu dimensi untuk mengevaluasi karakteristik hidrologi sungai berdasarkan curah hujan dan morfologi saluran (Asinya & Alam, 2021; Ortlepp, 2022). Topografi wilayah diperoleh dari citra Digital Elevation Model (DEM) ASTER dan digunakan untuk memodelkan aliran permukaan dan volume banjir. Data ini divalidasi dengan observasi lapangan dan dokumentasi kejadian banjir historis.

Perubahan penggunaan lahan dianalisis dengan menggunakan citra satelit Landsat dari tahun 1990, 2000, 2010, dan 2023. Proses klasifikasi dilakukan dengan metode supervised classification menggunakan perangkat lunak ArcGIS, dengan validasi lapangan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi. Analisis perubahan lahan dilakukan untuk mengidentifikasi tren konversi lahan, khususnya dari lahan vegetatif menjadi area terbangun atau pertanian intensif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa

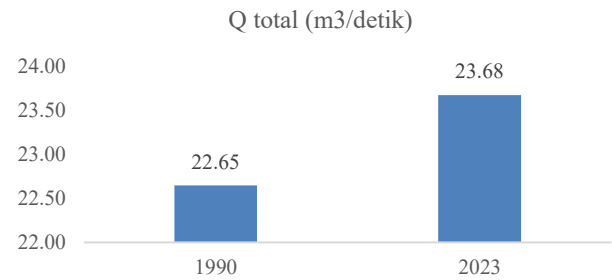
konversi lahan dari vegetasi alami menjadi area terbangun merupakan salah satu penyebab utama meningkatnya aliran permukaan dan potensi banjir (Yulianto et al., 2022).

Selanjutnya, estimasi debit banjir dihitung berdasarkan hasil analisis curah hujan dan koefisien limpasan permukaan (runoff coefficient) dari berbagai jenis penggunaan lahan. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk membangun model sistem dinamis menggunakan perangkat lunak Stella. Pendekatan sistem dinamis digunakan untuk mensimulasikan skenario pengelolaan lahan di masa depan dan mengevaluasi dampaknya terhadap potensi banjir. Sistem ini memungkinkan integrasi variabel-variabel lingkungan yang saling berkaitan secara temporal dan dinamis, serta efektif dalam mendukung perencanaan pengelolaan DAS berbasis adaptasi terhadap perubahan penggunaan lahan (Rajaei et al., 2021).

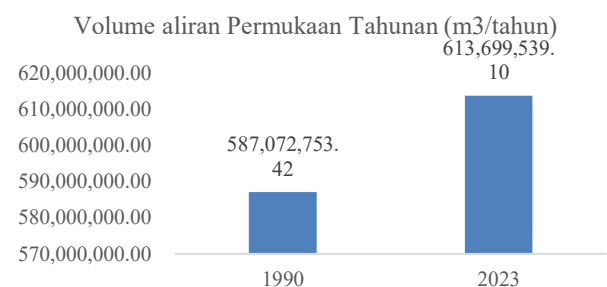


**Gambar 5.** Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Laju Puncak Aliran Permukaan di DAS Tallo

Gambar 5. menunjukkan Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Laju Puncak Aliran Permukaan di DAS Tallo. Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa perubahan penggunaan lahan menyebabkan perubahan Laju Puncak Aliran Permukaan di DAS Tallo. Perubahan penggunaan lahan pada periode 1990-2023 menyebabkan peningkatan laju aliran permukaan pada DAS Tallo dari 22,65 m<sup>3</sup>/detik menjadi 23,68 m<sup>3</sup>/detik atau mengalami peningkatan 1.03 m<sup>3</sup>/detik (Gambar 7). Volume aliran permukaan pada tahun 1990 dan 2023, dapat dilihat pada Gambar 8. Pada tahun 1990, volume aliran pada DAS Tallo adalah 587,072,753.42 m<sup>3</sup>/tahun dan meningkat pada tahun 2019 menjadi 613,699,539.10 m<sup>3</sup>/tahun atau meningkat 26,626,785.68 m<sup>3</sup> sehingga laju peningkatan volume aliran permukaan adalah 806,872.29 m<sup>3</sup>/tahun.



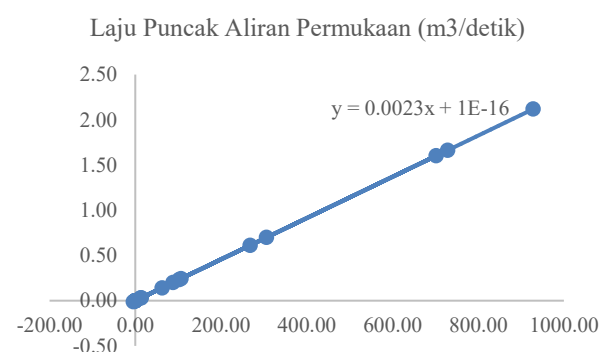
**Gambar 6.** Perubahan Laju Puncak Aliran Permukaan Total di DAS Tallo periode 1990-2023



**Gambar 7.** Perubahan Total Volume Aliran Permukaan Total di DAS Tallo periode 1990-2023

Peningkatan aliran permukaan pada DAS Tallo terutama disebabkan oleh konversi lahan hutan dan pertanian menjadi pemukiman.

Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa pengaruh penambahan pemukiman sangat signifikan terhadap penambahan debit laju aliran puncak di DAS Tallo. Peningkatan 1 ha pemukiman akan meningkatkan laju puncak aliran permukaan sebesar  $0.0023 \text{ m}^3/\text{detik}$ . Dengan nilai koefisien aliran permukaan sebesar 0.5, peningkatan lahan pemukiman ke depan akan meningkatkan laju puncak aliran permukaan sehingga dapat menyebabkan banjir.



**Gambar 8.** Laju Puncak Aliran Permukaan akibat Perubahan Penggunaan Menjadi Pemukiman

Tingginya laju aliran permukaan di DAS Tallo terutama disebabkan oleh minimnya daerah resapan—awalnya lahan pertanian kurang produktif dan permukiman—serta hanya sekitar 11,58% wilayahnya ditutupi oleh vegetasi hutan sekunder atau tanaman (BPKH, 2023). Konversi lahan hutan dan sawah menjadi

permukiman atau lahan budidaya berdampak besar terhadap karakter fisik tanah. Studi global menunjukkan bahwa hilangnya tutupan vegetasi dan peningkatan permukaan tertutup (*impervious surfaces*) secara signifikan meningkatkan mobilitas air hujan sebagai aliran permukaan (*runoff*) dan menurunkan infiltrasi tanah (Ferreira et al., 2021). Hal ini sejalan dengan temuan kami bahwa terbatasnya area resapan mempercepat laju limpasan dan memperburuk potensi banjir di daerah tersebut.

Selain itu, kondisi tanah di DAS Tallo dominan bertekstur liat dan lempung—jenis seperti Tropaquepts dan Haplustalfs—yang memiliki permeabilitas rendah. Tekstur halus, struktur berat atau remah sedang, serta tingginya persentase pori halus menyebabkan laju infiltrasi yang rendah (Weinzierl, 2023). Penelitian oleh beberapa ahli, memperlihatkan bahwa tanah berstruktur padat dan permeabilitas rendah cenderung menghasilkan volume aliran permukaan lebih besar dibandingkan tanah berstruktur longgar. (Yang, 2013; Chabanon et al., 2017) Pengamatan lapangan mengonfirmasi bahwa struktur tanah di DAS Tallo memang menghambat infiltrasi dan meningkatkan tekanan hidrologis selama hujan intens.

Surplus aliran permukaan ini, ketika berinteraksi dengan kondisi topografi datar sekitar 72% dari wilayah, menyebabkan distribusi air yang lambat dan potensi genangan yang tinggi. Tanpa area penahan atau drainase efektif, limpasan permukaan tidak cepat berpindah, tetapi malah menumpuk dan memperpanjang durasi banjir genangan. Konsep ini konsisten dengan pendekatan *land cover–hydrology* model sebelumnya yang menunjukkan bahwa kombinasi antara tekstur tanah halus dan topografi datar menjadi sinyal kuat peningkatan risiko banjir di kawasan pemukiman pinggir (Xu et al., 2022).

#### e. Pemetaan Daerah Rawan Banjir di DAS Tallo

Banjir merupakan fenomena global yang berdampak luas—baik secara sosial, ekonomi, maupun ekologi. Definisi umum banjir merujuk pada kondisi air yang meluap melebihi batas normal ke wilayah yang biasanya kering, memicu genangan yang mengganggu aktivitas manusia. (Setiawan et al., 2022) Namun, dinamika banjir pada wilayah DAS Tallo lebih kompleks karena dipicu oleh kombinasi faktor hidrometeorologis dan antropogenik. Banjir dapat terjadi secara lambat selama beberapa hari akibat akumulasi hujan berkelanjutan, atau secara cepat akibat hujan deras dalam waktu singkat—serupa fenomena *flash flood*. (Kaiser et al., 2021) Ketika infiltrasi tanah tidak mampu mengimbangi debit air yang masuk, limpasan permukaan terjadi dan sistem

drainase alami pun cepat mengalami batas kemampuan, menyebabkan debit sungai meluap.

Khususnya di wilayah urban, alih fungsi lahan menjadi pusat pemicu utama meningkatnya risiko banjir karena memperluas permukaan tertutup (*impervious surfaces*). Studi global menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan yang mengubah ruang terbuka menjadi area beton atau aspal drastis meningkatkan laju limpasan permukaan dan menurunkan kapasitas resapan tanah (Alshammari et al., 2023). Kondisi ini memperparah ketidakseimbangan hidrologi dan memperbesar kemungkinan genangan yang berkepanjangan, terutama di daerah hilir yang topografinya datar seperti DAS Tallo. Pemadatan tanah di area permukiman juga semakin menurunkan infiltrasi, mempercepat distribusi air hujan secara langsung ke sungai.

Selain itu, faktor geomorfologi memainkan peran besar dalam dinamika banjir. Bentuk lahan seperti dataran banjir, kipas aluvial, dan *floodplains* menandakan keberulangan proses banjir historis dan menjadi indikator spasial kerentanan banjir. (Ouyang et al., 2021; Szabó et al., 2020). Penggunaan pendekatan SIG untuk mengidentifikasi fitur-fitur ini menjadi efektif untuk memetakan daerah berisiko tinggi dan membantu strategi mitigasi berbasis lokasi. Di DAS Tallo, fitur morfogenetik serupa menunjukkan adanya konsentrasi air lambat di beberapa bagian hilir, sehingga mempertebal kecenderungan genangan saat curah hujan tinggi.

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa total luas lahan rawan banjir di DAS Tallo mencapai 1.690,59 ha—sekitar 3,87 % dari wilayah DAS—terutama di Kecamatan Tamalanrea dan Panakukkang. Konversi lahan bervegetasi menjadi area terbangun menyebabkan peningkatan permukaan *impervious*—trennya konsisten dengan studi sebelumnya tentang urbanisasi dan peningkatan risiko banjir (Liu et al., 2021). Temuan ini menggarisbawahi bahwa perubahan penggunaan lahan, tanpa strategi konservasi dan sistem drainase ramah lingkungan, secara nyata memperburuk tekanan hidrologis pada DAS.

Dengan demikian, hasil penelitian memperkuat urgensi pengelolaan DAS secara terpadu: mempertahankan ruang resapan, merancang kembali sistem *drainage* dengan pendekatan alam (*nature-based solutions*), dan merehabilitasi area morfologis kunci seperti *floodplain* dan dataran banjir agar mampu berfungsi sebagai *buffer* alami. Integrasi strategi-strategi tersebut tidak hanya akan mengurangi risiko genangan, tetapi juga meningkatkan ketahanan ekosistem dan komunitas lokal sosial terhadap kejadian banjir di masa depan.

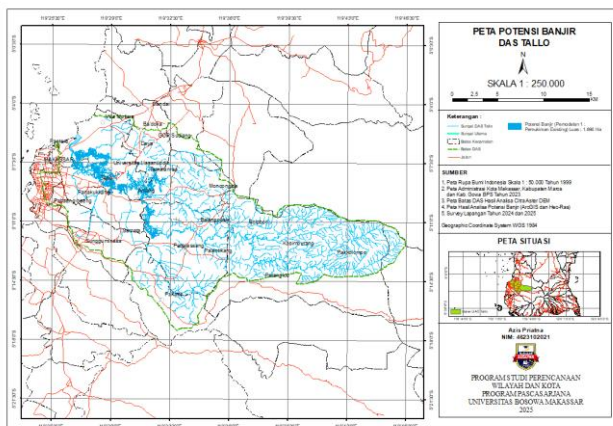
**Tabel 5.** Luas dan Persentase Daerah Potensi Banjir di DAS Tallo

No	Kabupaten/Kota	Kecamatan	Luas Potensi Banjir	Luas Tidak Potensi Banjir	Jumlah (Ha)	Presentasi %
1	Makassar	Biringkanaya	77.00	2,031.56	2,108.57	0.18
	Makassar	Bontoala	-	2.79	2.79	-
	Makassar	Makassar	-	253.68	253.68	-
	Makassar	Mamajang	-	104.16	104.16	-
	Makassar	Manggala	62.07	2,260.79	2,322.86	0.14
	Makassar	Mariso	-	0.34	0.34	-



No	Kabupaten/Kota	Kecamatan	Luas Potensi Banjir	Luas Tidak Potensi Banjir	Jumlah (Ha)	Presentasi %
2	Makassar	Panakkukang	302.73	1,257.72	1,560.45	0.69
	Makassar	Rappocini	-	1,015.93	1,015.93	-
	Makassar	Tallo	204.76	610.11	814.88	0.47
	Makassar	Tamalarea	495.36	3,231.76	3,727.12	1.13
	Makassar	Tamalanrea	-	4.77	4.77	-
	Makassar	Ujung Pandang	-	0.95	0.95	-
	Makassar	Ujung Tanah	-	2.74	2.74	-
		Subtotal	1,141.93	10,867.31	12,009.23	2.61
	Gowa	Bontomarannu	-	3,122.27	3,122.27	-
	Gowa	Parangloe	-	12,614.74	12,614.74	-
	Gowa	Pattalassang	248.82	7,299.67	7,548.49	0.57
	Gowa	Somba Opu	-	2,237.38	2,237.38	-
	Gowa	Tinggimoncong	-	653.41	653.41	-
		Subtotal	248.82	25,927.47	26,176.29	0.57
3	Maros	Mandai	-	946.02	946.02	-
	Maros	Moncongloe	299.85	3,911.16	4,211.00	0.69
	Maros	Tanralili	-	169.49	169.49	-
		Tompobulu	-	169.66	169.66	-
		Subtotal	299.85	5,196.33	5,496.17	0.69
		Total	1,690.59	41,991.11	43,681.69	3.87

Sumber: Analisis SIG, 2024



Gambar 9. Peta Potensi Banjir DAS Tallo

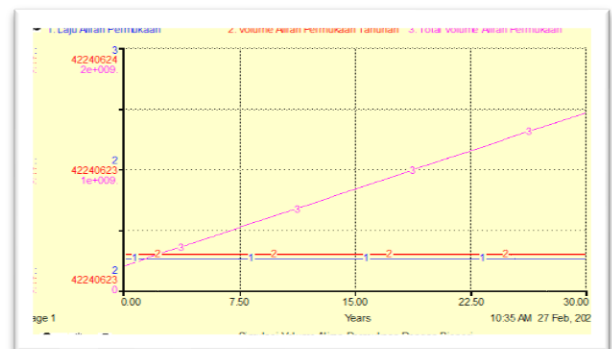
#### f. Simulasi Skenario Penggunaan Lahan Pemukiman Terhadap Laju Puncak Aliran Permukaan

Simulasi ini dilakukan untuk melihat perubahan laju aliran permukaan penyebab banjir pada DAS Tallo pada beberapa scenario pengelolaan. Simulasi terhadap scenario dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*Software*) Stella 9.02, dengan membuat model dan mensimulasi faktor-faktor serta menduga kemungkinan di masa depan (30 tahun). Ada 4 skenario yang akan disimulasikan yaitu: Skenario pemodelan banjir dengan pengelolaan eksisting (Model 1), Skenario pemodelan banjir dengan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau Pemukiman 30% dari luas pemukiman (Model 2), Skenario pemodelan banjir dengan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau Pemukiman 30% dari luas pemukiman dan Penggunaan Biopori jarak 10 m x 10 m dengan kemampuan penampungan air sebanyak 30 liter/lubang biopori sebanyak 30% dari luas pemukiman (Model 3), Skenario pemodelan banjir dengan pengelolaan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau, Biopori dan Rehabilitasi Hutan dan Lahan, seluas 30 % dari luas wilayah DAS (Model 4).

##### 1. Simulasi Skenario Kondisi Pemukiman Eksisting (Model 1)

Simulasi model 1 didasarkan pada kondisi eksisting dimana volume aliran permukaan akibat perubahan penggunaan lahan masih menggunakan pengelolaan saat ini. Perubahan penggunaan pemukiman dapat menyebabkan

aliran permukaan meningkat. Koefisien aliran permukaan permukaan adalah 0.5, Artinya sebanyak 50% air hujan mengalir sebagai aliran permukaan dan sisanya 50% terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah.



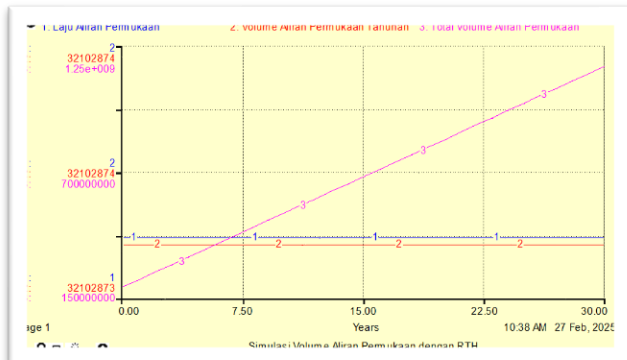
Gambar 10. Volume Aliran Permukaan pada Skenario pemodelan banjir dengan pengelolaan eksisting (Model 1)

##### 2. Simulasi Skenario Skenario pemodelan banjir dengan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau Pemukiman 30% dari luas pemukiman (Model 2)

Simulasi model 2 didasarkan pada kondisi eksisting dimana volume aliran permukaan akibat perubahan penggunaan lahan dengan melakukan pengelolaan ruang terbuka hijau 30%. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko banjir di wilayah perkotaan, antara lain melalui aplikasi sistem penampungan air hujan dengan Subreservoir Air Hujan pada Ruang Terbuka Hijau (RTH). Pada wilayah kota terdapat RTH paling sedikit 30% dari luas wilayah dimana 20% adalah RTH publik dan 10% RTH privat. Penyediaan dan pemanfaatan RTH adalah untuk menjamin tersedianya ruang yang cukup bagi kawasan konservasi untuk kelestarian hidrologis dan kawasan pengendalian air larian dengan menyediakan kolam retensi. Tersirat bahwa kawasan RTH dapat dimanfaatkan untuk konservasi dan penampungan air limpasan dengan aplikasi subreservoir air hujan atau kolam retensi untuk pengendalian genangan air (banjir). Pada satu sisi kejadian bencana banjir, kekeringan, dan kekurangan air baku semakin sering terjadi di wilayah perkotaan di Indonesia dewasa ini. Pada sisi lain, penyediaan lahan untuk menampung air limpasan yang besar

semakin sulit diperoleh. Padahal di wilayah perkotaan masih ada aset yang didayagunakan, yaitu curah hujan dan RTH.

Penggunaan RTH pada 30% luas wilayah pemukiman akan menyebabkan penurunan koefisien aliran permukaan daerah RTH tersebut menjadi 0.1. Artinya sebanyak 10% air hujan mengalir sebagai aliran permukaan dan sisanya 90% terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah.

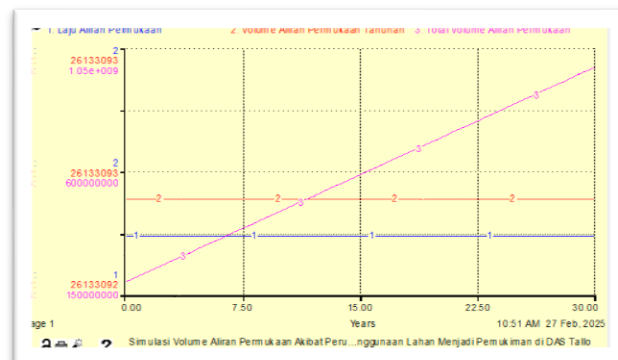


**Gambar 11.** Volume Aliran Permukaan pada Simulasi Skenario pemodelan banjir dengan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau Pemukiman 30% dari luas pemukiman (Model 2)

### 3. Simulasi Skenario Pengelolaan RTH dan Biopori (Model 3)

Simulasi Model 3 dilakukan dengan Skenario pemodelan banjir dengan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau dan Penggunaan Biopori jarak 10 m x 10 m dengan kemampuan penampungan air sebanyak 30 liter/lubang biopori sebanyak 30% dari luas pemukiman. Lubang Resapan Biopori (LRB) adalah lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10 – 30 cm dan kedalaman sekitar 100 cm atau dalam kasus tanah dengan permukaan air tanah dangkal, tidak sampai melebihi kedalaman muka air tanah. Lubang diisi dengan sampah organik. Sampah berfungsi menghidupkan mikroorganisme tanah, seperti cacing tanah. Cacing ini nantinya bertugas membentuk pori-pori atau terowongan dalam tanah (biopori). Biopori secara harfiah merupakan lubang-lubang (pori-pori makro) di dalam tanah yang dibuat oleh jasad biologi tanah. Lubang cacing tanah, lubang tikus, lubang marmut, lubang anjing prairi, lubang semut, rayap, dan lain-lain, termasuk lubang bekas akar yang mati dan membusuk, merupakan contoh-contoh dari biopori di dalam tanah. Biopori dalam tanah ini sangat optimal keberadaannya di daerah yang tidak terganggu seperti pada lahan hutan dan kebun campuran.

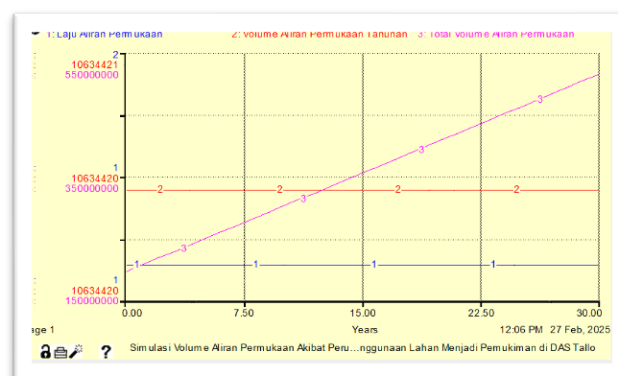
Pada lahan pertanian intensif dan di kawasan pemukiman, biopori sangat sedikit dijumpai, karena kehidupan jasad biologi tanah tersebut terganggu oleh berbagai aktivitas manusia, juga oleh pengaruh limbah dan aplikasi pestisida, sehingga tanah menjadi sangat padat. Keberadaan biopori yang banyak, akan mempertinggi daya serap tanah terhadap air, karena air akan lebih mudah masuk ke dalam tubuh (profil) tanah. Lubang biopori yang dibuat sedalam 1 meter dengan diameter lubang sekitar 0,10 meter maka dapat menampung air sebanyak 0,03 m<sup>3</sup> (30 liter). Bila jarak antar biopori tersebut 10 x 10 meter maka akan terdapat sebanyak 100 lubang biopori per hektar yang berarti dapat menampung tambahan air sebanyak 3 m<sup>3</sup> per hektar.



**Gambar 12.** Volume Aliran Permukaan pada Simulasi Skenario Pengelolaan RTH dan Biopori (Model 3)

### 4. Simulasi Skenario Pengelolaan RTH, Biopori dan Rehabilitasi DAS (Model 4)

Skenario pemodelan banjir dengan pengelolaan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau, Biopori dan Rehabilitasi Hutan dan Lahan, seluas 30 % dari luas wilayah DAS. Model dinamik untuk simulasi model 4 dapat dilihat pada Gambar 17 dan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 18. Dalam simulasi ini dilakukan pengelolaan DAS secara terpadu dari hulu ke hilir dengan melakukan rehabilitasi DAS Tallo seluas 30% untuk pemulihan DAS terutama di daerah hulu. Pemulihan DAS ini dilakukan dengan revegetasi. Di wilayah hutan yang berfungsi sebagai daerah penangkapan air (*catchment area*), pohon berdaun lebar dengan akar yang dalam harus ditanam dengan jarak tanam yang dekat. Di luar area hutan, namun lahan itu berperan sebagai zona perlindungan wajib untuk menanam pohon MPTS (*Multi purpose trees species*) yang memiliki manfaat ganda baik secara hidrologis maupun ekonomis yang pada umumnya tanaman buah-buahan. Pada daerah hilir dilakukan penanaman RTH dan pengelolaan biopori.



**Gambar 13.** Volume Aliran Permukaan pada Simulasi Skenario Pengelolaan RTH, Biopori dan Rehabilitasi DAS (Model 4)

Hasil simulasi terhadap 4 model penanganan banjir di DAS Tallo dapat ditunjukkan pada Gambar 19. Berdasarkan Gambar 19, Model 4 yaitu rehabilitasi DAS 30%, penyediaan ruang terbuka hijau (RTH) pada semua wilayah pemukiman sebesar 30% dan teknologi biopori yang dibuat sedalam 1 meter dengan diameter lubang sekitar 0,10 meter yang ditanam dengan jarak 10 x 10 (100 lubang per hektar) pada 30% wilayah pemukiman terbukti dapat menurunkan

volume aliran permukaan sebesar 64,81%. Selain itu, penanganan banjir juga dapat dilakukan dengan pengurangan nilai koefisien aliran permukaan dengan rehabilitasi hutan melalui reboisasi, pemeliharaan tanaman, pengayaan tanaman, dan penerapan teknik konservasi tanah, selain dapat juga dilakukan dengan penerapan sistem pertanian berkelanjutan.

#### g. Arahan Model Penanganan Banjir di DAS Tallo

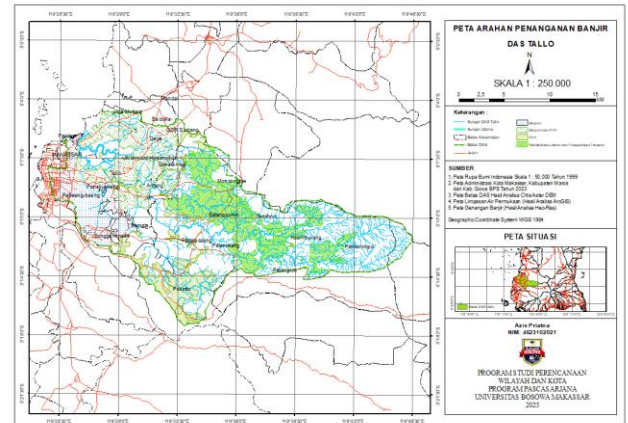
Banjir merupakan ancaman serius bagi pemukiman dan lingkungan. Penanganan yang efektif menggabungkan langkah struktural, seperti pembangunan bendungan, tanggul, dan kanal pengalihan, serta langkah non-struktural, seperti sistem peringatan dini, manajemen risiko, partisipasi publik, dan penataan kelembagaan (Tingsanchali, 2012). Perencanaan tata ruang yang komprehensif memainkan peran penting dalam mengintegrasikan mitigasi banjir dari perspektif fisik dan non-fisik (Godschalk, 1991). Sejalan dengan ini, studi saat ini mengemukakan bahwa kombinasi pendekatan grey (infrastruktur keras) dan green (infrastruktur berbasis alam) memberikan efektivitas tinggi dalam mengurangi risiko banjir (HUANG, 2023).

Dalam studi simulasi yang kami lakukan menggunakan Stella, Model 4—yang mencakup pengelolaan DAS terpadu dengan 30% Ruang Terbuka Hijau (RTH), instalasi biopori di 30% area pemukiman (100 lubang/ha berukuran 10 cm x 1 m), serta rehabilitasi 30% area DAS—menunjukkan pengurangan aliran permukaan sebesar 64,8%. Temuan ini sesuai dengan literatur tentang Low Impact Development (LID), seperti penggunaan biopori, bioswales, dan vegetasi terintegrasi yang berhasil menurunkan limpasan air di perkotaan sebesar 30–75%. (EskandariPour et al., 2023).

Perubahan tata guna lahan—terutama konversi lahan sawah, lahan kering, semak, hutan mangrove, dan tambak menjadi permukiman—mengurangi area resapan alami dan mempercepat limpasan. Hal ini memperburuk beban hidrologi, khususnya di wilayah dataran rendah seperti DAS Tallo. Sejumlah studi menegaskan bahwa degradasi ekosistem ini mempercepat debit aliran puncak dan meningkatkan frekuensi banjir di daerah perkotaan. (Wübbelmann et al., 2022).

Strategi mitigasi seperti rehabilitasi hutan, reboisasi, penanaman vegetasi agroforestri, dan praktik pertanian berkelanjutan terbukti efektif meningkatkan infiltrasi dan menurunkan debit limpasan. Khususnya di wilayah hulu, teknologi hijau seperti biopori dan area resapan terbukti penting dalam pemulihan fungsi hidrologis DAS (OECD NBS Asia-Pasifik, 2024).

Dengan demikian, hasil simulasi dan kajian literatur menegaskan bahwa pendekatan terpadu—menggabungkan infrastruktur alami dan teknis, konservasi ekologis, dan penguatan kebijakan tata ruang—merupakan strategi yang paling efektif untuk mengurangi potensi banjir di DAS Tallo. Studi ini memberikan dasar bukti ilmiah yang kuat untuk rekomendasi mitigasi berbasis sistem dan kebijakan berkelanjutan di kawasan perkotaan di Indonesia.



Gambar 14. Peta Arahan Penanganan Banjir DAS Tallo

## Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perubahan penggunaan lahan Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo Tahun 1990-2023 paling banyak terjadi peningkatan luasan pada lahan pemukiman, penurunan luasan pada lahan sawah dan penurunan luasan hutan lahan kering primer menjadi areal penggunaan lain seperti lahan pertanian, wisata, tambang galian c dan lahan tidak produktif. Perubahan penggunaan lahan pada periode 1990-2023 menyebabkan peningkatan laju aliran permukaan pada DAS Tallo dari 22,65 m<sup>3</sup>/detik menjadi 23,68 m<sup>3</sup>/detik atau mengalami peningkatan 1,03 m<sup>3</sup>/detik. Pada tahun 1990, volume aliran pada DAS Tallo adalah 587.072.753,42 m<sup>3</sup> dan meningkat pada tahun 2023 menjadi 613.699.539,10 m<sup>3</sup> atau meningkat 26.626.785,68 m<sup>3</sup> sehingga laju peningkatan volume aliran permukaan adalah 806,872,29 m<sup>3</sup>/tahun. Skenario pemodelan banjir dengan pengelolaan DAS secara terpadu dengan Penyediaan ruang terbuka hijau (RTH) pada semua wilayah pemukiman sebesar 30% dan atau teknologi biopori yang dibuat sedalam 1 meter dengan diameter lubang sekitar 0,10 meter yang ditanam dengan jarak 10 x 10 (100 lubang per hektar) pada 30% wilayah pemukiman serta rehabilitasi DAS 30% dapat mengendalikan banjir dengan menurunkan volume aliran permukaan masing-masing sebesar 64,81% dari aliran permukaan keseluruhan pada DAS Tallo. Perbaikan pengelolaan ruang pemukiman dan pengendalian perubahan tata guna lahan serta rehabilitasi hutan dan lahan merupakan mitigasi bencana banjir yang tepat dilakukan di DAS Tallo.

Perlu dilakukan penataan kembali ruang permukiman di DAS Tallo untuk menghindari resiko banjir terutama pada daerah hilir. Selain itu perlu adanya pengelolaan DAS Terpadu pada DAS Tallo yang melibatkan pemangku kepentingan.

## Daftar Pustaka

- Acuña-Alonso, C., Novo, A., Rodriguez, J. L., Varandas, S., & Álvarez, X. (2022). Modelling and evaluation of land use changes through satellite images in a multifunctional catchment: Social, economic and environmental implications. *Ecological Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101777>
- Alshammari, E. Z., Rahman, A. A., Rainis, R., Abu Seri, N., & Fuzi, N. F. (2023). The Impacts of Land Use Changes in Urban Hydrology, Runoff and Flooding: A Review. *Current Urban Studies*. <https://doi.org/10.4236/cus.2023.111007>
- Asinya, E., & Alam, J. (2021). Flood Risk in Rivers: Climate Driven or Morphological Adjustment.
- Balasubramani, K. (2020). Assessment of watershed resources for sustainable agricultural development: a case of developing an operational methodology under indian conditions through geospatial technologies. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- Cecílio, R. A., Campanharo, W. A., Zanetti, S. S., Lehr, A. T., & Lopes, A. C. (2020). Hydrological modelling of tropical watersheds under low data availability. *Research, Society and Development*. <https://doi.org/10.33448/RSD-V9I5.3262>
- Chabanon, M., Valdés-Parada, F. J., Ochoa-Tapia, J. A., & Goyeau, B. (2017). Large-scale model of flow in heterogeneous and hierarchical porous media. *Advances in Water Resources*.
- Cotugno, A., Smith, V., Baker, T., & Srinivasan, R. (2021). A Framework for Calculating Peak Discharge and Flood Inundation in Ungauged Urban Watersheds Using Remotely Sensed Precipitation Data: A Case Study in Freetown, Sierra Leone. *Remote Sensing*.
- EskandariPour, M., Mohammadi, M. H., & Soltaninia, S. (2023). Optimization of Low-Impact Development Facilities in Urban Areas Using Slime Mould Algorithm. *Sustainable Cities and Society*.
- Ferreira, C., Ferreira, C., Kalantari, Z., Seifollahi-Aghmiuni, S., Ghajarnia, N., Rahmati, O., & Kapović Solomun, M. (2021). Rainfall-runoff-erosion processes in urban areas.
- Fohrer, N. (2023). Integrated modeling of global change impacts on land and water resources. *Science of The Total Environment*.
- Guemouria, A., Chehbouni, A., Belaqqiz, S., Epule Epule, T., Ait Brahim, Y., El Khalki, E. M., Dhiba, D., & Bouchaou, L. (2023). System Dynamics Approach for Water Resources Management: A Case Study from the Souss-Massa Basin. *Water*.
- HUANG, G. (2023). Methodologies to Assess and Map the Biophysical Effectiveness of Nature Based Solutions. *Water Security in a New World*. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25308-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25308-9_4)
- Kaiser, M. K., Günemann, S., & Disse, M. (2021). Spatiotemporal analysis of heavy rain-induced flood occurrences in Germany using a novel event database approach. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.125985>
- Liu, Y., Zheng, M., & Zhou, N. (2021). Analysis on Impact of Land Use Change on Urban Waterlogging Caused by Floods. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202123303036>
- Makinano-Santillan, M., Bolanio, K., & Valeroso, J. D. (2023). Analyzing the effects of land use / cover change (lulcc) simulation on flooding: a case study in las nieves, agusan del norte, mindanao, philippines. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-4-w6-2022-211-2023>
- Naharuddin, N., Wahid, A., Golar, G., Rachman, I., Akhbar, A., & Massiri, S. D. (2022). Soil infiltration in various areas as a basis for hydrological alterations in the toholi watershed, central sulawesi, indonesia. *Water Conservation and Management*.
- Nita, I., Putra, A. N., & Albayani, H. K. (2022). Analysis of Flood Potential and Risk on Agricultural Land in Pacitan Regency. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*.
- Ortlepp, R. (2022). Using hydro-morphological assessment parameters to estimate the flood-induced vulnerability of watercourses - a methodological approach across three spatial scales in Germany and the Czech Republic. *River Research and Applications*.
- Ouyang, M., Ito, Y., & Tokunaga, T. (2021). Effects of geomorphological and geohydrological features on flood hazard in a coastal basin. *Natural Hazards*.
- Paoletti, I., & Nastri, M. (2021). The Material Balance Manifesto. *Scientific Approach and Methodologies*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54081-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54081-4_1)
- Petricola, S., Reinmuth, M., Lautenbach, S., Hatfield, C., & Zipf, A. (2022). Assessing road criticality and loss of healthcare accessibility during floods: the case of Cyclone Idai, Mozambique 2019. *International Journal of Health Geographics*. <https://doi.org/10.1186/s12942-022-00315-2>
- Priyatna, M., Wijaya, S. K., Khomarudin, M. R., Yulianto, F., Nugroho, G. W., Afgatiani, P. M., Rarasati, A., & Hussein, M. A. (2023). The use of multi-sensor satellite imagery to analyze flood events and land cover changes using change detection and machine learning techniques in the Barito watershed. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*.
- Rajaei, F., Dahmardeh Behrooz, R., Ahmadisharaf, E., Galalizadeh, S., Dudic, B., Spalevic, V., & Novicevic, R. (2021). Application of Integrated Watershed Management Measures to Minimize the Land Use Change Impacts. *Water*.
- Setiawan, D., Hidayat, Y. R., Tamba, R. S., Suparman, S., & Zulkifli, Z. (2022). Peningkatan Pengetahuan dan Kemampuan Penanggulangan Bencana Banjir melalui Sosialisasi di Guru dan Siswa di Kota Bekasi. <https://doi.org/10.31334/jks.v5i1.2447>
- Swain, D. L., Swain, D. L., Swain, D. L., Wing, O. E. J., Bates, P. D., Done, J. M., Johnson, K. A., & Cameron, D. R. (2020). Increased flood exposure due to climate change and population growth in the United States. *Earth's Future*.



- Szabó, Z., Buró, B., Szabó, J., Tóth, C., Baranyai, E., Herman, P., Prokisch, J., Tomor, T., & Szabó, S. (2020). Geomorphology as a Driver of Heavy Metal Accumulation Patterns in a Floodplain. *Water*. <https://doi.org/10.3390/W12020563>
- Vangelis, H., Zotou, I., Kourtis, I. M., Bellos, V., & Tsihrintzis, V. A. (2022). Relationship of Rainfall and Flood Return Periods through Hydrologic and Hydraulic Modeling. *Water*.
- Weinzierl, S. (2023). Spatial modeling of infiltration and its relationship with surface coverage of rock fragments and porosity in soils of an andean micro-watershed in Tolima (Colombia). *Geoderma Regional*.
- Wübbelmann, T., Bouwer, L. M., Förster, K., Bender, S., & Burkhard, B. (2022). Urban ecosystems and heavy rainfall – A Flood Regulating Ecosystem Service modelling approach for extreme events on the local scale. *One Ecosystem*. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e87458>
- Xu, S., Chen, Y., Zhang, Y., Chen, L.-Y., Sun, H. K., & Lu, J. (2022). Developing a Framework for Urban Flood Modeling in Data-poor Regions. *Journal of Hydrology*.
- Yang, J. (2013). Review of Micro Flow Mechanism and Application in Low-permeability Reservoirs. *Geological Science and Technology Information*.
- Yulianto, F., Khomarudin, M. R., Hermawan, E., Nugroho, N. P., Chulafak, G. A., Nugroho, G. W., Nugroho, U. C., Suwarsono, St., 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*.
- Zhou, J., Wu, C., Yeh, P. J.-F., Ju, J., Zhong, L., Wang, S., & Zhang, J. (2023). Anthropogenic climate change exacerbates the risk of successive flood-heat extremes: Multi-model global projections based on the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project. *Science of The Total Environment*.