E-ISSN: **2579-5511/P-ISSN:2579-6097**
doi https://doi.org/10.59465/jppdas.2026.10.1.1-18

DAMPAK PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP DEBIT PUNCAK DAS TIRO BERDASARKAN METODE RASIONAL

(The Impact of Land Cover Change on Peak Discharge in the Tiro Watershed Using the Rational Method)

Pradhipta Ertya Sakti[1,2], Hairul Basri[3], dan Purwana Satriyo[4]
[1]*Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam, Universitas Syiah Kuala, Aceh*
[2]*Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Krueng Aceh, Banda Aceh*
[3]*Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Aceh*
[4]*Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Aceh.*

*purwana.satriyo23@gmail.com

Diterima: 1 Maret 2026, Direvisi : 18 Maret 2026, Disetujui : 31 Mei 2026

ABSTRACT

Land cover changes play a significant role in influencing the hydrological response of watersheds. These changes can increase peak discharge, even in watersheds that are not classified as national rehabilitation priorities. The Tiro Watershed in Aceh Province experiences recurrent flooding, yet the quantitative study of its hydrological dynamics related to land cover changes is lacking. This study aimes to evaluate the impact of land cover changes on peak discharge during the 2014 - 2024 period using the Rational Method. Spatial overlay analysis was conducted to identify land cover transitions and calculate the watershed runoff coefficients. Areal rainfall was calculated using the isohyet method with inverse distance weighting (IDW), followed by frequency analysis to determine planned rainfall for the the 2 to 100 year return period. Peak discharge was calculated using a Rational formula and validated with observed discharge data using Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). Results showed a 3,498.8 ha decrease in primary dryland forest, which increased the watershed runoff coefficient from 0.109 to 0.126 (15.6%). These changes resulted in a 15.6% increase in peak discharge across all return periods. The highest increase was 52.5 m^3/s at the 100-year return period. Model validation results showed NSE values of 0.77 in 2014 and 0.93 in 2024, considered good. These findings suggest that land cover dynamics primarily determine peak discharge variation in the Tiro Watershed during the study period.

Keywords: land cover change; peak discharge; Rational Method; runoff coefficient; Tiro Watershed

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

ABSTRAK

Perubahan tutupan lahan memiliki peran penting dalam memengaruhi respons hidrologi daerah aliran sungai (DAS). perubahan tersebut dapat meningkatkan debit puncak meskipun DAS tersebut tidak termasuk dalam kategori prioritas nasional rehabilitasi. DAS Tiro di Provinsi Aceh mengalami kejadian banjir berulang, namun dinamika hidrologinya yang berkaitan dengan perubahan tutupan lahan belum dikaji secara kuantitatif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak perubahan tutupan lahan periode 2014-2024 terhadap debit puncak menggunakan metode rasional. Analisis overlay spasial dilakukan untuk mengidentifikasi transisi tutupan lahan dan menghitung koefisien aliran DAS. Hujan wilayah dihitung menggunakan metode isohyet berbasis interpolasi inverse distance weighting (IDW), dilanjutkan dengan analisis frekuensi untuk menentukan hujan rencana periode ulang 2-100 tahun. Debit puncak dihitung menggunakan rumus rasional dan divalidasi dengan data debit observasi menggunakan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE). Hasil menunjukkan bahwa hutan lahan kering primer berkurang sebesar 3.498,8 ha yang meningkatkan koefisien aliran dari 0,109 menjadi 0,126 (15,6%). Perubahan tersebut menyebabkan kenaikan debit puncak sebesar 15,6% pada seluruh periode ulang, dengan kenaikan tertinggi sebesar 52,5 m^3/s pada periode ulang 100 tahun. Hasil validasi menunjukkan nilai NSE sebesar 0,77 pada kondisi tahun 2014 dan 0,93 pada kondisi tahun 2024 yang termasuk kategori baik. Temuan ini menunjukkan bahwa dinamika tutupan lahan menjadi determinan utama variasi debit puncak DAS Tiro selama periode penelitian.

Kata kunci: perubahan tutupan lahan; debit puncak; metode rasional; koefisien aliran; DAS Tiro

I. PENDAHULUAN

Dinamika tutupan lahan berperan signifikan dalam membentuk karakteristik respon hidrologi suatu daerah aliran sungai (DAS), terutama dalam memengaruhi proporsi limpasan permukaan serta besarnya debit puncak yang dihasilkan (Guzha, Rufino, Okoth, Jacobs, & Nóbrega, 2018). Alih fungsi kawasan hutan menjadi area budidaya maupun permukiman cenderung menurunkan kemampuan infiltrasi tanah serta meningkatkan nilai koefisien aliran, yang pada akhirnya berimplikasi pada meningkatnya potensi banjir (Hao *et al*., 2019). Dalam konteks pengelolaan DAS di Indonesia, penetapan DAS Prioritas Nasional umumnya didasarkan pada luas lahan kritis, namun pendekatan tersebut belum secara langsung mengintegrasikan indikator risiko hidrologi seperti peningkatan debit puncak akibat perubahan tutupan lahan.

Analisis data menunjukkan bahwa memang DAS Tiro tidak tercantum dalam daftar DAS prioritas nasional. Namun berbagai sumber resmi dan media lokal menegaskan bahwa kawasan ini sering dilanda banjir. Berdasarkan data BNPB (InaRISK) dan peta kerawanan Aceh (BNPB, 2021), sekitar 28,3% luas DAS Tiro termasuk rawan banjir (Salman, 2018). Fakta ini diperkuat dengan sejumlah

 @2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

kejadian banjir dalam beberapa tahun terakhir: misalnya hujan lebat pada 17 November 2018 meluapkan Krueng Tiro sehingga 28 gampong di Pidie terendam banjir, hujan serupa pada 21 Januari 2023 kembali membuat Sungai Tiro meluap di Kec. Kembang Tanjong Pidie (Salman, 2023), dan banjir bandang November 2025 melibatkan 91 desa di 14 kecamatan Pidie termasuk luapan DAS Tiro (Redaksi, 2025). Data BPBA Aceh juga mencatat puluhan kejadian banjir setiap tahun 67 kejadian yaitu Januari-Agustus 2021 (Hanafiah, 2021). Kondisi ini menunjukkan perlunya evaluasi dinamika hidrologi DAS Tiro secara kuantitatif, khususnya dalam kaitannya dengan perubahan tutupan lahan.

Debit puncak merupakan debit maksimum yang terjadi pada suatu aliran sungai sebagai respon langsung terhadap kejadian hujan, sehingga menjadi parameter penting dalam menggambarkan karakteristik hidrologi suatu daerah aliran sungai (DAS). Nilai debit puncak mencerminkan kemampuan DAS dalam mengubah curah hujan menjadi limpasan permukaan, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi tutupan lahan, sifat tanah, dan karakteristik hujan. Perubahan tutupan lahan, terutama dari vegetasi alami menjadi lahan terbuka atau terbangun, dapat meningkatkan limpasan permukaan dan mempercepat respon hidrologi DAS, sehingga berpotensi meningkatkan debit puncak. Selain itu, debit puncak memiliki sensitivitas tinggi terhadap variasi intensitas dan pola hujan, sehingga sering digunakan sebagai indikator utama dalam analisis risiko banjir dan evaluasi dampak perubahan tutupan lahan terhadap respon hidrologi DAS (Wei, Sun, Xu, Wu, & Xie, 2019). Oleh karena itu, penggunaan debit puncak dalam penelitian ini menjadi relevan untuk mengkaji hubungan antara perubahan tutupan lahan dan peningkatan potensi banjir di DAS Tiro.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan berkaitan erat dengan dinamika karakteristik hidrologi DAS. Penurunan luas hutan umumnya diikuti oleh kenaikan koefisien aliran dan debit banjir (Zhou *et al*., 2019). Secara khusus, beberapa studi internasional menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi lahan terbuka atau terbangun dapat meningkatkan debit puncak secara signifikan akibat berkurangnya kapasitas infiltrasi dan meningkatnya limpasan permukaan. Penelitian Hrachowitz *et al*., (2021) menunjukkan bahwa pengurangan tutupan hutan menyebabkan peningkatan debit puncak dan mempercepat respon hidrologi DAS terhadap hujan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Banjara, Bhusal, Ghimire, & Kalra, (2024), yang menyatakan bahwa perubahan penggunaan lahan berkontribusi terhadap peningkatan intensitas limpasan dan debit banjir pada berbagai skala DAS. Dalam dua dekade terakhir, Kabupaten Pidie mengalami perubahan penggunaan lahan yang cukup luas, terutama dari lahan pertanian dan persawahan menjadi kawasan permukiman, (Safrika, 2021), sementara tutupan/penggunaan lahan menjadi faktor dominan dalam analisis kerawanan banjir dibandingkan parameter hidrologi lainnya (Kaswanto, Aurora, Yusri, & Sjaf, 2021).

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

Penelitian sebelumnya di DAS Tiro lebih berfokus pada neraca air dan tingkat bahaya erosi Azmeri, Shaskia, & Bahri, (2016), tanpa mengkaji secara spesifik perubahan debit puncak sebagai respon terhadap dinamika tutupan lahan. Padahal, debit puncak merupakan parameter kunci dalam menggambarkan respon hidrologi DAS terhadap kejadian hujan, serta memiliki peran penting dalam perencanaan tata ruang, rehabilitasi hutan dan lahan, dan penyusunan strategi mitigasi banjir berbasis risiko hidrologi (Blöschl *et al*., 2019). Oleh karena itu, kajian yang menghubungkan perubahan tutupan lahan dengan debit puncak secara kuantitatif dan tervalidasi menjadi penting untuk dilakukan, khususnya pada DAS Tiro.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan di DAS Tiro selama periode 2014–2024 serta menganalisis pengaruhnya terhadap debit puncak secara kuantitatif. Analisis debit puncak dilakukan menggunakan metode rasional yang divalidasi dengan data debit observasi. Metode rasional dipilih karena sederhana, memiliki kompromi yang baik antara teori dan ketersediaan data, serta tetap andal untuk estimasi debit puncak pada DAS dengan informasi input yang terbatas (Grimaldi & Petroselli, 2015). Selain itu, metode ini memudahkan evaluasi cepat terhadap perubahan respon hidrologi akibat dinamika tutupan lahan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar informasi bagi pemerintah daerah, Balai Wilayah Sungai, dan BPBD dalam perencanaan tata ruang, pengelolaan DAS, rehabilitasi hutan dan lahan, serta penyusunan strategi mitigasi banjir berbasis risiko hidrologi.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada periode Januari-Februari 2026 di DAS Tiro, Provinsi Aceh. Secara administratif, 98,6% wilayah DAS berada di Kabupaten Pidie dan 1,4% di Kabupaten Pidie Jaya. Berdasarkan penetapan batas DAS terbaru, luas DAS Tiro ±30.176,8 ha yang diperoleh dari hasil delineasi menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) melalui analisis Sistem Informasi Geografis (SIG). Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Gambar *(Figure)* 1 Lokasi Penelitian *(Research Location)*
Sumber *(Source)* : BIG, 2020, diolah oleh penulis (*processed by the author*)

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

B. Bahan dan Alat

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data spasial dan hidrologi yang bersumber dari berbagai instansi terkait, meliputi data topografi, tutupan lahan, curah hujan, serta debit sungai. Rincian jenis data, sumber, dan kegunaannya dalam penelitian disajikan pada Tabel 1. Pengolahan data spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcMap dan Global Mapper**.**

Tabel *(Table)* 1. Jenis dan Sumber Data Penelitian *(Types and Sources of Research Data)*

No	Jenis Data (*Data types*)	Tahun (*Year*)	Sumber (*Sources*)	Kegunaan (*usefulness*)
1	Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)	-	Badan Informasi Geospasial (BIG)	Delineasi DAS dan analisis morfometri
2	Shapefile batas DAS	-	BPDAS Krueng Aceh	Penentuan batas wilayah DAS
3	Tutupan lahan	2014 dan 2024	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)	Analisis perubahan tutupan lahan
4	Data hujan harian maksimum	2014-2024	Stasiun Klimatologi Inderapuri, BMKG	Analisis hujan wilayah dan hujan rencana
5	Data debit observasi (AWLR)	2014-2024	Balai Wilayah Sungai Sumatera I	Validasi debit puncak

Sumber *(Source)* : Data penelitian, diolah penulis (2025) (*Data analysis 2025*)

C. Metode Penelitian

1) Karakteristik Fisik DAS

Parameter karakteristik fisik DAS, meliputi luas, panjang sungai utama, beda elevasi, dan kemiringan, diperoleh melalui analisis data DEM. Waktu konsentrasi (t_c) ditentukan menggunakan rumus Kirpich :

$$t_c = 0{,}0195L^{0{,}77}S^{-0{,}385} \qquad (1)$$

dengan t_c = menyatakan waktu konsentrasi (jam), L = merupakan panjang sungai utama (m), S = menunjukan kemiringan sungai, dan $\Delta\mathrm{H}$ = selisih elevasi antara bagian hulu dan hilir DAS (m) sehingga nilai S diperoleh dari perbandingan $\Delta\mathrm{H}$ terhadap L $(\mathrm{S} = \Delta\mathrm{H}/\mathrm{L}$.

2) Perubahan Tutupan Lahan dan Koefisien Aliran

Perubahan tutupan lahan tahun 2014 dan 2024 dianalisis melalui overlay spasial untuk memperoleh luas masing-masing kelas. Koefisien aliran DAS dihitung menggunakan metode rata-rata tertimbang (Hidiya, Giofandi, Tunggadewi, Ratnawati, & Tjahjono, 2025):

$$C_{DAS} = \frac{\sum(C_i \times A_i)}{A_{DAS}} \qquad (2)$$

di mana C_i menunjukan koefisien aliran pada masing-masing kelas tutupan lahan, sedangkan A_i merupakan luas setiap kelas. Penentuan nilai koefisien untuk tiap kelas mengacu pada (Nanang, 2025).

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

3) Hujan Wilayah dan Hujan Rencana
Hujan wilayah ditentukan menggunakan metode isohyet berbasis interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) (Mobaied, 2016). Analisis frekuensi dilakukan dengan distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III untuk menentukan hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Uji kecocokan distribusi dilakukan dengan Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov (Widyawati, Yuniarti, & Goejantoro, 2020).

4) Intensitas Hujan
Perhitungan intensitas hujan dilakukan dengan menggunakan rumus Mononobe (Widyawati, Yuniarti, & Goejantoro, 2020):

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3} \quad (3)$$

Dengan keterangan bahwa I menyatakan intensitas hujan (mm/jam), R_{24} merupakan hujan maksimum 24 jam (mm), dan t_c adalah waktu konsentrasi (jam).

5) Debit Puncak
Debit puncak dihitung menggunakan metode rasional (Yusuf, Rachmat, Barkah, & Arfiansyah, 2021):

$$Q_p = 0{,}278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (4)$$

dengan Q_p = debit puncak (m³/s), C = koefisien aliran, I = intensitas hujan, dan A = luas DAS (km²).

6) Validasi Model
Keandalan model diuji menggunakan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970):

$$NSE = 1 - \frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

dengan X_i = debit observasi, Y_i = debit hasil perhitungan, dan $\bar{X}$ = rerata debit observasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Fisik DAS Tiro

Karakteristik morfometri DAS menjadi elemen fundamental yang memengaruhi pola respon hidrologi suatu wilayah terhadap peristiwa hujan. Berdasarkan hasil analisis spasial, DAS Tiro memiliki luas ±30.176 ha (301 km²) dan termasuk kategori DAS kecil. Luas daerah tangkapan air berpengaruh terhadap kapasitas penyimpanan air serta potensi debit yang dihasilkan, karena respon banjir sangat dipengaruhi oleh skala DAS, konektivitas aliran, dan pola spasial aliran permukaan (Rogger *et al*., 2017).

Analisis morfometri menunjukkan panjang sungai utama sebesar 50,4 km dengan beda elevasi hulu-hilir 420 m. Parameter tersebut menghasilkan waktu konsentrasi sebesar 8,57 jam. Waktu konsentrasi menggambarkan durasi aliran air hujan dari bagian terjauh DAS hingga mencapai outlet, serta berperan sebagai parameter penting dalam perhitungan debit puncak (Echeverri-Díaz *et al*., 2022).

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

Nilai indeks kebulatan sebesar 0,21 menunjukkan bahwa bentuk DAS Tiro cenderung memanjang. DAS berbentuk memanjang umumnya memiliki distribusi aliran yang lebih bertahap karena aliran dari berbagai bagian DAS tidak tiba secara bersamaan di outlet (Putiamini, Kusratmoko, & Syamsudin, 2017). Secara keseluruhan, kombinasi luas DAS yang relatif kecil, bentuk memanjang, dan waktu konsentrasi 8,57 jam menunjukkan bahwa DAS Tiro tergolong sangat rentan terhadap lonjakan debit puncak secara tiba-tiba. Dalam kajian morfometri, karakteristik bentuk DAS dan waktu konsentrasi merupakan parameter yang berpengaruh terhadap kerentanan banjir dan respons hidrologi, sehingga perubahan respon hidrologi yang terjadi dalam kurun waktu penelitian lebih tepat dikaitkan dengan dinamika perubahan tutupan lahan dibandingkan faktor morfometri semata (Sutradhar & Mondal, 2023).

B. Perubahan Tutupan Lahan dan Koefisien Aliran

Hasil analisis overlay tutupan lahan tahun 2014 dan 2024 menunjukkan adanya perubahan signifikan pada struktur penggunaan lahan DAS Tiro. Rincian luas masing-masing kelas tutupan lahan tahun 2014 dan 2024 beserta besaran perubahannya disajikan pada Tabel 2 untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamika perubahan setiap jenis tutupan lahan.

Dalam kurun waktu sepuluh tahun, terjadi perubahan komposisi tutupan lahan di DAS Tiro yang ditandai dengan berkurangnya luas hutan lahan kering primer sebesar 3.498,8 ha (11,6%). Sebaliknya, luas belukar mengalami peningkatan sebesar 3.267,9 ha (10,8%), disertai bertambahnya area permukiman seluas 847,6 ha (2,8%). Perubahan tersebut menunjukkan adanya pergeseran tutupan lahan dari kawasan berhutan menuju tutupan lahan yang memiliki kemampuan intersepsi dan infiltrasi lebih rendah. Kondisi ini berimplikasi pada meningkatnya limpasan permukaan dan koefisien aliran, yang selanjutnya berpengaruh terhadap peningkatan debit puncak.

Berdasarkan Tabel 2, dinamika tutupan lahan yang paling dominan memengaruhi perubahan debit puncak adalah berkurangnya hutan lahan kering primer, diikuti oleh peningkatan luas belukar dan permukiman yang berkontribusi terhadap meningkatnya respon hidrologi DAS terhadap kejadian hujan.

Distribusi perubahan tutupan lahan secara spasial dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan perbandingan kondisi tahun 2014 dan 2024, termasuk pergeseran kelas tutupan lahan yang dominan. Perubahan tersebut ditandai dengan konversi hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder dan belukar, yang secara ekologis mengindikasikan terjadinya degradasi struktur vegetasi.

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

Tabel *(Table)* 2. Perubahan Tutupan Lahan DAS Tiro 2014-2024 *(Land Cover Changes in the Tiro Watershed 2014-2024)*

No	Kelas Tutupan Lahan	2014 (ha)	2014 (%)	2024 (ha)	2024 (%)	Perubahan (ha)	Perubahan (%)
1	Badan Air	225,2	0,7	225,2	0,7	0,0	0,0
2	Belukar	4.079,8	13,5	7.347,7	24,3	+3.267,9	+10,8
3	Hutan lahan kering primer	11.635,0	38,6	8.136,3	27,0	-3.498,8	-11,6
4	Hutan lahan kering sekunder	3.466,4	11,5	3.545,7	11,7	+79,3	+0,3
5	Permukiman	1.948,4	6,5	2.796,0	9,3	+847,6	+2,8
6	Perkebunan	0,0	0,0	78,3	0,3	+78,3	+0,3
7	Pertanian lahan kering	557,6	1,8	479,9	1,6	-77,6	-0,3
8	Pertanian lahan kering campur	832,0	2,8	942,4	3,1	+110,4	+0,4
9	Savana/padang rumput	860,6	2,9	524,6	1,7	-336,1	-1,1
10	Sawah	5.076,5	16,8	5.268,7	17,5	+192,2	+0,6
11	Tambak	651,1	2,2	642,0	2,1	-9,1	-0,03
12	Tanah terbuka	844,1	2,8	190,0	0,6	-654,1	-2,2

Sumber *(Source)* : Hasil analisis penulis berdasarkan data citra satelit tahun 2014 dan 2024 (2025) (*Data analysis based on satellite imagery of 2014 and 2024*)

Gambar 2. Perubahan Tutupan Lahan DAS Tiro Tahun 2014 dan 2024 *(Land Cover Change in the Tiro Watershed in 2014 and 2024)*

Sumber *(Source)*: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, diolah penulis (2025) (*Ministry of Environment and Forestry, analysed by the author*)

Hutan lahan kering sekunder merupakan hutan yang tumbuh secara alami setelah mengalami gangguan atau perubahan akibat aktivitas manusia, seperti penebangan, kebakaran, atau pembukaan lahan, serta dapat berasal dari vegetasi yang tumbuh kembali pada lahan terdegradasi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Peningkatan luas belukar juga sering dikaitkan dengan proses deforestasi dan degradasi lahan (Pratiwi & Pravitasari, 2024). Selain faktor degradasi vegetasi, peningkatan jumlah penduduk sebesar 13,1% dalam periode yang sama berpotensi mendorong alih fungsi lahan, sebagaimana dikemukakan oleh Angraini, Selpiyanti,

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

& Walid, (2020) bahwa pertumbuhan penduduk berkorelasi dengan peningkatan tekanan terhadap ruang dan sumber daya lahan.

Perubahan komposisi tutupan lahan tersebut berdampak langsung terhadap karakteristik limpasan permukaan. Hasil perhitungan koefisien aliran dengan metode rata-rata tertimbang menunjukkan bahwa nilai C meningkat dari 0,109 pada tahun 2014 menjadi 0,126 pada tahun 2024. Peningkatan sebesar 15,6% tersebut mengindikasikan bertambahnya proporsi curah hujan yang berkontribusi menjadi aliran permukaan.

Secara hidrologis, tutupan hutan primer memiliki kemampuan intersepsi dan infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan belukar maupun permukiman, sehingga menghasilkan nilai koefisien aliran yang lebih rendah (J H C Bosmans, van Beek, Sutanudjaja, & Bierkens, 2017). Konversi hutan menjadi belukar atau permukiman menyebabkan berkurangnya kapasitas retensi air dan meningkatnya limpasan permukaan. Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan Ridwan & Sarjito, (2024) yang menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan berperan sebagai salah satu faktor utama dalam memengaruhi dinamika aliran permukaan pada berbagai DAS.

Meskipun nilai koefisien aliran DAS Tiro masih berada dalam kategori baik (<0,5), tren peningkatan tersebut mengindikasikan adanya penurunan daya dukung hidrologi. Dalam konteks metode rasional, peningkatan nilai koefisien aliran secara linier akan meningkatkan nilai debit puncak, sehingga perubahan tutupan lahan menjadi faktor kunci dalam perubahan respon hidrologi DAS Tiro.

C. Hujan Wilayah dan Hujan Rencana

Hujan wilayah DAS Tiro dihitung menggunakan metode isohyet berbasis interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) dari enam stasiun hujan yang berada di dalam dan sekitar DAS. Data hujan harian maksimum tahunan periode 2014-2024 digunakan sebagai dasar dalam analisis frekuensi untuk memperoleh hujan rencana. Rekapitulasi hujan harian maksimum wilayah menunjukkan variabilitas yang cukup signifikan antar tahun, dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2015 sebesar 269 mm/hari. Fluktuasi ini mencerminkan karakteristik hujan ekstrem yang tidak seragam secara temporal dan menjadi dasar dalam penentuan probabilitas kejadian hujan rencana.

Berdasarkan uji parameter statistik dan uji kecocokan pada tingkat kepercayaan 95%, distribusi Gumbel dipilih sebagai distribusi probabilitas yang paling representatif dalam penelitian ini. Distribusi Gumbel secara umum digunakan dalam analisis frekuensi kejadian ekstrem karena mampu merepresentasikan data hidrologi maksimum tahunan (Widyawati, Yuniarti, & Goejantoro, 2020).

Berdasarkan hasil analisis, nilai hujan harian maksimum rencana menunjukkan kecenderungan

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

meningkat seiring bertambahnya periode ulang. Nilai hujan rencana untuk periode ulang 2 tahun sebesar 144,84 mm/hari, sedangkan pada periode ulang 100 tahun mencapai 445 mm/hari. Peningkatan ini menggambarkan bahwa kejadian hujan dengan intensitas lebih besar memiliki probabilitas kejadian yang lebih kecil, namun berpotensi menghasilkan dampak hidrologi yang lebih signifikan. Dalam konteks perhitungan debit puncak menggunakan metode rasional, nilai hujan rencana tersebut menjadi parameter utama dalam penentuan intensitas hujan yang selanjutnya memengaruhi besarnya limpasan permukaan.

D. Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan besaran curah hujan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dan digunakan sebagai parameter utama dalam perhitungan debit puncak dengan metode rasional. Dalam penelitian ini, intensitas hujan dihitung berdasarkan nilai hujan harian maksimum rencana dan waktu konsentrasi DAS Tiro sebesar 8,57 jam. Menurut Febrianti, Ramdani, & Badruzzaman, (2022), metode rasional didasarkan pada asumsi bahwa intensitas hujan terdistribusi secara seragam di seluruh DAS dan durasi hujan setara dengan waktu konsentrasi. Oleh karena itu, waktu konsentrasi berperan penting dalam menentukan besarnya intensitas hujan efektif yang digunakan dalam perhitungan debit puncak.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa intensitas hujan meningkat seiring dengan bertambahnya periode ulang (Lilavanichakul & Yoksan, 2023). Pada periode ulang 2 tahun, nilai intensitas hujan sebesar 12 mm/jam, sementara pada periode ulang 100 tahun meningkat hingga 36,8 mm/jam. Kenaikan ini konsisten dengan peningkatan hujan rencana yang diperoleh dari analisis distribusi Gumbel.

Secara hidrologis, intensitas hujan memiliki hubungan langsung dengan potensi pembentukan limpasan permukaan. Intensitas yang tinggi dalam durasi yang relatif singkat dapat melampaui kapasitas infiltrasi tanah sehingga memperbesar volume aliran permukaan. Rosyid, (2023) menjelaskan bahwa peningkatan intensitas hujan secara eksponensial terhadap periode ulang akan meningkatkan risiko kejadian debit ekstrem, terutama pada DAS dengan kondisi tutupan lahan yang telah mengalami perubahan.

Secara statistik, periode ulang memiliki hubungan invers dengan probabilitas kejadian suatu hujan ekstrem. Intensitas hujan dengan periode ulang 100 tahun memiliki probabilitas kejadian sebesar 1% setiap tahun. Meskipun peluangnya kecil, dampak hidrologi yang ditimbulkan jauh lebih besar dibandingkan kejadian hujan dengan periode ulang yang lebih pendek. Dalam konteks DAS Tiro, peningkatan intensitas hujan pada periode ulang yang lebih tinggi, dikombinasikan dengan peningkatan koefisien aliran akibat perubahan tutupan lahan, berpotensi menghasilkan debit puncak yang

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

semakin besar. Oleh karena itu, analisis intensitas hujan menjadi tahap krusial sebelum estimasi debit puncak dilakukan.

E. Debit Puncak

Perhitungan debit puncak DAS Tiro dilakukan dengan metode rasional dengan memperhitungkan perubahan koefisien aliran pada kondisi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024. Analisis dilakukan pada berbagai periode ulang, yaitu 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun, guna merepresentasikan respons hidrologi terhadap variasi intensitas hujan dan dinamika penggunaan lahan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi tutupan lahan tahun 2014, debit puncak periode ulang 2 tahun sebesar 109,6 m^3/s dan meningkat hingga 336,7 m^3/s pada periode ulang 100 tahun. Pada kondisi tahun 2024, debit puncak meningkat menjadi 126,7 m^3/s untuk periode ulang 2 tahun dan mencapai 389,3 m^3/s pada periode ulang 100 tahun. Data lengkap perbandingan debit puncak ditampikan pada Tabel 3.

Tabel *(Table)* 3. Debit Puncak DAS Tiro pada Kondisi Tutupan Lahan Tahun 2014 dan 2024 *(Peak Discharge of Tiro Watershed under Land Cover Conditions in 2014 and 2024)*

Periode Ulang (*return period*)	Qp 2014 (m^3/s)	Qp 2024 (m^3/s)	Kenaikan (%) (*Increase*)
2 tahun	109,6	126,7	15,6
5 tahun	170,4	197,0	15,6
10 tahun	210,7	243,5	15,6
25 tahun	261,5	302,3	15,6
50 tahun	299,3	346,0	15,6
100 tahun	336,7	389,3	15,6

Sumber *(Source)*: Hasil perhitungan penulis (2025)

Perbandingan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh periode ulang mengalami kenaikan debit puncak sebesar 15,6%. Persentase kenaikan ini identik dengan peningkatan nilai koefisien aliran akibat perubahan tutupan lahan. Pada formulasi metode rasional, nilai koefisien aliran berbanding lurus dengan debit puncak, sehingga setiap kenaikan nilai C akan menghasilkan peningkatan nilai Qp secara proporsional.

Secara hidrologis, peningkatan debit puncak mencerminkan bertambahnya limpasan permukaan akibat berkurangnya kapasitas infiltrasi dan retensi air. Penurunan luas hutan lahan kering primer serta peningkatan belukar dan permukiman menyebabkan proporsi curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan semakin besar. Temuan ini konsisten dengan penelitian Khairi, Suprijanto, & Hendrawan, (2022) yang mengindikasikan bahwa perubahan tutupan lahan berperan sebagai faktor utama dalam peningkatan potensi banjir di Kabupaten Pidie.

Secara global, berbagai studi menunjukkan pola yang serupa. Konversi hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman terbukti

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

meningkatkan aliran permukaan dan debit puncak akibat penurunan kapasitas infiltrasi dan evapotranspirasi, (Kayitesi, Guzha, & Mariethoz, 2022), Selain itu studi di Amazon menunjukkan bahwa perubahan sekitar 20% tutupan hutan menjadi lahan pertanian dapat meningkatkan debit puncak hingga ±30%, sementara di Queensland, Australia, konversi hutan menjadi lahan terbuka meningkatkan limpasan hingga 40% (Chhinh, Rath, & Choeun, 2023). Dengan karakteristik morfometri DAS yang relatif tetap selama periode penelitian, peningkatan debit puncak yang terjadi lebih berkaitan dengan perubahan struktur tutupan lahan. Hal ini menegaskan bahwa dinamika penggunaan lahan memiliki implikasi langsung terhadap stabilitas hidrologi DAS Tiro.

F. Validasi Metode Rasional

Tahap validasi dilakukan untuk menilai tingkat akurasi metode rasional dalam menggambarkan kondisi debit aktual di DAS Tiro. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan debit puncak hasil perhitungan (debit model) terhadap debit observasi yang tercatat pada stasiun AWLR periode 2014-2024. Penentuan batas DAS dalam penelitian ini tetap mengacu pada batas DAS Tiro secara keseluruhan, karena tujuan utama penelitian adalah menganalisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit puncak pada skala DAS. Oleh karena itu, penggunaan delineasi DAS berdasarkan lokasi AWLR sejak awal tidak digunakan agar tetap merepresentasikan kondisi hidrologi DAS secara utuh. Namun demikian, karena posisi AWLR tidak berada tepat pada outlet DAS Tiro, maka dilakukan delineasi daerah tangkapan air (DTA) pada lokasi AWLR sebagai penyesuaian dalam tahap validasi. Penyesuaian ini dilakukan untuk menyesuaikan parameter luas, panjang sungai utama, dan waktu konsentrasi, sehingga perbandingan antara debit model dan debit observasi menjadi lebih representatif serta meminimalkan bias akibat perbedaan skala wilayah analisis.

Hasil analisis frekuensi terhadap debit observasi menunjukkan bahwa distribusi *Log Pearson* III memenuhi persyaratan statistik. Debit observasi rencana kemudian dibandingkan terhadap debit hasil perhitungan metode rasional pada kondisi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024. Ringkasan perbandingan debit disajikan pada Tabel 4.

Untuk menilai tingkat kesesuaian model, digunakan indikator *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). Perhitungan NSE dilakukan dengan membandingkan hasil debit model terhadap debit observasi yang diperoleh dari analisis frekuensi berdasarkan data historis pada stasiun AWLR. Hasil perhitungan menunjukkan nilai NSE sebesar 0,77 pada kondisi tutupan lahan tahun 2014, sedangkan pada kondisi tahun 2024 mencapai 0,93. Berdasarkan kriteria interpretasi, nilai NSE pada rentang $0,75 < NSE \leq 1$ dikategorikan sebagai baik.

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

Tabel *(Table)* 4. Perbandingan Debit Puncak Hasil Perhitungan dan Debit Observasi DAS Tiro *(Comparison of Calculated Peak Discharge and Observed Discharge of Tiro Watershed)*

Periode Ulang	Debit Observasi (Hasil Analisi Frekuensi) (m^3/s)	Debit 2014 (m^3/s)	Debit 2024 (m^3/s)
2 tahun	90,9	80,1	102,9
5 tahun	140,3	123,1	158,3
10 tahun	175,1	151,6	194,9
25 tahun	220,9	187,6	241,2
50 tahun	256,1	214,3	275,6
100 tahun	292,1	240,9	309,7

Sumber *(Source)*: Data debit BWS Sumatera I dan hasil perhitungan penulis (2025) (*BWS Sumatera I data analysed by the author*)

Nilai NSE yang mendekati satu menunjukkan bahwa metode rasional memiliki kemampuan prediktif yang baik dalam merepresentasikan respon hidrologi DAS Tiro dengan tingkat penyimpangan yang rendah terhadap data observasi. Nilai NSE yang lebih tinggi pada kondisi tutupan lahan tahun 2024 dibandingkan tahun 2014 mengindikasikan bahwa parameter koefisien aliran hasil pembaruan tutupan lahan memberikan estimasi yang lebih mendekati kondisi hidrologi aktual.

Secara umum, hasil validasi tersebut menunjukkan bahwa metode rasional memiliki tingkat ketepatan yang memadai guna mengkaji pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit puncak di DAS Tiro. Namun demikian, sebagaimana dikemukakan oleh Widiatmoko, Tarigan, & Wahjunie, (2020), setiap DAS memiliki karakteristik fisik dan hidrologi yang berbeda sehingga pemilihan metode perhitungan debit harus disesuaikan dengan kondisi lokal.

IV. KESIMPULAN

Perubahan tutupan lahan DAS Tiro periode 2014-2024 menunjukkan terjadinya penurunan luas hutan lahan kering primer sebesar 11,6% serta peningkatan luas belukar dan permukiman. Perubahan struktur vegetasi tersebut berdampak langsung terhadap karakteristik hidrologi DAS. Koefisien aliran menunjukkan peningkatan dari 0,109 pada tahun 2014 menjadi 0,126 pada tahun 2024, atau bertambah sebesar 15,6%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proporsi curah hujan yang menjadi aliran permukaan semakin besar, yang berkaitan dengan menurunnya kapasitas infiltrasi dan retensi air.

Kenaikan koefisien aliran berimplikasi linier terhadap peningkatan debit puncak. Debit puncak pada seluruh periode ulang mengalami peningkatan sebesar 15,6% antara kondisi tutupan lahan tahun 2014 dan 2024. Kondisi ini mengindikasikan bahwa perubahan tutupan lahan memiliki peran signifikan dalam

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

memengaruhi perubahan respon hidrologi DAS Tiro, dibandingkan dengan karakteristik morfometri yang relatif tetap selama periode penelitian. Hasil validasi menggunakan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) menunjukkan nilai 0,77 pada kondisi tahun 2014 dan 0,93 pada kondisi tahun 2024, yang termasuk kategori baik. Dengan demikian, metode rasional dinilai cukup andal dalam merepresentasikan pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit puncak di DAS Tiro.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan periode 2014-2024 berkaitan dengan peningkatan koefisien aliran dan debit puncak di DAS Tiro. Meskipun perubahan nilai koefisien aliran relatif kecil, dampaknya terhadap debit puncak tetap terlihat pada seluruh periode ulang. Oleh karena itu, perubahan tutupan lahan berkontribusi terhadap perubahan respon hidrologi DAS Tiro, sementara karakteristik morfometri relatif tetap selama periode penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Prof. Dr. Hairul Basri, M.Sc dan Dr. Ir. Purwana Satriyo, M.TP., IPM selaku dosen pembimbing atas arahan, masukan, serta bimbingan akademik yang diberikan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan naskah ini.

Penulis menyampaikan apresiasi kepada BPDAS Krueng Aceh, Banda Aceh atas dukungan institusional serta fasilitas yang telah menunjang pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga diberikan kepada seluruh pihak yang berkontribusi dalam bentuk dukungan teknis dan akademik sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

KONTRIBUSI

Pradhipta Ertya Sakti menyusun konsep penelitian, melakukan pengumpulan dan analisis data, pengolahan spasial dan hidrologi, peninjauan pustaka, penyusunan draf awal naskah, serta revisi akhir naskah. Hairul Basri memberikan arahan konseptual, supervisi metodologi penelitian, serta masukan dalam analisis dan penyempurnaan substansi ilmiah naskah. Purwana Satriyo memberikan bimbingan akademik, evaluasi metodologi, serta kontribusi dalam penelaahan dan perbaikan naskah. Seluruh penulis telah menelaah dan menyetujui naskah akhir sebelum dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Angraini, F., Selpiyanti, S., & Walid, A. (2020). Dampak alih fungsi lahan terhadap degradasi lingkungan: studi kasus lahan pertanian sawah menjadi lahan non pertanian. *Jurnal Swarnabhumi*, *5*(2). https://doi.org/10.31851/swarnabhumi.v5i2.4741

Azmeri, A. R. K., Shaskia, N., & Bahri, S. (2016). Alokasi Air Baku Dan Irigasi Dalam Menghadapi Musim Kering Pada Das Tiro-Provinsi Aceh. *Universitas*, *1*.

Banjara, M., Bhusal, A., Ghimire, A. B., & Kalra, A. (2024). Impact of Land Use

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

and Land Cover Change on Hydrological Processes in Urban Watersheds: Analysis and Forecasting for Flood Risk Management. *Geosciences*, *14*(2). https://doi.org/10.3390/geosciences14020040

Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, *573*(7772), 108–111. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6

BNPB. (2021). *Peta Kerentanan Banjir Aceh*.

Bosmans, J H C, van Beek, L. P. H., Sutanudjaja, E. H., & Bierkens, M. F. P. (2017). Hydrological impacts of global land cover change and human water use. *Hydrology and Earth System Sciences*, *21*(11), 5603–5626. https://doi.org/10.5194/hess-21-5603-2017

Chhinh, N., Rath, S., & Choeun, K. (2023). The Alteration of Flood Peak Discharge by Land Cover Change in Prek Thnot Watershed, Kampong Speu Provine, Cambodia. *Insight: Cambodia Journal of Basic and Applied Research*, *5*(2), 22–33. https://doi.org/10.61945/cjbar.2023.5.2.04

Echeverri-Díaz, J., Coronado-Hernández, Ó. E., Gatica, G., Linfati, R., Méndez-Anillo, R. D., & Coronado-Hernández, J. R. (2022). Sensitivity of Empirical Equation Parameters for the Calculation of Time of Concentration in Urbanized Watersheds. *Water*, *14*(18). https://doi.org/10.3390/w14182847

Febrianti, T., Ramdani, Y., & Badruzzaman, F. H. (2022). Analisis Curah Hujan dalam Menentukan Debit Banjir Rencana pada Daerah Aliran Sungai Cisadane Menggunakan Metode Rasional. *Bandung Conference Series: Mathematics*, *2*(1), 42–50.

Grimaldi, S., & Petroselli, A. (2015). Do we still need the Rational Formula? An alternative empirical procedure for peak discharge estimation in small and ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal*, *60*(1), 67–77. https://doi.org/10.1080/02626667.2014.880546

Guzha, A. C., Rufino, M. C., Okoth, S., Jacobs, S., & Nóbrega, R. L. B. (2018). Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *15*, 49–67. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.005

Hanafiah, J. (2021, September 21). Daerah Aliran Sungai Rusak, Bencana Makin Sering Landa Aceh. *Mongabay.Co.Id*.

Hao, Z., Gao, Y., Ma, M., Green, S. M., Wang, J., Song, X., … He, N. (2019).

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

Using δ13C to reveal the importance of different water transport pathways in two nested karst basins, Southwest China. *Journal of Hydrology*, *571*, 425–436. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.070

Hidiya, M., Giofandi, E. A., Tunggadewi, A. T., Ratnawati, B., & Tjahjono, B. (2025). Pemantauan Jasa Ekosistem untuk Tata Air DAS Cisangkuy Hulu dan Tengah. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, *27*(2), 102–114. http://dx.doi.org/10.29244/jitl.27.2.102-114

Hrachowitz, M., Stockinger, M., Coenders-Gerrits, M., van der Ent, R., Bogena, H., Lücke, A., & Stumpp, C. (2021). Reduction of vegetation-accessible water storage capacity after deforestation affects catchment travel time distributions and increases young water fractions in a headwater catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, *25*(9), 4887–4915. https://doi.org/10.5194/hess-25-4887-2021

Kaswanto, R. L., Aurora, R. M., Yusri, D., & Sjaf, S. (2021). Analisis faktor pendorong perubahan tutupan lahan selama satu dekade di Kabupaten Labuhanbatu Utara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *19*(1), 107–116. https://doi.org/10.14710/jil.19.1.107-116

Kayitesi, N. M., Guzha, A. C., & Mariethoz, G. (2022). Impacts of land use land cover change and climate change on river hydro-morphology- a review of research studies in tropical regions. *Journal of Hydrology*, *615*, 128702. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128702

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019). *Pedoman Penentuan Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Khairi, M. A. F., Suprijanto, H., & Hendrawan, A. P. (2022). Analisis Keruntuhan Bendungan Rukoh Kabupaten Pidie Menggunakan Aplikasi HEC-RAS dan Berbasis InaSAFE. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, *2*(1), 55–66. https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.01.05

Lilavanichakul, A., & Yoksan, R. (2023). Development of Bioplastics from Cassava toward the Sustainability of Cassava Value Chain in Thailand. *Sustainability*, *15*(20). https://doi.org/10.3390/su152014713

Mobaied, S. (2016). The Importance of Spatiotemporal Heterogeneity for Biodiversity in Forest-Heathland Mosaics and Implications for Heathland Conservation. *Journal of Environmental Protection*, *7*(10), 1317–1332.

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.710115

Nanang, H. (2025). *Buku Ajar Metode Numerik*. Penerbit Widina.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, *10*(3), 282–290. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6

Pratiwi, A. S., & Pravitasari, A. E. (2024). Perubahan Tutupan Lahan, Degradasi, dan Deforestasi Hutan di Kabupaten Nabire Periode 2000-2019. *Jurnal Lanskap Indonesia*, *16*(2), 199–207. doi : 10.29244/jli.v161i2.54249

Putiamini, S., Kusratmoko, E., & Syamsudin, F. (2017). Pemodelan kejadian banjir daerah aliran sungai Ciliwung hulu dengan menggunakan data radar. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, *1*(1), 1–13.

Redaksi. (2025, November 27). Banjir Bandang dan Luapan DAS Tiro di Kabupaten Pidie. *SinarPidie*.

Ridwan, M., & Sarjito, J. (2024). Studi kajian dampak perubahan tutupan lahan terhadap kejadian banjir di daerah aliran sungai. *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, *26*(1), 38–45. https://doi.org/10.20961/enviro.v26i1.93145

Rogger, M., Agnoletti, M., Alaoui, A., Bathurst, J. C., Bodner, G., Borga, M., … Blöschl, G. (2017). Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research*, *53*(7), 5209–5219. https://doi.org/10.1002/2017WR020723

Rosyid, N. F. (2023). *Analisis Saluran Drainase Di Pengaman Pantai Kalianda (Pantai Muli) Lampung Selatan Menggunakan Program Hec-Ras* (Skripsi). Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Safrika, S. (2021). Analisis dampak konversi lahan pertanian terhadap ketahanan pangan di Kabupaten Pidie. *Jurnal Bisnis Tani*, *7*(1), 37–43. DOI:10.35308/jbt.v7i1.2975

Salman. (2018, November 17). Krueng Tiro Meluap, Kembang Tanjung Terendam Banjir. *AJNN*.

Salman. (2023, January 21). Sungai Krueng Tiro Kembali Meluap di Kecamatan Kembang Tanjong. *AJNN*.

Wei, Z., Sun, H., Xu, H., Wu, G., & Xie, W. (2019). The effects of rainfall regimes and rainfall characteristics on peak discharge in a small debris flow-prone catchment. *Journal of Mountain Science, 16*(7), 1646–1660. https://doi.org/10.1007/s11629-018-5260-3

Sutradhar, S., & Mondal, P. (2023). Prioritization of watersheds based on morphometric assessment in

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.

relation to flood management: A case study of Ajay river basin, Eastern India. *Watershed Ecology and the Environment*, *5*, 1–11. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.11.011

Widiatmoko, N., Tarigan, S. D., & Wahjunie, E. D. (2020). Analisis Respons Hidrologi untuk Mendukung Perencanaan Pengelolaan Sub-DAS Opak Hulu, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *25*(4), 503–514. DOI: 10.18343/jipi.25.4.503

Widyasari, T., & Achmad, N. (2023). Kurva intensitas durasi frekuensi hujan kabupaten bantul dengan menggunakan metode mononobe. *Jurnal Teknik Sipil*, *12*(2), 113–132.

Widyawati, W., Yuniarti, D., & Goejantoro, R. (2020). Analisis Distribusi Frekuensi dan Periode Ulang Hujan: Studi Kasus: Curah Hujan Kecamatan Long Iram Kabupaten Kutai Barat Tahun 2013-2017. *Eksponensial*, *11*(1), 65–70. https://doi.org/10.30872/eksponensial.v11i1.646

Yusuf, R. M., Rachmat, B., Barkah, M. N., & Arfiansyah, K. (2021). Analisis Debit Banjir Dengan Membandingkan Nilai Debit Banjir Metode Rasional Dan Kapasitas Debit Aliran Sungai Pada Sub-DAS Ciwaringin Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat. *Geoscience Journal*, *5*(4), 424–432.

Zhou, M., Qu, S., Chen, X., Shi, P., Xu, S., Chen, H., … Gou, J. (2019). Impact Assessments of Rainfall–Runoff Characteristics Response Based on Land Use Change via Hydrological Simulation. *Water*, *11*(4). https://doi.org/10.3390/w11040866

@2026 JPPDAS All rights reserved. Open access under CC BY-NC-SA license.