REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

Rekayasa, 2025; 18(3): 439-455
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Analisis Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Perubahan Karakteristik Hidrograf Banjir di Sub DAS Sungai Negara Kota Amuntai

Muhammad Syahli Roby Awaludin[1], Nilna Amal[1]*
Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
Jl Brigjend Hasan Basri Kota Banjarmasin 70123 Kalimantan Selatan
*E-mail Korespondensi : nilna.amal@ulm.ac.id
DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i3.31612
Submitted August 28th 2025, Accepted November 28th 2025, Published December 15th 2025

Abstrak

Banjir musiman di Kota Amuntai, yang berada di hilir Sub-DAS Negara, semakin sering terjadi dan salah satu penyebab utamanya diduga adalah perubahan tata guna lahan yang dapat memengaruhi kapasitas infiltrasi serta meningkatkan limpasan permukaan. Penelitian ini bertujuan memodelkan hidrograf banjir berdasarkan kondisi tata guna lahan tahun 2006, 2015, dan 2022 serta menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrograf banjir. Pemodelan dilakukan menggunakan HEC-HMS dengan input curah hujan jam-jaman yang didistribusikan dengan menggunakan Metode Mononobe dan *Alternating Block Method* (ABM), sedangkan parameter hidrologi seperti *Curve Number* (CN), *initial abstraction*, dan *impervious* diperoleh melalui analisis spasial menggunakan aplikasi QGIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan berdampak langsung terhadap respons hidrologis Sub-DAS, yang ditandai dengan meningkatnya debit puncak dari 115,9 m^3/s pada tahun 2006 menjadi 120,8 m^3/s pada 2015 (kenaikan 4,23%), dan meningkat lebih tajam menjadi 136,4 m^3/s pada 2022 (kenaikan 12,91% dari 2015, atau 17,7% dari 2006). Selain itu, terjadi percepatan *time to peak* (Tp) dan pemendekan *time base* (Tb), menunjukkan adanya peningkatan limpasan permukaan akibat menurunnya kemampuan infiltrasi tanah seiring dengan bertambahnya lahan terbangun. Temuan ini menegaskan bahwa konversi lahan berperan signifikan meningkatkan kerentanan banjir di wilayah hilir. Penelitian ini juga menekankan pentingnya ketersediaan data hidrograf observasi yang lebih lengkap untuk meningkatkan akurasi model pada studi selanjutnya, serta mendorong penggunaan metode pemodelan untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif dalam mendukung strategi pengelolaan DAS yang berkelanjutan.

Kata Kunci: hidrograf banjir, tata guna lahan, debit puncak, Sub Das Negara

Abstract

Seasonal flooding in Amuntai City, located in the downstream area of the Negara Sub-watershed, has become increasingly frequent, with land-use change identified early as one of the main contributing factors. This study aims to model flood hydrographs under the land-use conditions of 2006, 2015, and 2022, and to analyze the impact of land-use conversion on the characteristics of flood hydrographs. The modeling was carried out using HEC-HMS with rainfall inputs distributed hourly using the Mononobe Method and the Alternating Block Method (ABM). Hydrological parameters, including Curve Number (CN), initial abstraction, and imperviousness, were obtained through spatial analysis using QGIS. The results indicate that land-use change has a direct influence on the hydrological response of the sub-watershed, as reflected by an increase in peak discharge from 115.9 m^3/s in 2006 to 120.8 m^3/s in 2015 (a 4.23% rise), and a more substantial increase to 136.4 m^3/s in 2022 (a 12.91% rise from 2015, or 17.7% from 2006). In addition, acceleration of the time to peak (Tp) and shortening of the time base (Tb) were observed, indicating increased surface runoff due to reduced soil infiltration capacity as built-up areas expanded. These findings affirm that land-use conversion significantly contributes to heightened flood vulnerability in downstream areas. This study also highlights the need for more complete observational hydrograph data to enhance model accuracy in future research, and encourages the use of alternative modeling to obtain more comprehensive insights in support of sustainable watershed management strategies.

***Key words**: flood hydrograph, land use, peak discharge, Negara Sub-Watershed*

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh banyak wilayah di Indonesia, terutama di daerah dataran rendah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap banjir musiman, seperti Kota Amuntai. Kawasan perkotaan ini memiliki kepadatan penduduk yang tinggi sehingga setiap kejadian banjir memberikan dampak signifikan terhadap aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Kota Amuntai yang terletak di Kecamatan Amuntai Tengah tercatat memiliki risiko banjir yang tinggi (BPBD, 2022).

Secara hidrologis, Kota Amuntai berada dalam Sub DAS Negara, bagian dari DAS Barito, yang mengalir melalui Kabupaten Tabalong, Balangan, Hulu Sungai Utara, Hulu Sungai Tengah, Hulu Sungai

Selatan, dan Barito Kuala. Banjir di Sub DAS Negara terutama terjadi di bagian hilir, dengan Kabupaten Tabalong dan Hulu Sungai Utara sebagai wilayah yang paling sering terdampak (Kadir, 2020). Data kejadian bencana menunjukkan bahwa banjir merupakan jenis bencana dengan frekuensi tertinggi di Hulu Sungai Utara. Dalam kurun waktu 2004–2021 tercatat 24 kejadian banjir, dengan puncak kejadian pada tahun 2007 dan 2020 (BPBD, 2022). Kondisi ini tidak terlepas dari ketidaksesuaian penggunaan lahan yang menyebabkan meningkatnya lahan kritis serta terganggunya fungsi tata air wilayah.

Respons hidrologi suatu DAS terhadap curah hujan sangat bergantung pada karakteristik morfometrinya. Denaswidhi (2020) menekankan bahwa setiap DAS memiliki respons berbeda terhadap curah hujan, tergantung pada bentuk, luas, kemiringan, dan karakteristik fisik lainnya. Perubahan tata guna lahan dapat memperkuat sensitivitas tersebut. Sun *et al.* (2018) melaporkan bahwa alih fungsi lahan dapat menurunkan kapasitas infiltrasi, sementara Ikhwan *et al.* (2022) menyatakan bahwa ketika curah hujan melampaui kapasitas infiltrasi, limpasan permukaan akan meningkat dan berpotensi mempercepat waktu puncak banjir. Pada wilayah hilir seperti Kota Amuntai, kondisi ini dapat memperbesar volume banjir, mempercepat respon banjir, serta memperpanjang durasi genangan.

Untuk memahami dampak perubahan tata guna lahan terhadap karakteristik banjir dapat dilakukan analisis hidrograf. Hidrograf banjir menggambarkan respon DAS terhadap suatu kejadian hujan dan memungkinkan evaluasi perubahan debit puncak, waktu menuju puncak (Tp), dan durasi limpasan (Tb). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemodelan hidrograf dengan HEC-HMS mampu mengkuantifikasi pengaruh perubahan lahan terhadap karakteristik aliran permukaan. Budianto *et al.* (2022) menduga bahwa perubahan tata guna lahan menyebabkan peningkatan debit banjir pada berbagai kala ulang di tiga DAS yang dianalisis: di DAS Balak, debit banjir meningkat rata-rata 1,76% pada tahun 2030 dan 4,94% pada tahun 2045; di DAS Ngolang meningkat 4,00% pada tahun 2030 dan 8,67% pada tahun 2045; sedangkan di DAS Tebelo meningkat sebesar 0,17% pada tahun 2030 dan 0,79% pada tahun 2045. Sementara itu Azizi *et al* (2021) mengungkapkan bahwa perubahan penggunaan lahan di wilayah Bendungan Ekbatan menyebabkan kenaikan debit puncak dari 64,3 m^3/s pada tahun 1985 menjadi 70,5 m^3/s pada tahun 2015. Temuan ini menunjukkan bahwa konversi lahan dapat memperbesar debit banjir termasuk dugaan untuk skenario ramalan di masa depan.

Meskipun sejumlah penelitian telah mengkaji pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap banjir, belum ada penelitian cukup yang mengkombinasikan analisis hidrograf (debit puncak, Tp, Tb) dengan skenario tiga periode tata guna lahan sebagaimana yang dilakukan dalam penelitian ini. Beberapa studi terbaru memberi kontribusi, tetapi tetap memiliki keterbatasan: misalnya, Budianto, Hartana, & Ihtiar (2024) dalam penelitiannya menunjukkan pengaruh perubahan lahan terhadap debit puncak di DAS Padolo menggunakan HEC-HMS, namun hanya membandingkan dua periode lahan. Selanjutnya, penelitian Syahrul *et al* (2023) mengkaji kerentanan banjir terkait konversi lahan di Kota Masamba antara tahun 2010–2020, tetapi fokusnya pada kerentanan secara spasial, bukan pemodelan hidrograf. Selain itu, Nurcahyo *et al* (2024) mengkaji DAS Jatiroto terkait erosi dan debit, tetapi tidak menggunakan analisis skenario multitemporal lahan.

Berdasarkan celah-celah tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pemodelan hidrograf multi-temporal (2006, 2015, 2022) pada satu kejadian hujan aktual yang sama untuk menghitung pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap karakteristik hidrograf banjir. Kebaruan lainnya terletak pada konteks wilayah penelitian, yaitu Sub DAS Negara sebagai daerah rawa dataran rendah, yang memiliki karakteristik hidrologi berbeda dibandingkan DAS pegunungan yang umumnya menjadi fokus penelitian sebelumnya. Selain itu, penelitian ini mengkaji perubahan tiga parameter hidrograf (debit puncak, Tp, Tb) secara simultan dengan perubahan nilai CN dan *impervious area*, serta menggunakan kejadian banjir nyata sebagai dasar simulasi sehingga menghasilkan gambaran yang lebih realistis untuk kebutuhan mitigasi banjir lokal. Dengan demikian penelitian ini diharapkan dapat mengisi celah penting dalam literatur dengan melakukan analisis perubahan penggunaan lahan pada tiga waktu berbeda untuk melihat pengaruhnya terhadap karakteristik hidrograf banjir berdasarkan satu kejadian hujan aktual.

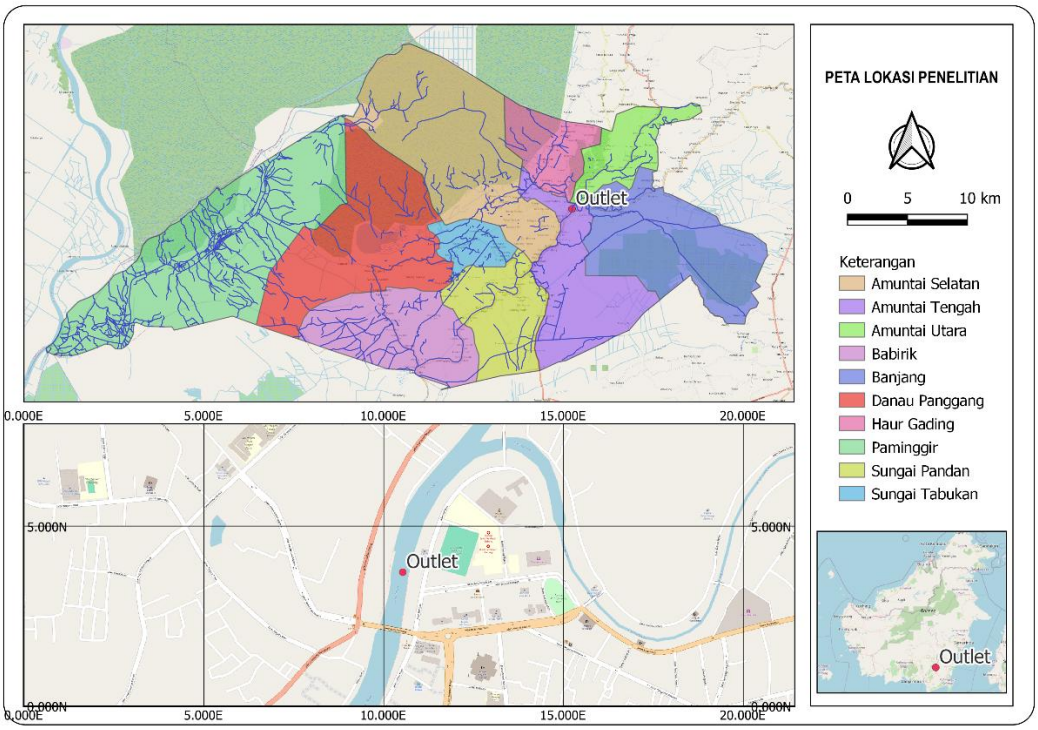
Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan tahun 2006, 2015, dan 2022 terhadap karakteristik hidrograf banjir di Sub DAS Negara, yang meliputi perubahan debit puncak, Tp, dan Tb, melalui pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS berdasarkan satu kejadian hujan aktual. Kontribusi penelitian ini adalah menyediakan bukti empiris mengenai dampak perubahan tata guna

lahan terhadap respon hidrologi Sub DAS Negara, yang dapat menjadi dasar bagi strategi mitigasi banjir dan perencanaan tata ruang di Kota Amuntai.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari Bulan Januari-April 2025, berlokasi di bagian hilir sub DAS Sungai Negara yaitu tepatnya pada Kota Amuntai. Secara geografis lokasi studi terletak di pertemuan antara sungai Negara, sungai Tabalong, dan sungai Balangan, berjarak 190 km di sebelah utara Kota Banjarmasin, ibu kota provinsi Kalimantan Selatan. Amuntai juga menjadi ibu kota Kabupaten Hulu Sungai Utara, yang memiliki ketinggian -23 ft (0-7 m) di atas permukaan laut. Koordinat lokasi penelitian di kota Amuntai adalah 2°26′0″S 115°15′0″E / 2.43333°. Lokasi ditentukan berdasarkan keberadaan pos duga air milik BWS Kalimantan III, karena data debit yang dihasilkan dari pos tersebut akan digunakan sebagai debit observasi dalam proses kalibrasi model simulasi.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

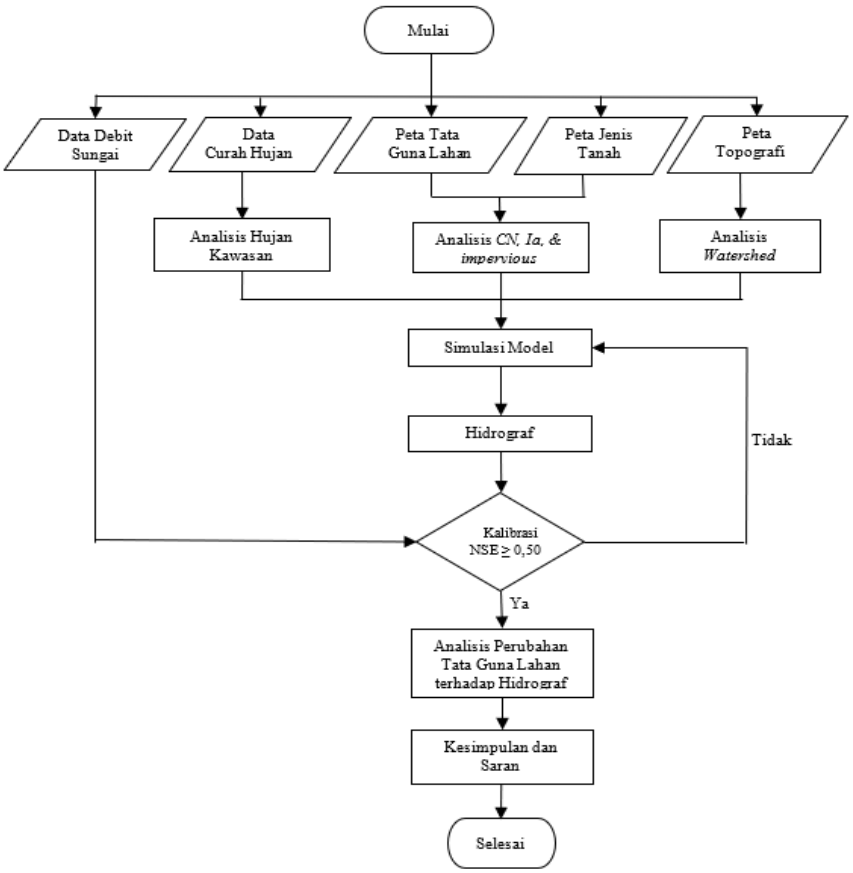
Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan pemodelan hidrologi untuk menganalisis bagaimana perubahan tata guna lahan tahun 2006, 2015, dan 2022 memengaruhi debit puncak, waktu menuju puncak, dan durasi limpasan pada Sub DAS Negara. Analisis difokuskan pada proses perubahan karakteristik hidrograf banjir sehingga dapat menggambarkan sensitivitas respon hidrologi DAS terhadap dinamika penggunaan lahan. Proses analisis dimulai dengan membangun struktur hidrologi DAS menggunakan peta *Digital Elevation Model* (DEM). DEM digunakan untuk mendelineasi batas Sub DAS, mengekstraksi jaringan sungai, serta menentukan arah dan akumulasi aliran. Hasil delineasi ini menjadi dasar pembentukan *sub-basin* dan *reach* yang kemudian digunakan dalam pemodelan HEC-HMS.

Tahap selanjutnya adalah pengolahan data spasial yaitu berupa jenis tanah dan tutupan lahan menggunakan QGIS untuk menghasilkan peta klasifikasi yang diperlukan dalam analisis hidrologi. Berdasarkan kombinasi kedua data tersebut, dihitung nilai CN, Ia, dan *impervious area*. Selain itu, parameter *time lag* dihitung sebagai salah satu *input* utama dalam pemodelan HEC-HMS.

Simulasi hidrograf banjir dilakukan dengan mengidentifikasi debit puncak tahunan berdasarkan data debit sungai tahun 2022 sebagai representasi kejadian banjir signifikan. Data curah hujan harian pada

periode kejadian tersebut kemudian ditransformasikan menjadi curah hujan jam-jaman menggunakan metode Mononobe dan ABM. Data curah hujan disimulasikan menjadi delapan jenis yang berbeda berdasarkan besaran hujan yang terdata. Pada kejadian banjir 21 November 2022 data stasiun yang menunjukkan data hujan terbesar adalah stasiun hujan Dahai sehingga data ini dipilih untuk disimulasikan untuk menghasilkan hidrograf debit untuk kemudian dibandingkan dengan debit observasi. Untuk tata guna lahan 2022 dilakukan delapan kali simulasi, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**. Debit puncak dari seluruh skenario dikalibrasi terhadap debit puncak observasi harian yang diperoleh dari BWS Kalimantan III. Model dengan debit puncak simulasi yang paling mendekati nilai observasi dipilih sebagai model terkalibrasi.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Model terkalibrasi tersebut selanjutnya digunakan untuk mensimulasikan kondisi tata guna lahan tahun 2006 dan 2015 dengan menggunakan *hyetograf* hasil kalibrasi terbaik dari tahun 2022. Hasil simulasi berupa tiga hidrograf banjir untuk masing-masing tahun kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik hidrograf, meliputi debit puncak, Tp, Tb, serta bentuk hidrograf secara keseluruhan. Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap dinamika limpasan permukaan dan potensi banjir di wilayah studi.

Tabel 1. Skenario simulasi tata guna lahan 2022

Simulasi	Interval	Distribusi hujan
1	1 jam	ABM (Data hujan maksimal rata-rata 4 pos curah hujan)
2	1 jam	Mononobe (Data hujan maksimal rata-rata 4 pos curah hujan)
3	1 jam	ABM (Data rata-rata hujan dari ke 4 pos pada tanggal 21 November 2022)
4	1 jam	Mononobe (Data rata-rata hujan dari ke 4 pos pada tanggal 21 November 2022)
5	1 jam	ABM (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)

Simulasi	Interval	Distribusi hujan
6	1 jam	Mononobe (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)
7	15 menit	ABM (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)
8	15 menit	Mononobe (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)

Distribusi Hujan

Data hujan yang dimiliki adalah data harian sehingga distribusi hujan jam-jaman aktual tidak tersedia. Dalam berbagai studi, keterbatasan data hujan diatasi dengan mengonversi data hujan harian menjadi data hujan jam-jaman menggunakan teknik-teknik yang umum digunakan, seperti metode Mononobe, ABM, *Triangular Hyetograph Method* (THM) (Saidah *et al.,* 2023). Metode empiris seperti ABM dan Mononobe dapat menjadi solusi dalam keterbatasan data hujan dengan distribusi sebenarnya yang terjadi di lapangan (Pratiwi & Negara, 2023). Model ini juga digunakan sebelumnya dalam penelitian mengenai banjir di sub DAS Martapura (Amal *et al.,* 2023). Persamaan yang dipakai dalam metode Mononobe adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24}\left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

I : intensitas curah hujan untuk lama hujan t (mm/jam)

t : lamanya curah hujan

R_{24} : curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

Diperlukan kedalaman hujan jam-jaman (*hyetograph*) untuk memodelkan banjir rancangan. Model ini mengasumsikan bahwa hujan terdistribusi merata pada seluruh DAS pada periode waktu tertentu (Munajad & Suprayogi, 2015). Untuk mendapatkan *hyetograph* dapat menggunakan cara sederhana dengan metode ABM. Triatmodjo (2008) menjelaskan *hyetograph* diperoleh dari kurva intensitas-durasi-frekuensi (IDF) yang dihasilkan dari intensitas hujan yang dihitung dengan metode Mononobe.

Untuk menentukan hujan rata-rata pada lokasi penelitian dapat digunakan dengan metode rata-rata aritmarik, poligon Thiessen dan Isohyet (Irawan, 2019; Triatmodjo, 2008). Karena keterbatasan akses terhadap data khususnya di lokasi penelitian, maka metode yang digunakan untuk menentukan hujan rata-rata adalah metode rata-rata aritmatik. Metode ini lazim dilakukan pada penelitian di Kalimantan Selatan disebabkan keterbatasan jumlah stasiun data hujan yang dapat digunakan dan dapat diterima secara luas. Penentuan distribusi hujan dilakukan secara empirik apabila tidak terdapat data distribusi hujan aktual sebagaimana penelitian sebelumnya di DAS Martapura, Kalimantan Selatan (Amal *et al.,* 2023).

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$\bar{R}$: Hujan rata-rata kawasan

$R_1, R_2, \dots R_n$: Hujan di stasiun 1, 2, ... n

n : Jumlah stasiun

Volume Limpasan

Pada penelitian ini metode *loss* yang digunakan adalah dengan metode *SCS-CN*. Metode ini menawarkan pendekatan yang relatif sederhana dan praktis untuk mengestimasi limpasan. Metode yang dikembangkan oleh *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* ini memperkirakan hujan yang menghasilkan aliran sebagai pengaruh dari penggunaan lahan, kondisi hidrologi dan kelengasan tanah. Parameter tersebut dinyatakan dalam indeks berupa CN. Persamaan-persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut. (USACE, 2000)

$$Pe = \frac{(P - \mathrm{I}a)^2}{P - \mathrm{I}a + S} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

$$Ia = 0{,}2\ x\ S \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Keterangan:
Pe : Hujan kumulatif pada waktu t (mm)
P : Kedalaman hujan jumulatif pada waktu t (mm)
Ia : *Initial abstraction* / kehilangan mula-mula (mm)
S : Potensi infiltrasi maksimum (mm).

Nilai S dihitung dengan menghubungkan karakteristik DAS dengan parameter CN dengan persamaan berikut: (USACE, 2000). Kelompok jenis tanah disajikan pada **Tabel 2** dan penentuan nilai CN berdasarkan jenis tata guna lahan dapat dilihat pada

Tabel **3**. Nilai CN dihitung keseluruhan sebagai nilai komposit dengan persamaan berikut: (USACE, 2000).

$$S = \frac{25400-254\ CN}{CN} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$S = \frac{1000-10\ CN}{CN} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

$$CNcomposite = \frac{\sum Ai\ CNi}{\sum Ai} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Keterangan:
S : Potensi infiltrasi maksimum (mm).
CN : Curve Number
CN-composite : CN (nilai penggunaan lahan) komposit
Ai : Luas daerah subDAS
i : indeks untuk subDAS yang mempunyai tata guna lahan yang sama

Tabel 2. Kelompok jenis tanah (Triatmodjo, 2008)

Kelompok Tanah	Jenis Tanah
A	Potensi limpasan rendah, mempunyai laju infiltrasi tinggi. Tanah pasir dengan sedikit unsur debu dan liat.
B	Potensi limpasan agak rendah, laju infiltrasi sedang. Tanah berbutir sedang dengan laju meloloskan air.
C	Potensi limpasan agak tinggi, laju infiltrasi lambat jika tanah tersebut sepenuhnya basah. Lempung berliat, lempung liat berdebu, lempung liat berpasir
D	Potensi limpasan tinggi, mempunyai laju infiltrasi sangat lambat. Tanah liat.

Tabel 3. Nilai CN berdasarkan tata guna lahan (Tisnasuci et al., 2021)

No	Tata Guna Lahan	Impervious (%)	Curve Number (CN)			
			A	B	C	D
1	Badan air	100	100	100	100	100
2	Hutan	5	30	55	70	77
3	Lahan terbuka	5	74	83	88	90
4	Pemukiman	30	57	72	81	86
5	Perkebunan	5	43	65	76	82
6	Pertanian	5	61	70	77	80
7	Sawah	5	63	75	83	87

Model Limpasan Langsung

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *SCS Unit Hydrograph (SCS-UH)*. Dalam penelitian ini juga dibutuhkan input parameter *time lag*. Metode ini menggunakan *time lag (Tlag)* sebagai inputan. *Tlag* didefenisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh pusat hujan menuju puncak dari hidrograf. Dalam

penelitian ini untuk menentukan parameter *Tlag* menggunakan persamaan berikut. (Munajad & Suprayogi, 2015; USDA-NRCS, 2010).

$$Tlag = \frac{L^{0.8}\ x\ (S+1)^{0,7}}{1900\ Y^{0.5}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:
Tlag : *lag* (jam)
Tc : Time of concentration (jam)
L : Panjang sungai (*feet*)
Y : Kemiringan/ *slope* (%)
S : Potensi infiltrasi maksimum (inch)

Kalibrasi Model

Dalam penelitian ini kalibrasi dilakukan dengan membandingkan debit puncak simulasi dengan puncak harian observasi. Tingkat keakuratan model dapat diukur dengan berdasarkan besarnya nilai *error* yang dihasilkan antara hasil simulasi model terhadap debit obervasi. Menurut Moriasi et al. (2007) salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi model adalah dengan analisis statistik dengan menggunakan koefesien efisiensi model *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dengan persamaan 9 dan kriteria penilaiannya disajikan pada Tabel 4.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N} \left(Qo(t) - Qs(t)\right)^2}{\sum_{t=1}^{N} (Qo(t) - \overline{Qo})^2} \dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:
Qs(t) : debit simulasi
Qo(t) : debit observasi
$\overline{Qo}$: debit observasi rata-rata
N : jumlah data

Tabel 4. Kriteria penilaian NSE (Moriasi et al., 2007)

NSE	Kriteria
0,75 < NSE ≤ 1,00	Sangat Baik
0,65 < NSE ≤ 0,75	Baik
0,50 < NSE ≤ 0,65	Memuaskan
NSE ≤ 0,50	Tidak Memuaskan

HASIL DAN PEMBAHASAN

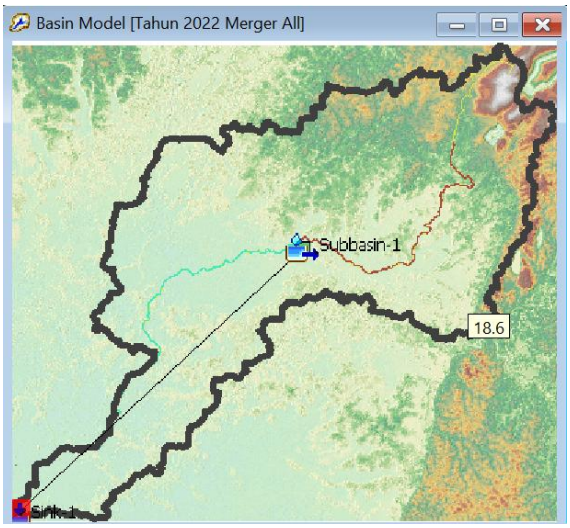
Deliniasi DAS

Dari hasil deliniasi yang dilakukan pada perangkat lunak HEC-HMS, luas sub DAS yang terdeliniasi adalah 274,32 km^2. Sub DAS ini melewati tiga Kabupaten, sepanjang daerah hulu DAS melewati kabupaten Tabalong dan Balangan, dibagian hilir pada *outlet* terletak di Kota Amuntai Kabupaten Hulu Sungai Utara. Penentuan titik *outlet* disesuaikan dengan lokasi pos duga air yang menyediakan data debit, sehingga data tersebut dapat digunakan sebagai debit observasi dalam analisis. Gambar 3 menunjukkan hasil deliniasi sub DAS Sungai Negara dengan letak outletnya.

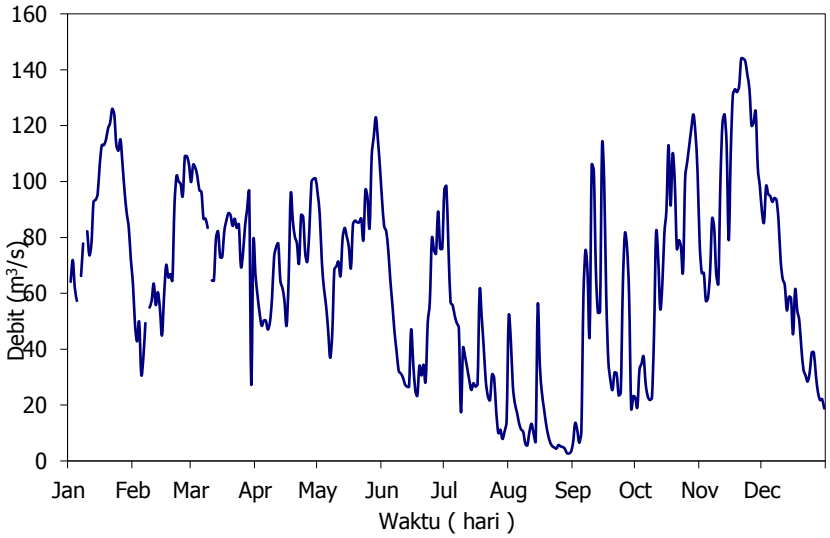
Analisis Curah Hujan

Berdasarkan data yang diperoleh dari BWS Kalimantan III diperoleh debit tertinggi dalam tahun 2022 adalah pada tanggal 21 - 22 November 2022, yaitu sebesar 144 m3/s dengan ketinggian air 4,69 m. Hal ini sesuai dengan berita yang dilansir oleh Diskominfosandi/Prokopim (2022), Kabupaten Hulu Sungai Utara ditetapkan status tanggap darurat pada tanggal tersebut dan diperoleh informasi awal bahwa bencana banjir pada tahun 2022 di Kabupaten Hulu Sungai Utara terjadi pada tanggal 21 November 2022 (https://pusatkrisis.kemkes.go.id/, 2022). Hidrograf debit dalam tahun 2022 dapat dilihat pada Gambar 4. Oleh karena itu data kejadian hujan pada tanggal 21 November 2022 akan dijadikan input untuk analisis

distribusi hujan pada simulasi HEC-HMS. Selanjutnya data debit puncak pada tanggal 21 November 2022 akan menjadi input kalibrasi dari hasil simulasi yang telah dilakukan.



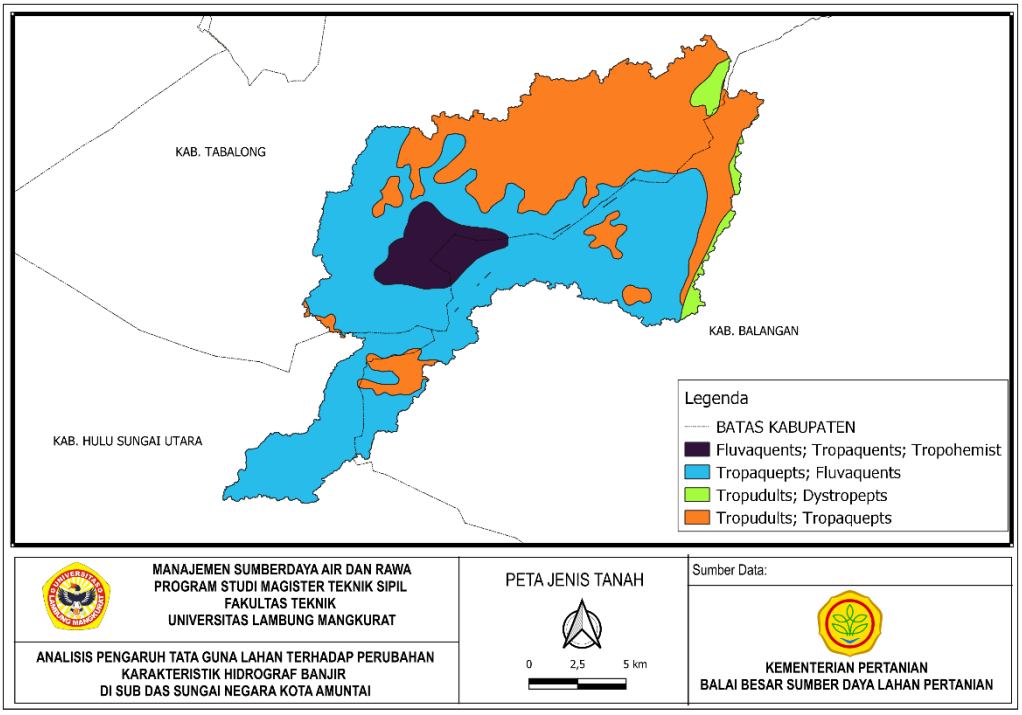
Gambar 3. Deliniasi Sub DAS Sungai Negara pada HEC-HMS



Gambar 4. Hidrograf debit harian sungai pada Pos Duga Air Amuntai tahun 2022 (BWS Kalimantan III, 2025)

Analisis Jenis Tanah

Penelitian ini menggunakan Sistem Klasifikasi Tanah Nasional yang dipadankan dengan *Soil Taxonomy*, yang telah digunakan secara luas di Indonesia sejak 1989 (Subardja et al., 2014). Pendekatan klasifikasi tersebut juga digunakan pada sejumlah penelitian sebelumnya, antara lain studi di DAS Kali Madiun yang memodelkan hubungan hujan–debit menggunakan HEC-HMS (Fadhilla & Lasminto, 2021). Selain itu Ramadan et al (2020) telah melakukan kajian nilai CN DAS Pataruman dengan menggunakan Satuan Peta Tanah yang sesuai dengan *soil taxonomy*. **Gambar 5** memperlihatkan sebaran yang bervariasi di bagian hulu, tengah, dan hilir sub DAS. Informasi rinci mengenai asosiasi jenis tanah, tekstur tanah, kesimpulan sifat drainase, serta klasifikasi kelompok hidrologi tanah (HSG) disajikan secara sistematis dalam Tabel 5 berikut.



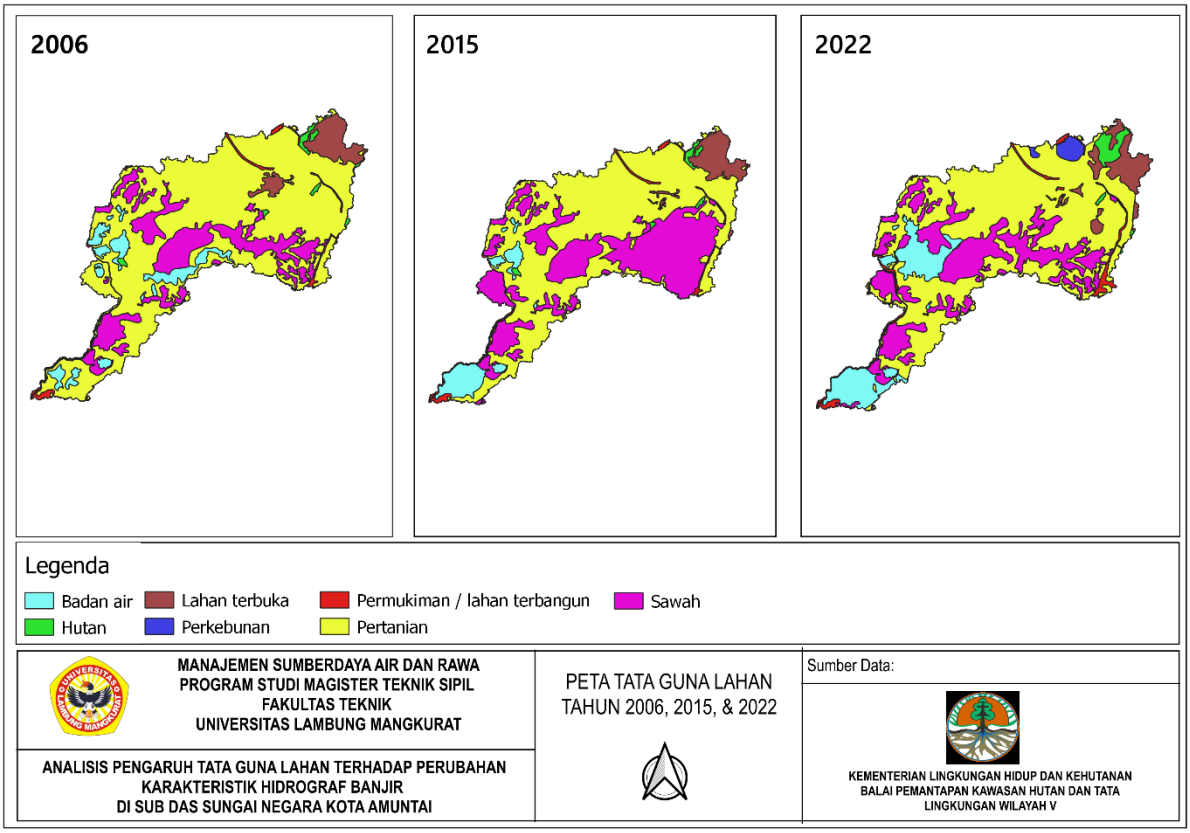
Gambar 5. Jenis tanah pada sub DAS Negara

Tabel 5. Klasifikasi kelompok hidrolgi tanah (HSG) pada lokasi penelitian

No	Asosiasi Jenis Tanah	Tekstur Tanah	Kesimpulan	HSG
1.	*Fluvaquents; Tropaquents; Tropohemist*	*Fluvaquents* : alluvial, tekstur lempung liat dan kejenuhan air tinggi *Tropaquents*: Lempung berliat / liat, jenuh air sepanjang tahun *Tropohemist*: Dominasi bahan organik (gambut)	Drainase buruk hingga sangat buruk.	D
2.	*Tropaquepts; Fluvaquents*	*Tropaquepts*: Berada pada area cekungan; Lempung liat; jenuh air *Fluvaquents*: terdapat pada dataran alluvial, tekstur lempung liat dan kejenuhan air tinggi	Dominasi tanah dengan drainase buruk.	C atau D
3.	*Tropudults; Dystropepts*	*Tropudults*: Lempung berliat *Dystropepts*: Lempung berpasir	Kombinasi tanah berdrainase baik hingga sedang.	B atau C
4.	*Tropudults; Tropaquepts*	*Tropudults*: Lempung berliat *Tropaquepts*: Berada pada area cekungan; Lempung liat; jenuh air	Kombinasi tanah berdrainase baik hingga buruk.	B, C, atau D

Analisis Perubahan Tata Guna Lahan

Perubahan tata guna lahan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi respons hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Dinamika perubahan tutupan lahan, terutama konversi lahan pertanian, sawah, dan area vegetasi ke bentuk penggunaan lain, dapat mengubah pola limpasan, kapasitas infiltrasi, serta besarnya debit puncak yang muncul saat kejadian hujan. Perubahan tutupan lahan di berbagai DAS di Indonesia telah berkontribusi pada meningkatnya frekuensi banjir dan perubahan karakteristik aliran permukaan (Ridwan & Sarjito, 2024). Oleh karena itu, analisis perubahan tata guna lahan secara spasial dan temporal menjadi penting untuk memahami bagaimana perubahan penggunaan lahan berdampak terhadap dinamika hidrologi. Dalam penelitian ini, perubahan tata guna lahan dianalisis melalui perbandingan jenis dan luasan penggunaan lahan pada tiga periode waktu untuk mengevaluasi pola perubahan dan implikasinya bagi kondisi hidrologi sub-DAS.



Gambar 6. Perubahan Tata Guna Lahan Sub DAS Negara Tahun 2006, 2015 dan 2022

Perubahan tata guna lahan ditunjukkan dengan cara menghitung persentasi jenis dan luasan setiap kegunaan lahan pada tahun yang menjadi fokus penelitian sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar tersebut memperlihatkan sebaran yang bervariasi di bagian hulu, tengah dan hilir sub DAS. Hasil analisis disajikan dalam Tabel 6 yang menunjukkan perbandingan luas setiap jenis penggunaan lahan pada tiga periode waktu tersebut. Perubahan paling besar ditunjukkan oleh jenis tata guna lahan sawah (pada Gambar ditunjukkan oleh warna merah muda) di mana pada tahun 2015 mengalami peningkatan dari yang sebelumnya pada tahun 2006 hanya 18% menjadi 32% pada tahun 2015. akan tetapi pada tahun 2022 kembali mengalami pengurangan menjadi hanya 23%. Perubahan signifikan lain ditunjukkan oleh lahan

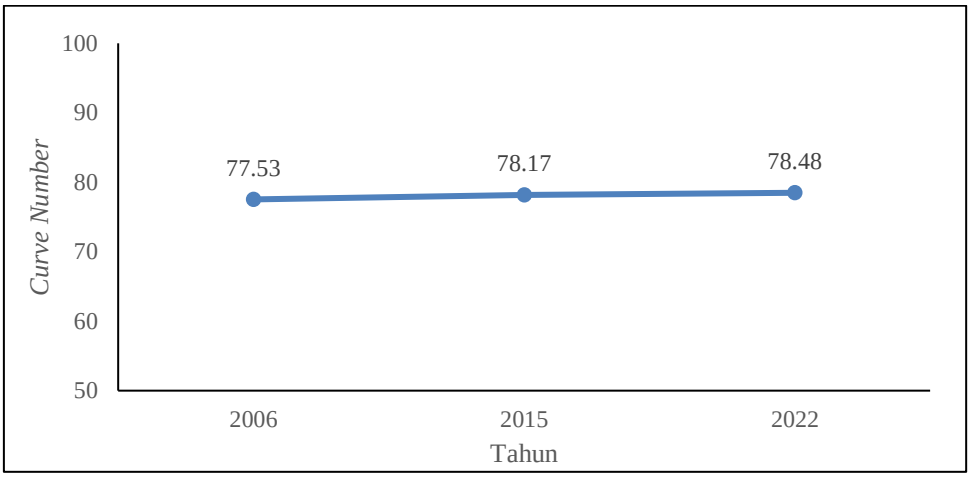
pertanian (pada Gambar ditunjukkan oleh warna kuning) yang konsisten mengalami penurunan dari awalnya sebesar 68% menjadi hanya sekitar 55% pada tahun 2015 dan 2022.

Tabel 6. Rekapitulasi tata guna lahan tahun 2006, 2015 dan 2022 pada sub DAS Negara

No	Jenis Tata Guna Lahan	Tahun 2006		Tahun 2015		Tahun 2022	
		Luas (km^2)	Persen-tase (%)	Luas (km^2)	Persen-tase (%)	Luas (km^2)	Persen-tase (%)
1.	Perkebunan	-	-	-	-	3,891	1,418
2.	Hutan	2,649	0,966	2,254	0,822	4,857	1,771
3.	Permukiman / lahan terba- ngun	4,518	1,647	5,017	1,829	7,398	2,697
4.	Lahan terbuka	14,342	5,228	13,002	4,740	14,049	5,121
5.	Badan air	16,247	5,932	14,338	5,227	26,681	9,726
6.	Sawah	50,122	18,271	89,375	32,580	65,490	23,873
7.	Pertanian	186,41	67,955	150,33	54,803	151,950	55,393
	Total	**274,3**	**100**	**274,3**	**100**	**274,3**	**100**

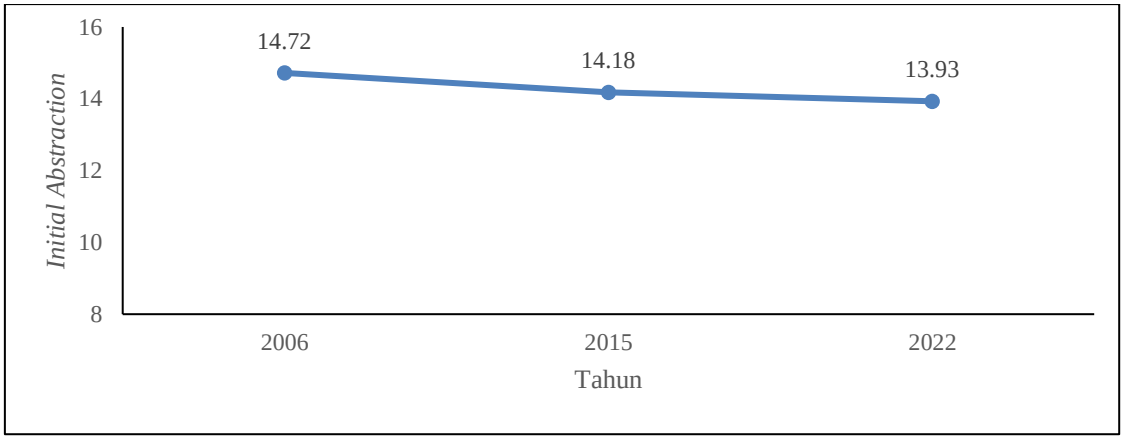
Perhitungan *Curve Number, Initial Abstraction*, dan *Impervious*

Secara umum, nilai CN cenderung sedikit meningkat dari tahun 2006 ke 2022. Peningkatan nilai CN mengindikasikan berkurangnya kapasitas infiltrasi tanah dan meningkatnya aliran permukaan (*runoff*), yang kemungkinan disebabkan oleh perubahan tata guna lahan, seperti berkurangnya area vegetasi alami dan meningkatnya permukiman atau lahan terbangun. Hal ini menunjukkan adanya potensi peningkatan risiko banjir dan perubahan hidrologi di wilayah tersebut seiring berjalannya waktu. Peningkatan nilai CN dari ketiga tahun terlihat pada Gambar 7.

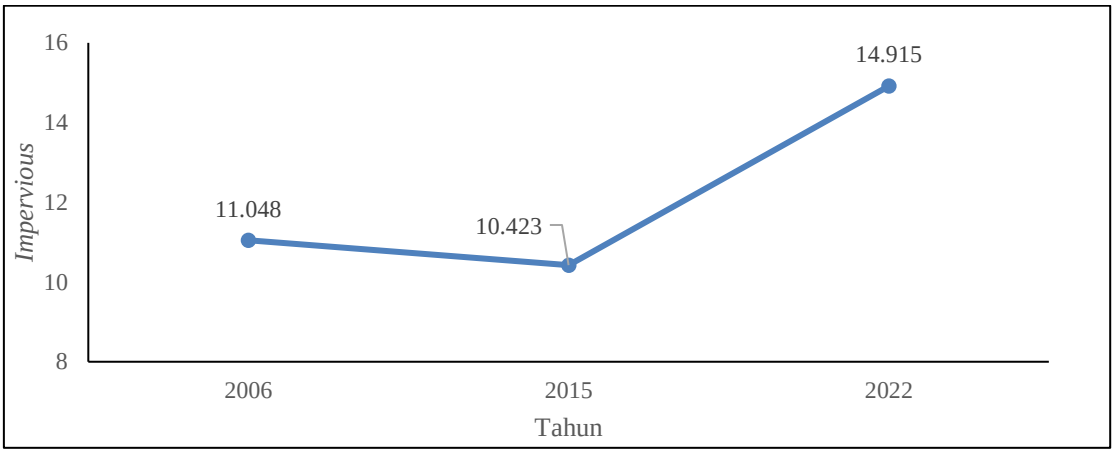


Gambar 7. Perbandingan Nilai CN

Terjadi penurunan nilai Ia menunjukkan bahwa kapasitas tanah untuk menyerap air sebelum terjadi limpasan permukaan semakin berkurang, yang dapat mengindikasikan adanya peningkatan aliran permukaan dan risiko banjir. Perbandingan nilai Ia pada ketiga tahun dapat dilihat pada Gambar 8. Selain berpengaruh terhadap nilai CN, tata guna lahan juga mempengaruhi nilai *impervious* yang akan menjadi input dalam HEC-HMS. Terjadi fluktuasi *impervious* di Sub DAS yang diteliti. Namun secara umum dari tahun 2006 – 2022 *impervious* meningkat. Konsekuensinya, terjadi peningkatan permukaan kedap air yang dapat mengurangi infiltrasi air ke dalam tanah, meningkatkan aliran permukaan, dan berpotensi memperparah risiko banjir di daerah tersebut. Perbandingan nilai impervious untuk ketiga tahun dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 8. Perbandingan nilai Ia



Gambar 9. Perbandingan nilai *impervious*

Perhitungan *Time Lag*

Pada analisis hidrograf satuan yang menggunakan metode SCS-UH, salah satu parameter penting yang harus dihitung adalah *time lag*. Perhitungan dilakukan berdasarkan data topografi dan karakteristik sub DAS. Hasil analisis menunjukkan variasi nilai *time lag* yang mencerminkan perbedaan bentuk dan karakteristik ketiga tata guna lahan. Hasil perhitungan *time lag* sub DAS pada ketiga tahun yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi *time lag*

Tahun	L (km)	L (feet)	Y (%)	CN	S (inch)	Tlag (menit)
2006	55,353	181.604,27	0,00715	77,531	2,898	357,897
2015	55,353	181.604,27	0,00715	78,177	2,791	346,026
2022	55,353	181.604,27	0,00715	78,481	2,742	342,855

Pemodelan HEC-HMS dan Kalibrasi

Simulasi pemodelan hidrologi dilakukan berdasarkan kondisi tata guna lahan tahun 2022 dengan delapan skenario kombinasi distribusi hujan dan interval waktu simulasi. Distribusi hujan yang digunakan adalah dengan metode ABM dan Mononobe dengan data dari empat pos curah hujan sekitar lokasi penelitian, baik untuk data hujan maksimal maupun hujan pada tanggal 21 November 2022—tanggal saat terjadi debit tertinggi berdasarkan data dari BWS Kalimantan III. Interval waktu simulasi dibagi menjadi 1 jam dan 15 menit untuk menangkap respon hidrologis yang lebih detil. Dari hasil simulasi, model yang

mendekati puncak debit observasi pada tahun 2022 dipilih sebagai representasi terbaik untuk analisis selanjutnya. Pemilihan tanggal 21 November 2022 sebagai dasar distribusi curah hujan dalam skenario didasarkan pada kejadian banjir yang terjadi pada periode tersebut. Dari hasil kedelapan simulasi yang dilakukan, Simulasi 5, 6, 7 dan 8 menunjukkan kriteria NSE dengan kategori sangat baik. Namun untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat digunakan simulasi dengan interval 15 menit. Dengan hasil kalibrasi paling mendekati dengan debit observasi, maka simulasi 8 akan dipakai dalam menganalisis hidrograf untuk tata guna lahan 2006 dan 2015.

Tabel 8. Rekapitulasi hasil pemodelan dan kalibrasi NSE

Simu-lasi	Inter-val	Distribusi hujan	Qs (m^3/s)	Qo (m^3/s)	NSE	
					Nilai	Kriteria
1	1 jam	ABM (Data hujan maksimal rata-rata 4 pos curah hujan)	991,3	144	-37,929	Tidak memuaskan
2	1 jam	Mononobe (Data hujan maksimal rata-rata 4 pos curah hujan)	903	144	-30,238	Tidak memuaskan
3	1 jam	ABM (Data rata-rata hujan dari ke 4 pos pada tanggal 21 November 2022)	20,5	144	0,173	Tidak memuaskan
4	1 jam	Mononobe (Data rata-rata hujan dari ke 4 pos pada tanggal 21 November 2022)	19	144	0,153	Tidak memuaskan
5	1 jam	ABM (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)	144,2	144	0,999	Sangat baik
6	1 jam	Mononobe (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)	131,4	144	0,991	Sangat baik
7	15 menit	ABM (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)	153,8	144	0,994	Sangat baik
8	15 menit	Mononobe (Data hujan dari pos Dahai pada tanggal 21 November 2022)	136,4	144	0,996	Sangat baik

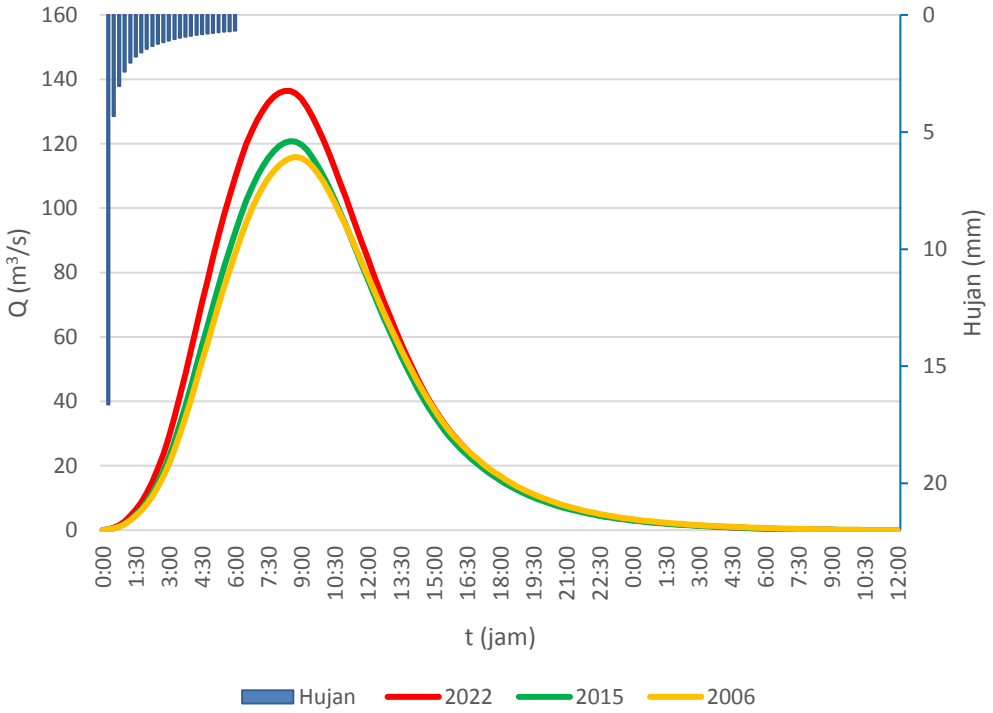
Analisis Hidrograf Banjir

Dari hasil pemodelan yang telah dilakukan pada masing-masing tata guna lahan, diperoleh model hidrograf sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10. Hidrograf tersebut menggambarkan perubahan respon hidrologi Sub DAS Negara sebagai akibat dari perubahan tata guna lahan antara tahun 2006, 2015, dan 2022. Melalui pemodelan ini, dampak perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik aliran permukaan dapat dianalisis secara lebih terukur.

Hasil analisis pada Gambar 10 dan

Tabel **9** menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan memberikan dampak langsung terhadap karakteristik hidrograf banjir. Debit puncak, waktu menuju puncak (Tp), dan durasi limpasan (Tb) mengalami perubahan yang konsisten dari tahun ke tahun. Debit puncak meningkat sebesar 4,23% antara 2006–2015, dan meningkat lebih besar lagi sebesar 12,91% antara 2015–2022. Selain itu, Tp semakin cepat dan Tb semakin pendek pada setiap periode, yang berarti air hujan semakin cepat menjadi limpasan dan

semakin cepat pula keluar dari DAS. Kondisi ini menunjukkan meningkatnya sensitivitas hidrologi Sub DAS Negara terhadap curah hujan.



Gambar 10. Hidrograf banjir tahun 2006, 2015, dan 2022

Tabel 9. Perbandingan karakteristik hidrograf banjir

Tahun Tata Guna Lahan	Debit Puncak (m^3/s)	Tp	Tb
2006	115,9	08:45	34,5 jam
2015	120,8	08:30	33,5 jam
2022	136,4	08:15	33,25 jam

Perubahan ini sejalan dengan prinsip dasar hidrologi bahwa debit sungai akan meningkat cepat saat hujan turun dan menurun perlahan setelah hujan berhenti (Guérin et al., 2014). Meningkatnya debit puncak dan percepatan waktu respon hidrograf mengindikasikan penurunan kapasitas infiltrasi akibat meningkatnya luas permukaan kedap air, sehingga air hujan tidak lagi tertahan atau meresap ke tanah, tetapi langsung mengalir sebagai limpasan permukaan. Hal ini juga konsisten dengan peningkatan nilai CN dan *impervious area* yang teridentifikasi pada setiap periode tata guna lahan.

Hasil-hasil tersebut mendukung temuan studi sebelumnya. Bashay *et al.*, (2017) melaporkan bahwa eksploitasi lahan antara 2014–2020 pada Sungai Comal Hulu menyebabkan lonjakan debit puncak sebesar 63,636%. Demikian pula, Wahyuni & Sachro (2024) menyatakan bahwa kenaikan nilai CN dan bertambahnya lahan kedap air secara langsung mempengaruhi karakteristik hidrograf banjir. Selain itu, Santoro *et al.,* (2018) menyatakan bahwa debit sungai merupakan variabel penting yang merepresentasikan proses hidrologi menyeluruh meliputi infiltrasi, limpasan, intersepsi, dan evapotranspirasi. Dengan demikian, perubahan karakteristik debit yang terukur pada penelitian ini mencerminkan terjadinya perubahan pada keseluruhan sistem hidrologi Sub DAS Negara.

Di samping perubahan tata guna lahan, karakteristik hujan juga merupakan faktor yang berperan dalam pembentukan limpasan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa hubungan linear antara curah hujan dan limpasan terutama terjadi pada intensitas hujan tinggi dan durasi panjang (Ben-Zvi, 2020), serta bahwa distribusi hujan yang terkonsentrasi dapat meningkatkan debit banjir (Oh *et al.,* 2024). Namun pada penelitian ini, data hujan yang digunakan adalah hujan pada 21 November 2022, yaitu peristiwa hujan yang

memicu banjir nyata di lapangan. Dengan menggunakan data hujan yang sama untuk ketiga skenario tata guna lahan, perbedaan karakteristik hidrograf yang muncul terutama mencerminkan dampak perubahan tata guna lahan, bukan variasi curah hujan. Pengaturan ini memberikan pendekatan yang lebih terkontrol untuk menilai pengaruh penggunaan lahan terhadap respon hidrologi.

Di sisi lain, kondisi morfometri Sub DAS Negara turut mempengaruhi karakteristik hidrograf. Menurut Denaswidhi (2020), setiap DAS memiliki respon unik terhadap hujan tergantung pada morfometrinya. Sub DAS Negara yang memiliki kemiringan landai, dataran banjir luas, dan kawasan rawa, pada kondisi alami cenderung memiliki respon hidrologi yang relatif lambat. Namun hasil penelitian ini menunjukkan percepatan respon aliran dari tahun ke tahun, yang memperkuat dugaan bahwa perubahan penggunaan lahan memiliki pengaruh dominan dalam mengurangi kemampuan DAS meskipun terdapat rawa didalamnya untuk menahan air sehingga aliran permukaan terbentuk lebih cepat dibanding kondisi alaminya. Dengan demikian, perubahan morfometri akibat aktivitas manusia seperti pembangunan permukiman semakin menghilangkan kemampuan lahan dataran rendah untuk menahan banjir.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Pertama, pemodelan menggunakan satu kejadian hujan aktual, sehingga belum dapat menggambarkan variasi respon hidrologi pada berbagai tipe hujan. Kedua, HEC-HMS bersifat *event-based* dan tidak mempertimbangkan perubahan proses hidrologi jangka panjang seperti perubahan kelembapan tanah dan aliran dasar (*baseflow*). Ketiga, ketelitian hasil sangat dipengaruhi oleh kualitas data curah hujan dan parameter CN yang diturunkan dari interpretasi penggunaan lahan. Oleh karena itu, hasil penelitian harus diinterpretasikan dengan memperhatikan keterbatasan tersebut.

Secara keseluruhan, penelitian ini konsisten dengan berbagai studi terdahulu yang menegaskan bahwa konversi lahan menuju area kedap air meningkatkan limpasan permukaan, mempercepat respon hidrograf, dan memperbesar risiko banjir. Keunggulan penelitian ini terletak pada penggunaan tiga periode tata guna lahan sekaligus (2006, 2015, 2022) serta kalibrasi berdasarkan kejadian banjir aktual, sehingga menghasilkan gambaran yang lebih realistis mengenai peningkatan risiko banjir di Sub DAS Negara dari waktu ke waktu.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS untuk kondisi tata guna lahan tahun 2006, 2015, dan 2022 di Sub DAS Negara, dapat disimpulkan bahwa perubahan penggunaan lahan memiliki pengaruh yang nyata terhadap karakteristik hidrograf banjir. Model hidrograf yang dibangun menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan debit puncak dari waktu ke waktu, seiring dengan peningkatan luas lahan terbangun dan penurunan kapasitas infiltrasi tanah. Debit puncak meningkat dari 115,9 m^3/s pada tahun 2006 menjadi 120,8 m^3/s pada 2015 (kenaikan 4,23%), dan selanjutnya meningkat lebih signifikan pada tahun 2022 menjadi 136,4 m^3/s (kenaikan 12,91% dari 2015, atau 17,7% dari 2006). Selain itu, Tp bergeser lebih cepat, dari pukul 08:45 pada tahun 2006, menjadi 08:30 pada 2015, dan semakin cepat pada 2022, yaitu pukul 08:15. Tb juga menunjukkan tren pemendekan, dari 34,5 jam (2006) menjadi 33,5 jam (2015), dan semakin pendek menjadi 33,25 jam (2022). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa air hujan semakin cepat berubah menjadi limpasan permukaan akibat menurunnya kemampuan tanah untuk menyerap air. Temuan ini memberikan gambaran yang jelas bahwa konversi lahan yang terjadi di Sub DAS Negara dalam kurun waktu tersebut telah meningkatkan kerentanan wilayah terhadap kejadian banjir.

Saran

Untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas hasil pemodelan, diperlukan ketersediaan data hidrograf banjir aktual dari lapangan sehingga proses validasi dapat dilakukan secara lebih komprehensif. Ketersediaan data observasi yang lebih detail, khususnya pada periode kejadian banjir ekstrem, akan memperkuat kemampuan model dalam merepresentasikan kondisi hidrologis Sub DAS secara nyata. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas pendekatan analisis dengan membandingkan hasil pemodelan menggunakan metode lain, seperti menggunakan aplikasi SWAT (*Soil and Water*

Assessment Tool) atau pendekatan berbasis *machine learning*, guna mengevaluasi konsistensi dan sensitivitas model terhadap perubahan penggunaan lahan. Penggabungan aspek lain seperti kualitas air, sedimentasi, serta pengaruh perubahan iklim lokal juga dapat memperkaya analisis dan memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh untuk mendukung perencanaan pengelolaan DAS yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Amal, N., Wiranata, A., & Hendra. (2023). Pengaruh Distribusi Hujan terhadap Perhitungan Debit Banjir pada Daerah Rawa DAS Martapura. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, *6*(2), 217–231. https://doi.org/10.31602/jk.v6i2.12965

Azizi, S., Ilderomi, A. R., & Noori, H. (2021). Investigating the Effects of Land Use Change on Flood Hydrograph Using HEC-HMS Hydrologic Model (Case Study: Ekbatan Dam). *Natural Hazards*, *109*(1), 145–160. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04830-6

Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Hulu Sungai Utara. (2022). *Dokumen Kajian Risiko Bencana Kabupaten Hulu Sungai Utara Tahun 2023 - 2027*.

BAPPEDALITBANG Kabupaten Hulu Sungai Utara, & LPPM Universitas Lambung Mangkurat. (2022). Laporan Akhir Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan (DDDTL) Kabupaten Hulu Sungai Utara. *Laporan Akhir*, *1*(201310200311137), 78–79.

Ben-Zvi, A. (2020). Laboratory Examination of Linearity in Rainfall–Runoff Relationships. *Hydrological Sciences Journal*, *65*(10), 1794–1801. https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1770765

Budianto, M. B., Harianto, B., Hidayat, S., Salehudin, & Hartana. (2022). Dampak Perubahan Tata Guna Lahan dan Implikasinya terhadap Besaran Debit Banjir pada Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkung*, *8*(2), 102–114. Retrieved from http://jstl.unram.ac.id

Budianto, M. B., Hartana, & Ihtiar, R. A. (2024). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir DAS Padolo. *Dinamika Teknik Sipil*, *17*, 78–87.

Denaswidhi, E. (2020). Informasi Karakteristik Morfometri Das Jangkok Menggunakan Sistim Informasi Geografis. *Jurnal Silva Samalas*, *3*(1), 28. https://doi.org/10.33394/jss.v3i1.3679

Diskominfosandi/Prokopim. (2022). Ribuan Rumah Terendam Banjir Kabupaten HSU Tetapkan Status Tanggap Darurat. Retrieved March 13, 2025, from https://web.hsu.go.id/ribuan-rumah-terendam-banjir-kabupaten-hsu-tetapkan-status-tanggap-darurat/

Fadhilla, I. N., & Lasminto, U. (2021). Pemodelan Hujan-Debit DAS Kali Madiun Menggunakan Model HEC-HMS. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, *19*(3), 361. https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v19i3.9517

Guérin, A., Devauchelle, O., Lajeunesse, E., Guérin, A., Devauchelle, O., & Response, E. L. (2014). Response of a Laboratory Aquifer to Rainfall. *Journal of Fluid Mechanics*.

https://pusatkrisis.kemkes.go.id/. (2022). Banjir di Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan, 21-11-2022. Retrieved from https://pusatkrisis.kemkes.go.id/Banjir-di-HULU-SUNGAI-UTARA-KALIMANTAN-SELATAN-21-11-2022-19

Ikhwan, M., Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Kajian Debit Limpasan Permukaan Akibat Intensitas Curah Hujan Lapangan Studi Kasus DAS Kiru-Kiru Kab. Barru. *Jurnal Konstruksi: Teknik …*, *1*(7), 49–56. Retrieved from http://pasca-umi.ac.id/index.php/kons/article/view/1246%0Ahttps://pasca-umi.ac.id/index.php/kons/article/download/1246/1410

Irawan, A. (2019). Representative Satu Stasiun Hujan Terhadap Hujan Rata-Rata DAS. *Urnal Planologi Dan Sipil*, *1*(1), 1–13.

Kadir, S., Badaruddin, & Indrayatie, E. R. (2020). *Pengelolaan Daerai Aliran Sungai*.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). M e g s q a w

s, *50*(3), 885–900.

Munajad, Rifai. Suprayogi, S. (2015). Kajian Hujan Aliran Menggunakan Model HEC-HMS DI Sub Daerah Aliran Sungai Wuryantoro Wonogiri Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, *4*(1), 1–23.

Nurcahyo, M. T., Dermawan, V., & Sumiadi. (2024). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir dan Laju Erosi di DAS Jatiroto. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, *04*(02), 1180–1191.

Oh, B., Kim, J. C., & Hwang, S. (2024). Influence of Rainfall Patterns on Rainfall–Runoff Processes: Indices for the Quantification of Temporal Distribution of Rainfall. *Water (Switzerland)*, *16*(20). https://doi.org/10.3390/w16202904

Pratiwi, D. W., & Negara, A. S. (2023). Perbandingan Pola Distribusi Hujan Terukur dan Metode Empiris dalam Perhitungan Debit Banjir Rencana DAS Jurug. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, *3*(1), 29–42. https://doi.org/10.56860/jtsda.v3i1.55

Ramadan, A. N. A., Nurmayadi, D., Sadili, A., Solihin, R. R., & Sumardi, Z. (2020). Studi Penentuan Nilai Curve Number DAS Pataruman berdasarkan Satuan Peta Tanah Indonesia. *Media Komunikasi TeknikSipil*, *26*(2), 258–266.

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*, 38–45.

Saidah, H., Budianto, M. B., Yasa, I. W., & Setiawan, E. (2023). Pola Distribusi Hujan dan Pengaruhnya terhadap Penyimpangan Hidrograf Banjir DAS Jangkok. *Ganec Swara*, *17*(1), 269. https://doi.org/10.35327/gara.v17i1.397

Santoro, M., Andres, V., Jirka, S., Koike, T., Looser, U., Nativi, S., … Zsoter, E. (2018). Interoperability challenges in river discharge modelling: A cross domain application scenario. *Computers and Geosciences*, *115*(March), 66–74. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.03.008

Subardja, D. S., Ritung, S., Anda, M., Sukarman, Suryani, E., & Subandiono, R. E. (2014). *Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional*. *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor* (Vol. 22). Retrieved from http://papers.sae.org/2012-01-0706/

Sun, D., Yang, H., Guan, D., Yang, M., Wu, J., Yuan, F., … Zhang, Y. (2018). The Effects of Land Use Change on Soil Infiltration Capacity in China: A Meta-Analysis. *Science of the Total Environment*, *626*, 1394–1401. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.104

Syahrul, S., Tilaar, S., & Siregar, F. (2023). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kerawanan Banjir di Perkotaan Masamba, Kabupaten Luwu Utara, Provinsi Sulawesi Selatan. *S A B U A*, *12*(2).

Tisnasuci, I. D., Sukmono, A., & Hadi, F. (2021). Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Daerah Aliran Sungai Bodri terhadap Debit Puncak Menggunakan Metode Soil Conservation Service (SCS). *Jurnal Geodesi Undip Januari*, *10*(1), 105–114. Retrieved from https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.29630

Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. *Beta Offset Yogyakarta*, 0–358.

USACE. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, (March), 148.

USDA-NRCS. (2010). National Engineering Handbook Chapter 15, Time of Concentration, 1–15.

Wahyuni, I. T., & Sachro, S. S. (2024). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Karakteristik Hidrograf Banjir (Studi Kasus Bendungan Jragung). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *29*(2), 280–288. https://doi.org/10.14710/mkts.v29i2.59877

Yusuf Bashay, J., Santosa, B., & Suwarno, D. (2017). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Hidrograf Sungai (Studi Kasus Sungai Comal Hulu). *Jurnal Unika*, (February 2020).