

Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Ogan di Terusan, Sumatera Selatan

Gita Dwi Marsha¹, Joko Sujono^{1*}, Fatchan Nurrochmad¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: jsujono@ugm.ac.id

INTISARI

Beberapa tahun terakhir, wilayah hulu DAS Ogan mengalami peristiwa banjir yang berulang. Hal ini diduga disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan yang mengubah respons hidrologi DAS. Data penggunaan lahan tahun 2023 menunjukkan adanya perubahan di beberapa kategori penggunaan lahan dibandingkan dengan tahun 2000. Penelitian ini menganalisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap debit banjir di hulu DAS Ogan menggunakan pemodelan hidrologi dengan *outlet* di AWLR Terusan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan hujan kala ulang 10, 20, 50, serta 100 tahun. Parameter limpasan dihitung menggunakan metode SCS-CN, yang mempertimbangkan pengaruh jenis tanah dan penggunaan lahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai CN meningkat sebesar 10,44% hingga 12,81% di seluruh Sub-DAS, yang berkontribusi pada peningkatan debit puncak banjir. Debit puncak meningkat sebesar 45% pada kala ulang 10 tahun, 36% pada kala ulang 20 tahun, 27% pada kala ulang 50 tahun, dan 22% pada kala ulang 100 tahun. Tren ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan tahun 2000–2023 meningkatkan nilai CN dan berdampak pada naiknya debit puncak banjir. Pengaruhnya paling besar ada pada kala ulang rendah atau yang lebih sering terjadi, sedangkan pada kala ulang besar lebih dipengaruhi oleh intensitas hujan ekstrem. Oleh karena itu, diperlukan adanya upaya konservasi hutan dan lahan guna mereduksi debit banjir.

Kata kunci: Perubahan Penggunaan Lahan, Transformasi Hujan-Aliran, Banjir, HEC-HMS.

1 PENDAHULUAN

Peristiwa banjir merupakan kondisi tergenangnya suatu wilayah daratan yang ditandai dengan meningkatnya volume aliran air secara drastis pada kolam, danau, atau badan air lainnya yang umumnya dalam kondisi kering. Secara umum, fenomena ini dapat dipicu oleh kombinasi faktor seperti curah hujan yang tinggi, luapan air sungai, serta alih fungsi lahan (Janizadeh *et al.* 2021). Menurut Maryono (2020) penyebab banjir di Indonesia dipengaruhi lima faktor seperti curah hujan, sedimentasi sungai, faktor kesalahan saat perencanaan dan pembuatan alur sungai serta faktor kesalahan dalam tata wilayah.

Hulu DAS Ogan memiliki peran strategis dalam mengatur aliran air menuju wilayah tengah dan hilir Sungai Ogan. Namun, fenomena banjir di hulu DAS Ogan telah berulang kali terjadi dalam beberapa tahun terakhir. Misalnya, pada 6 Februari 2020, ratusan rumah warga yang ada di Desa Bandar Agung dan Gunung Meraksa direndam banjir dengan ketinggian air mencapai 100–250 cm (Permana, 2020). Selanjutnya, pada 16 Februari 2023, hujan lebat sejak sore hingga malam hari menyebabkan Sungai Ogan meluap dan menggenangi puluhan rumah di Kelurahan Baturaja Permai, Sekarjaya, dan Desa Air Paoh, dengan ketinggian air mencapai 30–60 cm (RMOL, 2023). Dua bulan kemudian, pada 22 April 2023, 153 rumah di wilayah Kecamatan Batu Raja Timur terendam (Rohaimi, 2023).

Banjir yang berulang ini diduga tidak hanya dipicu oleh curah hujan tinggi, tetapi juga oleh perubahan penggunaan lahan di wilayah hulu DAS Ogan. Pratiwi *et al.* (2021) mengungkapkan dalam beberapa tahun terakhir, wilayah ini mengalami perubahan penggunaan lahan yang signifikan, seperti berkurangnya tutupan hutan dan bertambahnya area terbangun. Padahal, Penggunaan lahan telah diatur oleh Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, selain itu, penataan penggunaan lahan juga diatur dalam Peraturan Daerah (Perda) Kabupaten Ogan Komering Ulu (OKU) Nomor 22 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten OKU Tahun 2012–2032. Meski demikian, perubahan penggunaan lahan sering kali tidak dapat dihindari karena pesatnya urbanisasi (Kusrini *et al.* 2017) dan pertumbuhan jumlah penduduk (M. Laka *et al.* 2017). Perubahan ini berpotensi mengubah respons hidrologi DAS, yang dapat terukur melalui peningkatan debit puncak pada stasiun pemantauan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) di Terusan, Kecamatan Baturaja Timur.

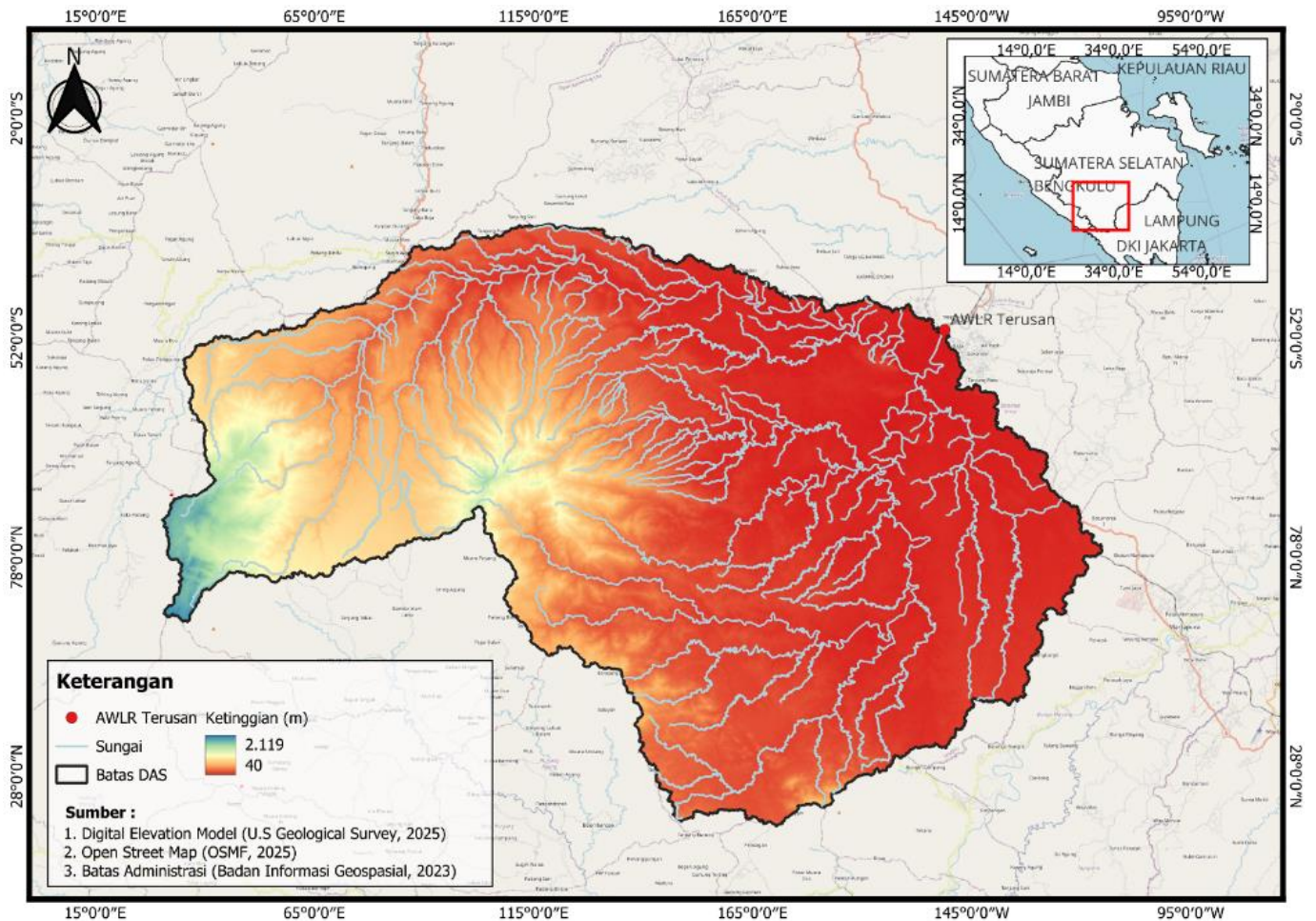
Meskipun banjir di DAS Ogan telah menjadi perhatian pemerintah daerah, penelitian yang mengaitkan perubahan penggunaan lahan dengan **respons** hidrologi khususnya di wilayah hulu masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap debit banjir di hulu DAS Ogan dengan *outlet* di AWLR Terusan. Analisis ini akan dilakukan menggunakan pemodelan hidrologi, sehingga mampu

menggambarkan perubahan **respons** hidrologi DAS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi perencanaan pengelolaan DAS yang lebih berkelanjutan dan strategi mitigasi banjir di wilayah OKU.

2 METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di DAS Ogan dengan *outlet* terletak di AWLR Terusan, luas keseluruhan wilayah mencapai 2090 km². Topografi DAS ini bersifat kombinasi antara daerah pegunungan dan dataran rendah. Bagian hulunya berada di wilayah Pegunungan Bukit Barisan dengan elevasi mencapai ± 2000 m di atas permukaan laut (mdpl). Kondisi ini menyebabkan aliran sungai di hulu cenderung lebih terjal dan deras. Setelah keluar dari daerah pegunungan, aliran Sungai Ogan memasuki wilayah dengan kemiringan lebih landai, termasuk zona dataran banjir (*floodplain*) di sekitar titik *outlet* Terusan. Lokasi wilayah ditunjukkan secara visual pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian DAS Ogan

2.2 Data yang digunakan

Data yang disajikan dalam sub bab ini digunakan sebagai dasar dalam proses analisis dan pemodelan penelitian.

1. Peta *Digital Elevation Model* (DEM) dengan dataset *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dengan resolusi 30M diambil melalui website *U.S Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov>).
2. Data curah hujan harian tahun 2013–2023 diperoleh dari tiga stasiun *Automatic Rainfall Recorder* (ARR), yaitu Muara Dua, Terusan, dan Pagar Alam, milik Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Sumatera VIII.
3. Data debit terukur harian dan tinggi muka air Stasiun AWLR Terusan tahun 2013–2023 dari BBWS Sumatera VIII.
4. Peta jenis tanah berdasarkan klasifikasi *Hydrologic Soil Group* (HSG) diambil melalui website *The Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center* (<https://daac.ornl.gov>).
5. Peta penggunaan lahan tahun 2000 dan 2023 dengan dataset *landsat* diambil melalui website *U.S Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

2.3 Delineasi DAS

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu kawasan yang berperan dalam menyimpan, menampung, serta mengalirkan air limpasan menuju danau atau laut secara alami. Batas-batas DAS ini dapat ditentukan oleh batas alam seperti punggung bukit, gunung, maupun batas batuan seperti tanggul atau jalan dimana air hujan turun dan mengalir ke titik kontrol (Suripin, 2004). QGIS merupakan perangkat lunak berbasis *Geographical Information System* (GIS) yang mampu mengidentifikasi batas-batas suatu DAS menggunakan data elevasi kontur atau *terrain* (Al Amin *et al.* 2020), proses ini disebut dengan delineasi DAS. Penelitian ini menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) dari dataset SRTM dengan resolusi spasial 30 meter sebagai dasar untuk delineasi DAS. Proses delineasi DAS menghasilkan beberapa parameter yang nantinya dapat digunakan dalam simulasi HEC-HMS, contohnya luas tiap sub-DAS, panjang sungai, kemiringan tiap sub-DAS, panjang sungai utama, kemiringan sungai, dan kerapatan jaringan kuras. Tabel 1 menunjukkan tahapan delineasi DAS menggunakan QGIS.

Tabel 1. Tahapan delineasi DAS (Amiruddin *et al.* 2021)

Tahap Penelitian	Metode	Tujuan dan Hasil
<i>Fill sinks</i> menggunakan data DEM yang diunduh	Wang and Liu	Raster <i>fileddem</i> dan <i>flowdir</i>
Penentuan orde Sungai menggunakan raster <i>fileddem</i>	<i>Strahler order</i>	Raster jaringan sungai
Identifikasi arah aliran sungai	<i>Raster calculator</i>	Raster jaringan sungai dengan arah aliran
Identifikasi komponen hidrologi	<i>Upslope area</i>	Koordinat titik <i>outlet</i> isetiap sub DAS
Finalisasi dengan mengkonversi raster <i>stream.tif</i> dan <i>upslope.tif</i>	<i>Raster conversion</i>	<i>Polygon upslope</i>

2.4 Transformasi Hujan-Aliran

2.4.1 Hujan

Variasi intensitas hujan antar stasiun menyebabkan diperlukannya estimasi curah hujan rata-rata wilayah yang representatif menggunakan data curah hujan harian dari beberapa stasiun yang tersebar di wilayah studi (Cho *et al.* 2017). Penentuan metode perhitungan curah hujan didasari pada beberapa komponen seperti luas DAS, jaringan stasiun, dan topografi. Salah satu metode yang sering digunakan adalah Metode *Polygon Thiessen*, prinsip metode Thiessen adalah menghitung bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luas sekitarnya. Persamaan hujan rerata dengan metode *Thiessen* adalah sebagai berikut (Chow *et al.* 1988).

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^J A_j P_j \quad (1)$$

dimana $\bar{P}$ adalah hujan rerata kawasan; P_j adalah hujan di stasiun j ; A_j adalah luas daerah yang mewakili stasiun j .

Hujan rencana merupakan besaran curah hujan yang diprediksi terjadi dalam suatu periode tertentu. Hujan rencana ditentukan berdasarkan analisis statistik data hujan historis dengan pendekatan distribusi frekuensi. Persamaan 2 menunjukkan rumus prediksi nilai hujan rancangan (Triatmodjo, 2008).

$$X_t = \bar{x} + k \times s \quad (2)$$

dimana X_t adalah perkiraan nilai x yang diharapkan terjadi dengan periode t tahun; $\bar{x}$ adalah nilai rata-rata data; s adalah standar deviasi; k adalah faktor frekuensi sesuai jenis distribusi.

Hujan rencana berdasarkan kala ulang perlu didistribusikan menjadi data hujan jam-jaman untuk memperkirakan persentase curah hujan yang terjadi pada setiap jam. Distribusi ini diperlukan agar data hujan dapat digunakan sebagai *input* meteorologi dalam model DAS. Distribusi hujan jam-jaman diperoleh dengan mengalikan nilai distribusi curah hujan 24 jam pada Tabel 8.2 (Balai Teknik Bendungan, 2022) dengan curah hujan rencana.

2.4.2 Volume Limpasan

Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) dapat menggambarkan pengaruh penggunaan lahan terhadap limpasan dengan nilai *curve number* (CN). Namun, terdapat faktor lain yang berpengaruh yaitu kelompok tanah hidrologi (Cronshey *et al.* 1986). Nilai CN menggambarkan kemampuan lahan meresapkan air, dengan nilai lebih tinggi menunjukkan potensi limpasan yang lebih besar. Selanjutnya, nilai CN untuk setiap kombinasi jenis tanah dan penggunaan lahan diperoleh dari tabel (Chow *et al.* 1988). Perhitungan nilai CN komposit untuk seluruh jenis tutupan lahan pada setiap sub-DAS ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$CN_{komposit} = \frac{CN_1 L_1 + CN_2 L_2 + \dots + CN_n L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \quad (3)$$

dimana $CN_{komposit}$ adalah koefisien pengaliran gabungan; $CN_1 + CN_2 + \dots + CN_n$ adalah koefisien pengaliran untuk penggunaan lahan; dan $L_1 + L_2 + \dots + L_n$ adalah luas jenis penggunaan lahan.

2.4.3 Limpasan Langsung

Metode yang digunakan dalam perhitungan limpasan langsung adalah *SCS Unit Hydrograph* (SCS-UH). SCS-UH digunakan karena kemampuannya untuk menggambarkan hubungan antara curah hujan yang jatuh di suatu DAS dengan **respons** aliran yang terjadi dalam bentuk kurva hidrograf. Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik terjauh di suatu DAS hingga mencapai outlet DAS tersebut, perhitungan waktu konsentrasi menggunakan persamaan *Kirpich* (Biantoro *et al.* 2022).

$$t_c = \frac{0.06628L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (4)$$

dimana L adalah panjang sungai utama (m) dan S adalah kemiringan aliran.

Waktu tunda (*time lag*) adalah selang waktu antara terjadinya puncak hujan dan debit puncak, secara empiris dinyatakan bahwa *time lag* berkisar 60% dari waktu konsentrasi (Chow *et al.* 1988). Persamaan yang digunakan dalam pembentukan HSS SCS ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$t_p = 0.6t_c \quad (5)$$

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (6)$$

$$t_b = 2.67T_p \quad (7)$$

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad (8)$$

dimana t_p adalah waktu tunda; t_c adalah waktu konsentrasi, T_p adalah waktu puncak; t_b adalah waktu dasar; A adalah luas tiap sub-DAS; dan Q_p adalah debit puncak.

2.4.4 Aliran Dasar (*Baseflow*)

Baseflow merupakan bagian dari debit sungai yang berasal dari air tanah dan cadangan air di bawah permukaan dan tetap mengalir meski tidak terjadi hujan (Luan *et al.* 2020). Perhitungan **baseflow** dilakukan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh (Harto, 1993). Adapun rumus untuk menghitung aliran dasar adalah sebagai berikut.

$$Q_B = 0,4751 A^{0,6444} D^{0,9430} \quad (9)$$

dimana Q_B adalah aliran dasar (m^3/s); A adalah luas DAS (km^2); dan D adalah kerapatan jaringan kuras (km/km^2).

2.5 Kalibrasi dan Validasi Parameter Model

Kalibrasi bertujuan untuk menyesuaikan parameter model agar hasil simulasi sesuai dengan data observasi, sementara optimasi dilakukan untuk menemukan nilai parameter optimal yang menghasilkan kinerja terbaik pada model. Validasi, di sisi lain, bertujuan untuk menilai konsistensi dan keandalan parameter model dalam merepresentasikan **respons** hidrologi pada berbagai kondisi curah hujan. Validasi dilakukan dengan menggunakan input curah hujan dari tanggal yang berbeda dengan saat proses kalibrasi, sehingga model dapat diuji kemampuannya dalam memprediksi hasil di luar rentang data yang digunakan saat kalibrasi. Penelitian ini menggunakan data curah hujan periode 22 Maret–7 April 2023 untuk proses kalibrasi, sedangkan validasi menggunakan data curah hujan periode 20–31 Juli 2023. Data observasi diperoleh melalui persamaan lengkung debit (*rating curve*), yang merupakan hubungan antara debit harian rata-rata dengan tinggi muka air terukur.

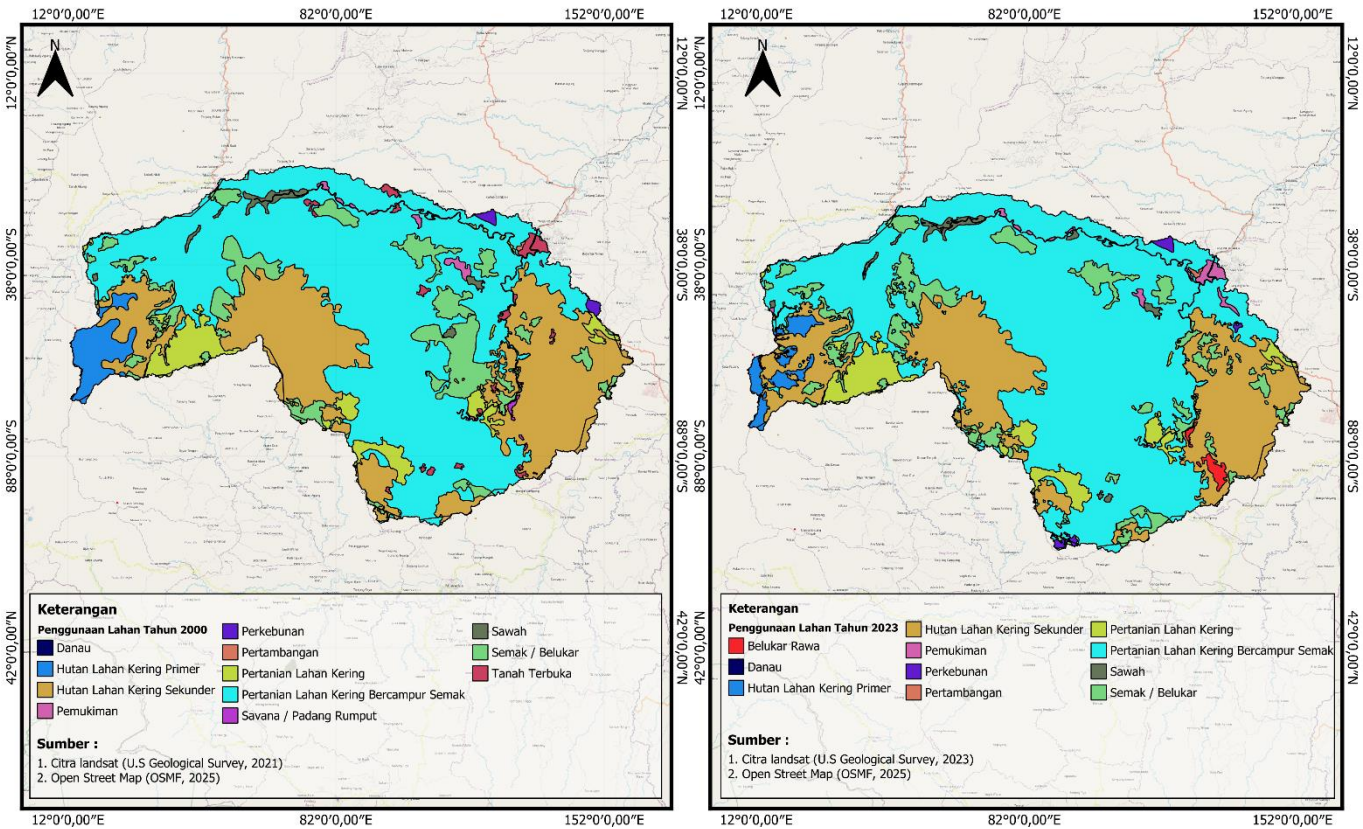
Keberhasilan kalibrasi HEC-HMS dapat dinilai dengan mengevaluasi model terhadap data observasi menggunakan perhitungan statistik. Statistik tersebut mencakup *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*, *Root Mean Square Error to Standard Deviation Ratio (RSR)*, dan *Percent Bias (PBIAS)* (Tefera, 2017). Berikut standar penilaian keberhasilan dalam kalibrasi model HEC-HMS.

Tabel 2. Klasifikasi nilai uji stastistik NSE, RSR, and Percent Bias (Feldman, 2000)

Nilai	NSE	RSR	PBIAS
Very Good	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$0.00 < RSR \leq 0.50$	$ PBIAS < \pm 10$
Good	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$\pm 10 < \pm PBIAS < \pm 15$
Satisfactory	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$\pm 15 < \pm PBIAS < \pm 25$
Unsatisfactory	$NSE \leq 0.65$	$RSR > 0.70$	$ PBIAS < \pm 25$

2.6 Skenario Perubahan Tutupan Lahan

Penggunaan lahan pada suatu wilayah bersifat tidak permanen, hal ini dapat diakibatkan oleh berkembangnya kebutuhan manusia akan suatu lahan. Data tutupan lahan diperoleh dari Citra *Landsat* tahun 2000 dan 2023 yang didigitasi menggunakan perangkat lunak QGIS kemudian di klasifikasikan sesuai klasifikasi tutupan lahan pada (SNI 7645:2010). Perubahan penggunaan lahan di DAS Ogan dari tahun 2000 ke 2023 yang ditampilkan dalam Gambar 2 menunjukkan perubahan yang cukup beragam dalam berbagai klasifikasi. Hutan lahan kering primer menurun dari 55.49 km² menjadi 33.64 km² atau berkurang 39.4%, dan hutan lahan kering sekunder turun dari 592.78 km² menjadi 492.57 km² (-16.9%). Semak/belukar menyusut dari 208.49 km² menjadi 168.60 km² (-19.1%), tanah terbuka berkurang dari 20.22 km² menjadi 11.72 km² (-42%), serta savana/padang rumput hilang dari 1.81 km² menjadi 0 km² (-100%). Sebaliknya, pertanian lahan kering bercampur semak meningkat dari 1078.52 km² menjadi 1216 km² (+12.7%) dan permukiman melonjak dari 8.56 km² menjadi 25.14 km² (+193.9%). Pertambangan juga bertambah dari 0.68 km² menjadi 11.67 km² (+1608.9%), serta muncul kategori belukar rawa sebesar 8.67 km². Sementara itu, sawah relatif stabil yaitu dari 15.84 km² menjadi 15.38 km² (-2.9%) dan pertanian lahan kering tetap hampir sama dari 98.46 km² menjadi 98.68 km² (+0.2%).



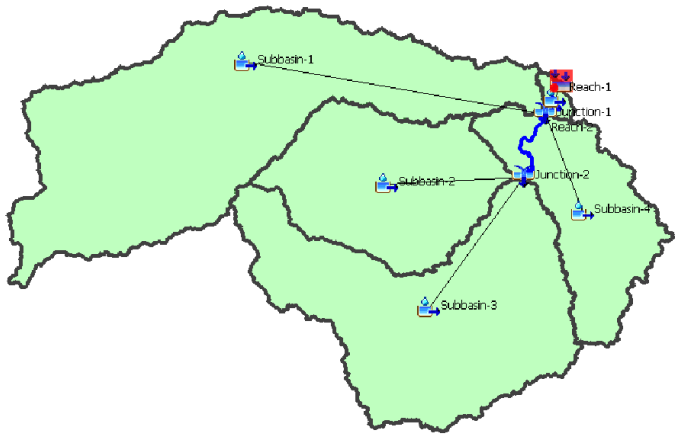
Gambar 2. Perubahan Tutupan Lahan DAS Ogan di Terusan

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil delineasi membagi DAS Ogan menjadi 5 sub-DAS, Tabel 3 menunjukkan karakteristik setiap sub-DAS. Hasil delineasi DAS kemudian dimodelkan ke dalam HEC-HMS sebagai *basin model*. Keterkaitan antar sub-DAS direpresentasikan melalui elemen hidrologi *junction* dan *reach*. *Junction* digunakan untuk menggabungkan aliran dari elemen hulunya, sedangkan *reach* merupakan penggal sungai yang digunakan untuk menghubungkan elemen *junction*. Gambar 3 menunjukkan basin model dan elemen hidrologi DAS Ogan yang dibentuk di HEC-HMS.

Tabel 3. Karakteristik sub-DAS

Sub-DAS	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
Luas, A (km ²)	838.89	362.86	607.69	267.1	13.935
Panjang Sungai Utama, L (km)	103.13	49.61	67.01	37.73	7.72
Kemiringan, S (m/m)	0.23	0.20	0.19	0.08	0.07
Kerapatan Jaringan Kuras, D (km/km ²)	0.08	0.01	0.04	0.05	0.51

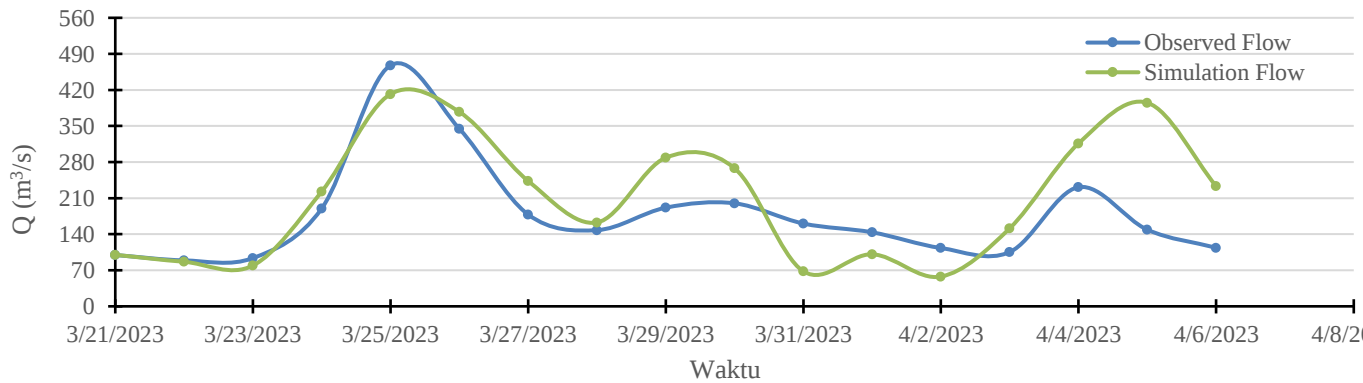


Gambar 3. Basin model DAS Ogan

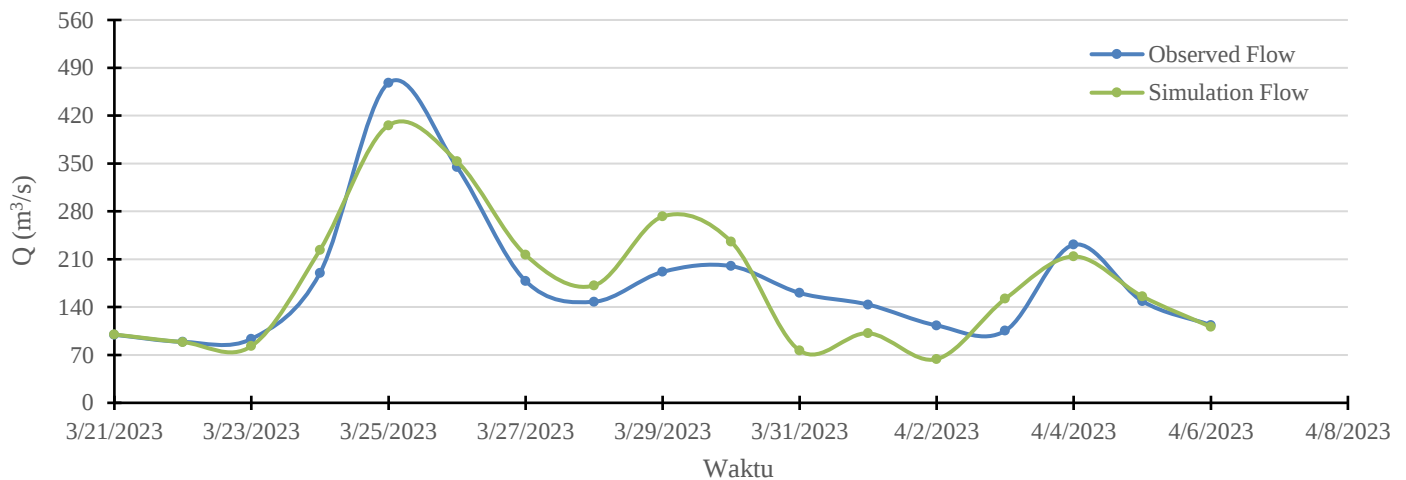
Kalibrasi model dilakukan dengan memasukkan data hujan kawasan yang diperoleh dari Stasiun Muara Dua, Terusan, dan Pagar Alam pada periode 22 Maret hingga 7 April 2023. Perbandingan hidrograf observasi dan simulasi untuk parameter awal ditunjukkan dalam Gambar 4, dari uji statistik diperoleh nilai RSR sebesar 0.9 (kategori *unsatisfactory*), *Percent Bias* sebesar 18.02% (kategori *satisfactory*), dan NSE sebesar 0.206 (kategori *unsatisfactory*). Uji statistik menunjukkan bahwa parameter model belum sepenuhnya dapat merepresentasikan model DAS aslinya, sehingga parameter model perlu dikalibrasi. Tabel 4 menunjukkan nilai parameter awal (kolom 1) dan parameter terkalibrasi (kolom 2). Hidrograf perbandingan observasi dan simulasi untuk parameter yang sudah dikalibrasi disajikan dalam Gambar 5, diperoleh nilai RSR sebesar 0.5 (kategori *very good*), *Percent Bias* sebesar 2.18% (kategori *very good*), dan NSE sebesar 0.791 (kategori *very good*).

Tabel 4. Parameter model

Elemen Hidrologi	S-1		S-2		S-3		S-4		S-5	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
CN	80.12	80.12	80.06	80.06	80.15	80.15	80.32	80.32	84.58	84.58
Lag time (min)	248.41	809.08	149.53	3471.50	193.13	399.13	173.62	165.85	54.16	91.49
initial discharge	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Recession constant	0.8	0.82	0.8	0.79	0.8	0.69	0.8	0.9	0.8	0.9
Threshold flow	20	35	20	35	20	35	20	35	20	35

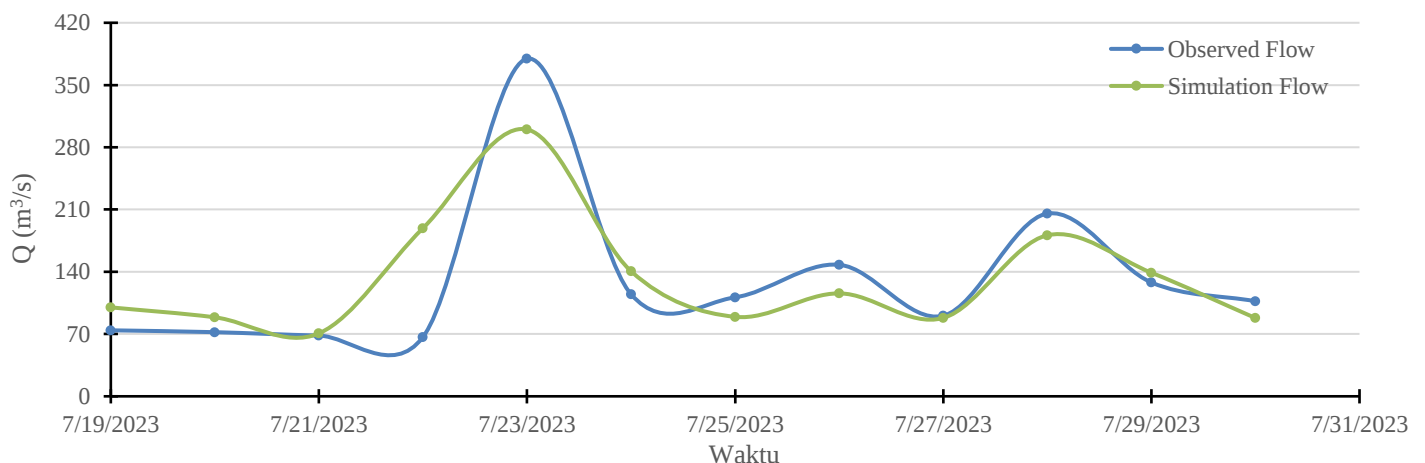


Gambar 4. Hidrograf dengan parameter awal



Gambar 5. Hidrograf dengan parameter kalibrasi

Verifikasi parameter model dilakukan dengan mengubah data curah hujan kawasan ke tanggal yang berbeda yaitu 20-31 Juli 2023 dan tidak mengubah parameter model lainnya untuk memastikan bahwa hasil kalibrasi tidak bergantung pada satu kejadian hujan tertentu. Gambar 5 menunjukkan hasil kalibrasi parameter hidrologi. Proses verifikasi memperoleh nilai RSR sebesar **0.5** (kategori *very good*), **Percent Bias** sebesar **1.58%** (kategori *very good*), dan NSE sebesar **0.701** (kategori *good*). Hal ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk menghitung debit banjir yang berpotensi terjadi akibat perubahan penggunaan lahan.



Gambar 6. Hidrograf hasil validasi parameter

Pengalihragaman hujan-aliran untuk mengetahui dampak perubahan penggunaan lahan antara tahun 2000 dan 2023 dilakukan dengan mengganti data hujan kawasan pada proses kalibrasi dan verifikasi menjadi hujan rencana yang telah didistribusikan ke dalam interval jam-jaman. Hujan rencana dihitung menggunakan analisis frekuensi dengan metode pemilihan data *partial series*. Berdasarkan Persamaan 2 diperoleh hujan rencana pada S-1 untuk kala ulang 10, 20, 50, dan 100 tahun masing-masing sebesar 79, 115, 179, dan 243 mm. Pada S-2 sebesar 126, 138, 156, dan 172 mm; S-3 sebesar 94, 112, 136, dan 153 mm; S-4 sebesar 125, 141, 158, dan 170 mm; serta S-5 sebesar 142, 162, 187, dan 206 mm. Hujan rencana kemudian didistribusikan menggunakan metode PSA 007 ke dalam durasi 6 jam. Pemilihan durasi 6 jam didasarkan analisis durasi hujan dominan menggunakan data hujan satelit dikarenakan tidak tersedianya data hujan terukur dalam durasi jam-jaman. Tabel 5 – Tabel 9 menunjukkan hujan rencana distribusi kumulatif untuk setiap kala ulang.

Tabel 5. Distribusi hujan rencana kumulatif (mm) sub DAS S-1

Jam Ke-	Kala Ulang			
	10	20	50	100
1	53.7	77.9	116.4	155.5
2	63.2	91.5	139.6	187.9
3	69.5	101.2	157.5	213.8
4	72.7	105.8	164.7	223.6
5	75.8	110.4	171.8	233.3
6	79.0	115.0	179.0	243.0

Tabel 6. Distribusi hujan rencana kumulatif (mm) sub DAS S-2

Jam Ke-	Kala Ulang			
	10	20	50	100
1	85.7	93.5	101.4	110.1
2	100.8	109.8	121.7	133.0
3	110.9	121.4	137.3	151.4
4	115.9	127.0	143.5	158.2
5	121.0	132.5	149.8	165.1
6	126.0	138.0	156.0	172.0

Tabel 7. Distribusi hujan rencana kumulatif (mm) sub DAS S-3

Jam Ke-	Kala Ulang			
	10	20	50	100
1	63.9	75.9	88.4	97.9
2	75.2	89.1	106.1	118.3
3	82.7	98.6	119.7	134.6
4	86.5	103.0	125.1	140.8
5	90.2	107.5	130.6	146.9
6	94.0	112.0	136.0	153.0

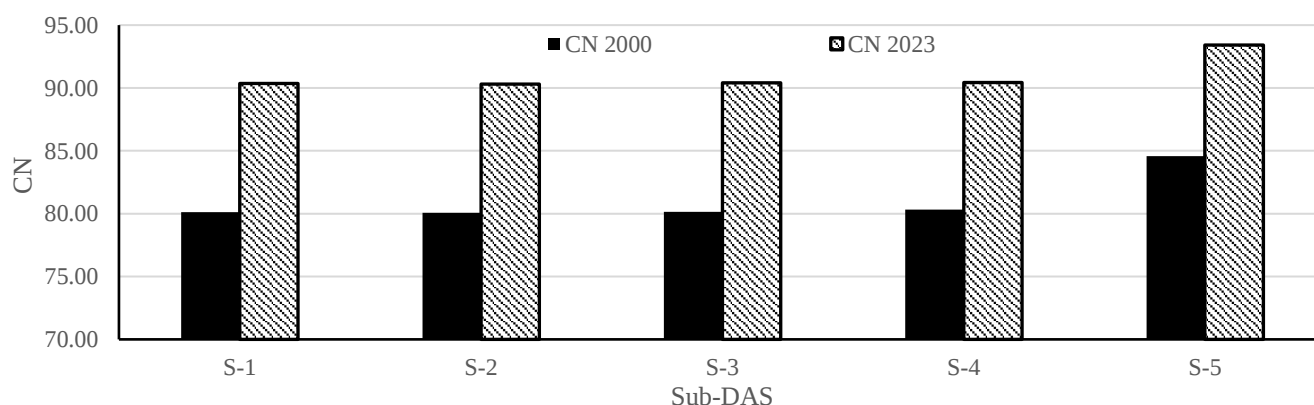
Tabel 8. Distribusi hujan rencana kumulatif (mm) sub DAS S-4

Jam Ke-	Kala Ulang			
	10	20	50	100
1	85.0	95.6	102.7	108.8
2	100.0	112.2	123.2	131.5
3	110.0	124.1	139.0	149.6
4	115.0	129.7	145.4	156.4
5	120.0	135.4	151.7	163.2
6	125.0	141.0	158.0	170.0

Tabel 9. Distribusi hujan rencana kumulatif (mm) sub DAS S-5

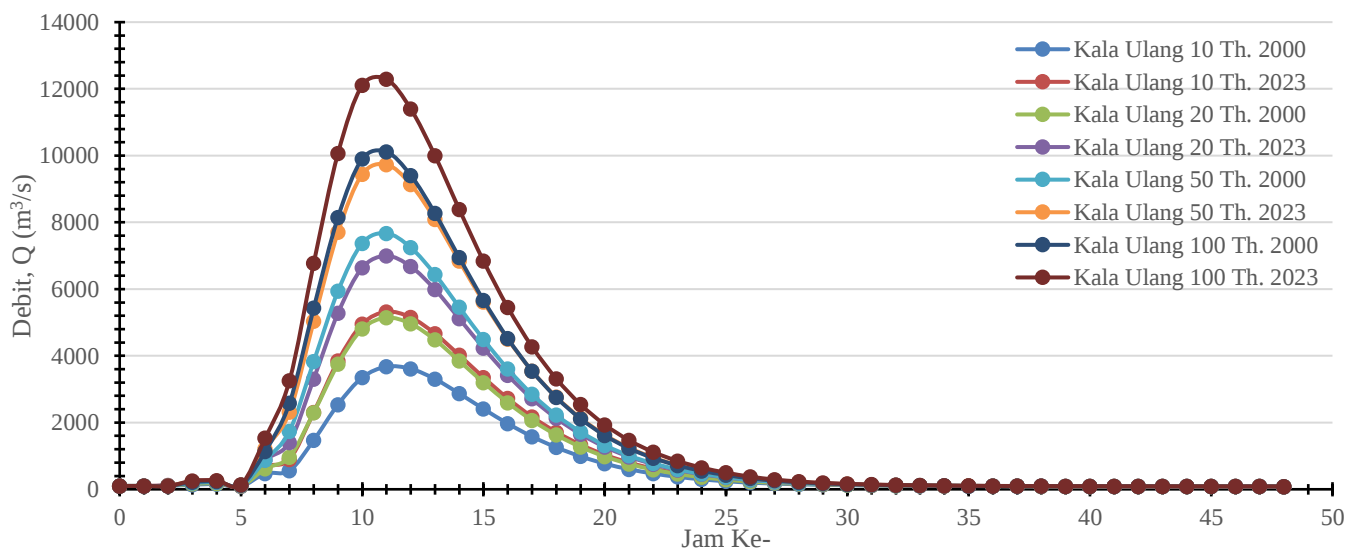
Jam Ke-	Hujan Kala Ulang (mm)			
	10	20	50	100
1	96.6	109.8	121.6	131.8
2	113.6	128.9	145.9	159.3
3	125.0	142.6	164.6	181.3
4	130.6	149.0	172.0	189.5
5	136.3	155.5	179.5	197.8
6	142.0	162.0	187.0	206.0

Transformasi hujan-aliran kemudian dilanjutkan dengan menyesuaikan nilai CN dan tidak mengubah parameter model yang telah terverifikasi. Perubahan penggunaan lahan tahun 2000 dan tahun 2023 menunjukkan peningkatan CN secara signifikan pada masing-masing Sub-DAS seperti yang tersaji pada Gambar 7. Perubahan nilai *curve number*. Sub-DAS S-1 sampai Sub-DAS 4 mengalami peningkatan CN berturut-turut sebesar 12.78%, 12.79%, 12.81%, 12.60% dan Sub-DAS S-5 mengalami kenaikan paling kecil sebesar 10.44%. Kenaikan ini menggambarkan berkurangnya kemampuan infiltrasi lahan sehingga volume limpasan permukaan meningkat.

Gambar 7. Perubahan nilai *curve number*

Perbandingan hidrograf banjir antara tahun 2000 dan 2023 untuk setiap kala ulang yang tersaji dalam Gambar 8, menunjukkan adanya peningkatan debit puncak pada seluruh kala ulang. Peningkatan ini berkorelasi langsung dengan perubahan nilai CN yang mengalami kenaikan signifikan di setiap Sub-DAS. Pada hidrograf banjir kala ulang 10 tahun, debit puncak meningkat dari 3,673.20 m³/s pada tahun 2000 menjadi 5,317.70 m³/s pada tahun 2023, atau naik sebesar 45%. Pada kala ulang 20 tahun, kenaikan debit puncak mencapai 36%, yaitu dari 5,141.30 m³/s menjadi 6,992.00 m³/s. Selanjutnya, pada kala ulang 50 tahun, debit puncak meningkat 27% dari 7,670.70 m³/s menjadi 9,732.00 m³/s, sedangkan pada kala ulang 100 tahun kenaikannya relatif lebih kecil, yaitu 22% dari 10,112.00 m³/s menjadi 12,291.00 m³/s. Penelitian Miralti *et al.* (2020) di DAS Ogan menggunakan metode HSS Gamma 1 juga menunjukkan adanya peningkatan puncak banjir akibat perubahan hutan menjadi pemukiman dari 768.95 m³/s di tahun 2016 menjadi 770.58 m³/s di tahun 2017 dan 771.97 m³/s di tahun 2018.

Berbeda dengan penelitian Miralti *et al.* (2020) yang menunjukkan bahwa perubahan debit puncak untuk setiap kala ulang relatif sama, pada penelitian ini, persentase perubahan debit puncak mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya nilai kala ulang. Pada kala ulang kecil seperti 10–20 tahun, perubahan nilai CN berdampak cukup besar terhadap peningkatan debit puncak. Sedangkan, pada kala ulang besar seperti 50–100 tahun. Intensitas hujan yang tinggi telah melampaui kapasitas infiltrasi tanah, baik pada kondisi lahan tahun 2000 maupun tahun 2023. Akibatnya, hampir seluruh curah hujan menjadi limpasan, sehingga perbedaan nilai CN hanya menambah pengaruh yang relatif kecil dibandingkan dengan besaran hujan yang ada. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Asadi *et al.* (2024) yang menemukan bahwa perubahan lahan di SAS Kal-e Shur meningkatkan debit puncak hingga 68%, dengan dampak kenaikan debit penurunan pada kala ulang lebih besar. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh rentang waktu perubahan penggunaan lahan yang digunakan dalam penelitian Miralti *et al.* (2020) dalam interval pendek (2016–2018), di mana perubahan penggunaan lahan belum signifikan, sehingga kenaikan debit tampak seragam di semua kala ulang.



Gambar 8. Perbandingan hidrograf banjir kala ulang 10 tahun

4 KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis hidrograf menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai CN sebesar 12.78%, 12.79%, 12.81%, 12.60%, dan 10.44% berturut-turut untuk sub DAS S-1 sampai S-5 dari tahun 2000 ke tahun 2023, menyebabkan peningkatan debit puncak banjir pada berbagai kala ulang. Debit puncak mengalami peningkatan sebesar 45% pada kala ulang 10 tahun, 36% pada 20 tahun, 27% pada 50 tahun, dan 22% pada 100 tahun. Hal ini menunjukkan, kontribusi perubahan penggunaan lahan terhadap peningkatan debit puncak lebih dominan pada kala ulang rendah dibandingkan pada kala ulang besar. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi tutupan lahan berimplikasi langsung terhadap peningkatan potensi banjir, khususnya pada kejadian dengan periode ulang yang lebih sering terjadi, sehingga direkomendasikan adanya upaya konservasi hutan dan lahan guna mereduksi debit banjir.

REFERENSI

- Al Amin, M.B., Toyfur, M.F., Fransiska, W., dan Marlina, A., 2020. Delineasi DAS dan Elemen Model Hidrologi Menggunakan HEC-HMS Versi 4.4. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 9 (1), 33–38.
- Amiruddin, A., Asta, A., dan Handayani, R., 2021. Penentuan Batas DAS Tojo Berbasis GIS Menggunakan Perangkat HEC HMS 4.4 dan QGIS 3.16. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 5 (3), 273–282.
- Asadi, M.Z., Mokhtari, L.G., Zandi, R., dan Naemitabar, M., 2024. Evaluating the effect of the land use change on discharge and flood intensity (case study: sub-basins of Kal-e Shur Sabzevar river basin, Iran). *Sustainable Water Resources Management*, 10 (6), 1–28.
- Balai Teknik Bendungan, 2022. *Modul 1 Analisis Curah Hujan: Bimbingan Teknis Analisis Debit Banjir Desain dengan Menggunakan Data Hujan Satelit*.
- Biantoro, A.W., Wahyudi, S.I., Faiqun, M., dan Mahardika, A.G., 2022. Time of Concentration Estimated Using Some Methods and Application in The Ciliwung Watershed, Jakarta. *International Journal of Advanced Research in Engineering Innovation*, 4 (2), 17–25.
- Cho, W., Lee, J., Park, J., dan Kim, D., 2017. Radar polygon method: an areal rainfall estimation based on radar rainfall imageries. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31 (1), 275–289.
- Chow, V. Te, Maidment, D.R., dan Mays, L.W., 1988. *Development of Hydrology*. Applied Hydrology.
- Cronshey, R., McCuen, D.R.H., Miller, N., Rawls, D.W., Robbins, S., dan Woodward, D., 1986. Urban Hydrology for Small. *Soil Conservation*, (Technical Release 55 (TR-55)), 164.
- Feldman, A.D., 2000. Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, (March), 148.
- Harto, S., 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama.
- Janizadeh, S., Chandra Pal, S., Saha, A., Chowdhuri, I., Ahmadi, K., Mirzaei, S., Mosavi, A.H., dan Tiefenbacher, J.P., 2021. Mapping the spatial and temporal variability of flood hazard affected by climate and land-use changes in the future. *Journal of Environmental Management*, 298 (July), 113551.
- Kusrini, Suharyadi, dan Hardoyo, S.R., 2017. Perubahan Penggunaan Lahan dan Faktor yang Mempengaruhinya di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Flexionsmorphologie*, 25 (1), 433–470.
- Luan, J., Zhang, Y., Tian, J., Meresa, H., dan Liu, D., 2020. Coal mining impacts on catchment runoff. *Journal of Hydrology*, 589.
- M. Laka, B., Sideng, U., dan -, A., 2017. Perubahan Penggunaan Lahan Di Kecamatan Sirimau Kota Ambon. *Jurnal Geoelebes*, 1 (2), 43.
- Maryono, A., 2020. *Menangani Banjir, Kekeringan dan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press.
- Miralti, A., Saggaff, A., dan Sarino, 2020. The effects of the watershed characteristics on ogan river flood discharge. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9 (2), 4164–4167.
- Permana, E., 2020. Ratusan Rumah di OKU Terendam Banjir.
- Pratiwi, U.H., brahim, E., dan Saleh, E., 2021. Land Use-Land Cover Changed Analysis in Ogan Watershed, South Sumatra During 2014-2019 Period. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 5 (2).
- RMOL, 2023. Kota Baturaja Dikepung Banjir, Puluhan Rumah Warga Terendam.
- Rohaimi, 2023. Suasana Lebaran Ratusan Rumah Warga Kota Baturaja Sumsel Dikepung Banjir Artikel ini sudah tayang di tvonenews.com pada hari Minggu, 23 April 2023 - 10:21 WIB Judul Artikel : Suasana Lebaran Ratusan Rumah Warga Kota Baturaja Sumsel Dikepung Banjir.
- SNI 7645:2010, 2010. SNI 7645:2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan. *Sni 7645:2010*.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset.
- Tefera, A.H., 2017. Application of Water Balance Model Simulation for Water Resource Assessment in Upper Blue Nile of North Ethiopia Using HEC-HMS by GIS and Remote Sensing: Case of Beles River Basin. *International Journal of Hydrology*, 1 (7), 222–227.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.