

# ANALISIS DEBIT LINGKUNGAN DI DAS CISOKAN DENGAN METODE TENNANT DAN FLOW DURATION CURVE

Siti Ivanka Nur Fadiya<sup>1\*</sup>, Dwi Rustam Kendarto<sup>1</sup>, Yogina Lestari Ayu Situmorang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

[\\*ivankaboing@gmail.com](mailto:ivankaboing@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini melakukan evaluasi terhadap kebutuhan debit lingkungan (Environmental Flow) pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisokan, Jawa Barat, dengan fokus utama pada pemeliharaan keseimbangan ekosistemnya di tengah kompleksitas dinamika hidrologi dan meningkatnya tekanan antropogenik. Menggunakan serangkaian data debit harian yang ekstensif dari tahun 2005 hingga 2024, studi ini secara cermat menerapkan dua pendekatan hidrologis: Metode Tennant dan Flow Duration Curve (FDC), untuk mengestimasi besaran aliran yang direkomendasikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa DAS Cisokan memperlihatkan fluktuasi debit yang sangat ekstrem, terilustrasi oleh kurva FDC yang curam pada kedua ekstremnya, dengan puncak debit yang mencapai 892.24 m<sup>3</sup>/s dan kondisi aliran rendah yang signifikan. Dalam perbandingan antar metode, Metode Tennant mengusulkan debit minimum 2.53 m<sup>3</sup>/s (berdasarkan 10% MAF), sementara FDC secara lebih detail mengidentifikasi nilai Q95% sebesar 1.02 m<sup>3</sup>/s. Nilai Q95% ini, yang terbukti lebih rendah dan konservatif, secara fundamental berfungsi sebagai 'aliran kelangsungan hidup' yang esensial sesuai mandat Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2011. Lebih lanjut, telaah komparatif dengan studi di DAS lain menguatkan bahwa penentuan debit lingkungan merupakan proses yang sangat kontekstual dan unik di setiap lokasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti skala DAS, karakteristik iklim muson, tingkat pencemaran air (yang dapat memicu kebutuhan flushing flow), dan tujuan pengelolaan sumber daya air. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan bahwa penetapan nilai Q95% sebesar 1.02 m<sup>3</sup>/s bukan hanya prasyarat mendasar untuk menjaga integritas ekologis DAS Cisokan, tetapi juga menyediakan landasan ilmiah yang kokoh bagi perumusan kebijakan pengelolaan air yang adaptif dan berkelanjutan di masa mendatang.

Kata kunci : Debit Lingkungan; DAS Cisokan; Metode Tennant; Flow Duration Curve (FDC); Pengelolaan Sumber Daya Air; Q95%

## ABSTRACT

*This study evaluates the environmental flow requirements in the Cisokan River Basin (DAS Cisokan), West Java, focusing on the maintenance of its ecosystem balance amidst complex hydrological dynamics and escalating anthropogenic pressures. Employing an extensive dataset of daily discharge from 2005 to 2024, this research meticulously applied two hydrological approaches: the Tennant Method and the Flow Duration Curve (FDC), to estimate the recommended flow magnitudes. Analysis results indicate that the Cisokan River Basin exhibits highly extreme discharge fluctuations, as illustrated by a steep FDC at both extremes, with peak flows reaching 892.24 m<sup>3</sup>/s and significant low-flow conditions. In method comparison, the Tennant Method proposed a minimum discharge of 2.53 m<sup>3</sup>/s (based on 10% MAF), while the FDC, with greater detail, identified a Q95% value of 1.02 m<sup>3</sup>/s. This Q95% value, proven to be lower and more conservative, fundamentally serves as an essential 'survival flow' as mandated by Government Regulation No. 38 of 2011. Furthermore, comparative analysis with studies in other river basins reinforces that environmental flow determination is a highly contextual and unique process for each location, influenced by factors such as basin scale, monsoon climate, water pollution levels (which may necessitate flushing flows), and water resource management objectives. Consequently, this study asserts that establishing a Q95% value of 1.02 m<sup>3</sup>/s is not only a fundamental prerequisite for preserving the ecological integrity of the Cisokan River Basin but also provides a robust scientific foundation for developing adaptive and sustainable water management policies in the future.*

*Key words: Environmental Flow; Cisokan River Basin; Tennant Method; Flow Duration Curve (FDC) Water Resource Management; Q95%*

## PENDAHULUAN

Air merupakan senyawa vital yang melimpah di bumi, menutupi lebih dari 70% permukaan bumi, dan esensial bagi kehidupan serta berbagai sektor seperti pertanian, industri, dan pembangkit listrik. Keterbatasan air dapat mengganggu kelangsungan hidup, sehingga upaya menjaga kelestarian sumber daya air, termasuk ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS), menjadi krusial. DAS adalah bentang alam yang dibatasi topografi pemisah aliran, berfungsi menampung dan mengalirkan air hujan ke danau atau laut. Sebagai sistem hidrologis yang kompleks, DAS menyediakan layanan ekosistem vital seperti penyediaan air bersih, pengelolaan siklus air, pelestarian keanekaragaman hayati, serta mendukung aktivitas sosial dan ekonomi. DAS Cisokan, bagian dari DAS Citarum yang mengalami pertumbuhan penduduk pesat, menjadi fokus penelitian ini. Terletak di koordinat  $106,99^{\circ}$  -  $107,41^{\circ}$  BT dan  $6,73^{\circ}$  -  $7,12^{\circ}$  LS, dengan luas  $\pm 74.563$  Ha, Sungai Cisokan vital untuk irigasi, kebutuhan domestik, dan industri. Peningkatan populasi di Jawa Barat dan sekitar DAS Cisokan menyebabkan peningkatan kebutuhan air, memberikan tekanan pada stabilitas DAS, dan berpotensi meningkatkan limbah rumah tangga maupun industri. Urbanisasi dan perubahan lahan juga mereduksi kemampuan DAS dalam menyimpan dan mengatur debit air, mengganggu kestabilan ekosistem.

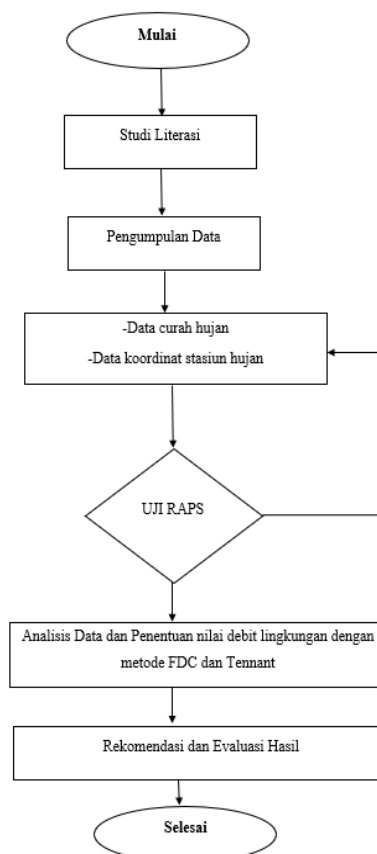
DAS Cisokan rentan terhadap perubahan lingkungan, seperti kekritisian lahan dan kekeringan, yang signifikan memengaruhi debit air. Kekritisian lahan mengurangi infiltrasi air, menyebabkan peningkatan debit saat musim hujan dan penurunan saat kemarau, serta memicu erosi dan pendangkalan sungai. Kekeringan, sebagai fenomena ekstrem minimnya air, diperparah oleh faktor meteorologi, hidrologi, penggunaan lahan, dan aktivitas manusia. Sub DAS Cisokan mengalami krisis air saat puncak musim kemarau (Juni-November), dengan debit terendah mencapai  $0,83$  m<sup>3</sup>/s, mengganggu kebutuhan irigasi dan domestik. Pola curah hujan yang tidak menentu menambah ketidakpastian ketersediaan air. Mengingat pentingnya pengelolaan sumber daya air, kajian debit lingkungan menjadi esensial. Debit lingkungan didefinisikan sebagai jumlah aliran air yang dibutuhkan untuk mempertahankan kesehatan ekosistem sungai dan fungsi ekologisnya, serta menyediakan layanan ekosistem vital seperti air bersih dan pengendalian banjir. Konsep ini telah berkembang sejak awal abad ke-20, menekankan keseimbangan antara penggunaan air oleh manusia dan kesehatan ekosistem sungai. Terjaganya debit lingkungan mendukung fungsi ekologis, pengelolaan kualitas air, penyediaan sumber air bagi masyarakat, layanan ekonomi, dan mitigasi perubahan iklim. Selain itu, debit lingkungan menjaga pola aliran alami yang esensial bagi siklus hidup organisme air dan konektivitas hidrologi, mencegah penurunan keanekaragaman hayati dan kerusakan ekosistem yang berdampak pada kualitas hidup manusia. Penerapan konsep ini krusial untuk pengelolaan sumber daya air berkelanjutan yang seimbang dan adaptif (Kendarto *et al.*, 2021).

Di Indonesia, konsep debit lingkungan dikenal sebagai aliran pemeliharaan sungai, bertujuan memelihara stabilitas ekosistem sungai. Besaran aliran ini diatur dalam PP No. 38 Tahun 2011 tentang sungai, yaitu debit andalan Q95%. Metode Q95% dipilih karena karakteristik hidrologi sungai di Indonesia yang bervariasi dan musim kemarau yang ekstrem. Q95% adalah debit sungai yang tersedia selama 95% waktu pengamatan, menjamin ketersediaan air minimum berkelanjutan bagi ekosistem (Hatmoko *et al.*, 2020). PP No. 38 Tahun 2011 menetapkan Q95% sebagai debit pemeliharaan sungai untuk melindungi ekosistem dan mencegah kerusakan lingkungan. Penggunaan Q95% relevan karena mencerminkan kondisi debit rendah di sungai tropis Indonesia, memungkinkan pengelolaan air adaptif. Q95% juga memberikan dasar kuantitatif bagi pengambil kebijakan dan pengelola sumber daya air, mengurangi konflik penggunaan air, dan sejalan dengan prinsip keberlanjutan (Ilmi, 2022). Penelitian ini menganalisis debit lingkungan di DAS Cisokan menggunakan metode Tennant dan Flow Duration Curve

(FDC), berfokus pada dampak perubahan lingkungan. Tujuannya adalah memberikan gambaran kebutuhan aliran air untuk menjaga kesehatan ekosistem, menjadi referensi bagi pengambil kebijakan, dan mendukung pengelolaan air berkelanjutan. Keberlanjutan ekosistem DAS bergantung pada pengelolaan teknis dan kesadaran serta partisipasi aktif masyarakat. Keterlibatan multistakeholder penting untuk sinergi, menjamin kelangsungan hidup makhluk hidup, dan pemenuhan kebutuhan air berkelanjutan bagi generasi mendatang. Tantangan pengelolaan air di Indonesia terkait prioritas penggunaan air, kesadaran, dan keterbatasan data, sehingga upaya bersama krusial untuk menjaga keseimbangan ekosistem DAS dan pembangunan berkelanjutan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisokan, Kabupaten Cianjur, antara bulan Maret 2025-Mei 2025. DAS Cisokan terletak pada koordinat  $106,98^{\circ}$  -  $107,41^{\circ}$  Bujur Timur dan  $6,73^{\circ}$  -  $7,12^{\circ}$  Lintang Selatan. Wilayah ini berbatasan di sebelah utara dengan Waduk Cirata, di sebelah barat dengan Kabupaten Sukabumi, di sebelah selatan dengan Kecamatan Sukanagara Kabupaten Cianjur dan Kabupaten Bandung Barat, serta di sebelah timur dengan Kabupaten Bandung Barat. Luas wilayah DAS Cisokan mencapai 98.038,92 hektar, dengan sungai yang mengalir dari hulu hingga hilir menuju Waduk Cirata. Hulu DAS Cisokan terbentang dari arah selatan, meliputi Gunung Masigit, Gunung Halu, hingga Gunung Putri di Cianjur. Sungai Cisokan bermuara di Waduk Cirata, yang juga merupakan bendungan dari Sungai Citarum. Penelitian ini menggunakan sejumlah alat dan bahan yang mencakup aplikasi pengolah data (Ms. Excel/ Spreadsheet), kamera untuk dokumentasi, data debit sungai historis periode 2004-2005 (20 tahun), dan juga data curah hujan. Penelitian ini meliputi sejumlah tahapan, antara lain sebagai berikut:



Gambar. 1 Tahapan Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Konsistensi Data

Analisis hidrologi yang akurat sangat bergantung pada kualitas dan konsistensi data yang digunakan selama pengamatan. Data curah hujan dianggap sebagai salah satu parameter kunci dalam studi hidrologi sehingga diperlukan uji konsistensi dengan tujuan untuk memastikan bahwa data tidak mengandung bias atau perubahan karakteristik yang cukup signifikan selama periode pengamatan berlangsung. Penelitian ini menguji konsistensi data hujan dengan metode Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) karena data yang tersedia hanya berasal dari satu sumber PCH (Pos Curah Hujan), yaitu PCH Cisokan. Metode RAPS merupakan salah satu tools dalam analisis hidrologi yang ditujukan untuk mengidentifikasi adanya perubahan atau tren data runtun waktu hidrologi. Konsep utama dari metode ini yakni menghitung deviasi kumulatif terhadap nilai rata-rata dari deret data yang selanjutnya akan dinormalisasi. Berdasarkan hasil uji RAPS, dapat disimpulkan bahwa data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsisten. Konsistensi data ini sangat penting karena menjamin bahwa karakteristik hidrologi DAS Cisokan yang dianalisis merepresentasikan kondisi yang seragam sepanjang periode pengamatan. Dengan demikian, data curah hujan tersebut valid dan dapat digunakan untuk perhitungan debit lingkungan (Environmental Flow) lebih lanjut dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, tanpa perlu melakukan penyesuaian atau koreksi untuk bias non-stasioner.

### Karakteristik Hidrologi DAS Cisokan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisokan merupakan bagian penting dari wilayah hulu DAS Citarum yang memiliki peran strategis dalam penyediaan sumber daya air bagi berbagai kebutuhan, mulai dari irigasi pertanian, kebutuhan domestik, hingga industri. DAS ini terletak di Kabupaten Cianjur dan Kabupaten Bandung Barat dengan luas sekitar 98.038,92 hektar, dan sungainya bermuara ke Waduk Cirata. Topografi DAS Cisokan didominasi oleh perbukitan dan pegunungan dengan elevasi antara 250 hingga 500 meter di atas permukaan laut, yang memengaruhi pola aliran dan distribusi air di dalam DAS (PLN, 2021; Nugroho, 2023). Secara hidrologis, DAS Cisokan dipengaruhi oleh iklim tropis muson dengan pola curah hujan musiman yang jelas. Debit sungai mengalami fluktuasi signifikan sepanjang tahun, dengan puncak debit pada musim hujan (Januari–Maret) dan debit terendah pada musim kemarau (Juni–November). Data debit sungai menunjukkan debit maksimum mencapai 18,84 m<sup>3</sup>/s pada musim hujan dan debit minimum sekitar 0,83 m<sup>3</sup>/s pada musim kemarau (Nurrochmad, 2003; BBWS Citarum, 2021). Fluktuasi ini menunjukkan ketergantungan aliran sungai pada curah hujan serta kondisi fisik DAS, termasuk tutupan lahan dan jenis tanah. Lebih lanjut, kekritisian lahan dan kekeringan turut menjadi faktor utama yang memengaruhi debit sungai. Kekritisian lahan yang disebabkan oleh degradasi mengurangi kemampuan infiltrasi air, sehingga air hujan lebih cepat mengalir ke sungai, meningkatkan risiko banjir di musim hujan dan kekurangan air di musim kemarau (Nurrochmad, 2003; BBWS Citarum, 2021). Pada puncak musim kemarau, debit sungai dapat turun drastis hingga 0,83 m<sup>3</sup>/s, yang mengakibatkan krisis air bagi irigasi dan kebutuhan domestik (Nurrochmad, 2003). Secara keseluruhan, karakteristik hidrologi DAS Cisokan dipengaruhi oleh kombinasi iklim, kondisi fisik DAS, dan aktivitas manusia. Fluktuasi debit yang signifikan sepanjang tahun menuntut pengelolaan sumber daya air yang adaptif dan berkelanjutan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan memenuhi kebutuhan berbagai sektor. Oleh karena itu,

pemahaman mendalam mengenai karakteristik hidrologi DAS Cisokan sangat penting sebagai dasar dalam penentuan debit lingkungan dan strategi pengelolaan air yang efektif.

### Analisis Debit Lingkungan dengan Metode Tennant

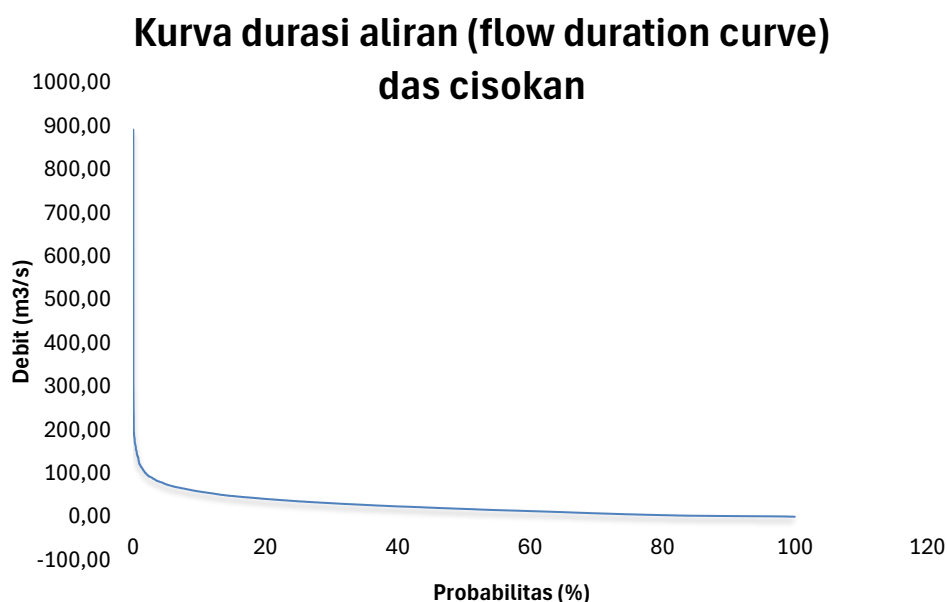
Analisis debit lingkungan merupakan salah satu aspek penting dalam hal pengelolaan sumber daya air berkelanjutan, khususnya untuk menjaga keseimbangan ekosistem sungai. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis nilai debit lingkungan adalah metode Tennant. Metode Tennant, atau yang dikenal juga sebagai metode Montana, merupakan pendekatan hidrologis dengan basis persentase yang relatif sederhana dan kerap digunakan untuk estimasi awal debit lingkungan. Metode ini mengusulkan persentase tertentu dari debit rata-rata tahunan (Mean Annual Flow/MAF) sebagai ambang batas untuk mempertahankan berbagai fungsi ekologis sungai, mulai dari kondisi minimum untuk kelangsungan hidup biota hingga kondisi optimum untuk habitat yang subur (Tennant, 1976 dalam Ilmi, 2022). Penerapan metode ini di DAS Cisokan akan memberikan indikasi awal mengenai kebutuhan debit air untuk menjaga kesehatan ekosistem di wilayah tersebut. Perhitungan terkait nilai debit rata-rata tahunan (Mean Annual Flow/MAF) merupakan langkah fundamental dalam proses pengaplikasian metode Tennant. MAF (Mean Annual Flow) merupakan parameter fundamental dalam kajian hidrologi yang menggambarkan rata-rata total volume aliran air sungai sepanjang periode pengamatan yang relevan yang mencerminkan karakteristik hidrologi suatu wilayah dalam skala tahunan. Indikator ini penting dalam analisis aliran sungai untuk memahami pola distribusi air serta peranannya dalam perencanaan sumber daya air dan manajemen aliran sungai. Nilai MAF ini berfungsi sebagai acuan utama dalam menetapkan besaran debit lingkungan di berbagai kondisi ekosistem, sesuai dengan rekomendasi yang diberikan oleh Tennant (1976). Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan terhadap data debit harian DAS Cisokan, dapat diperoleh nilai debit rata-rata tahunan (MAF) sebesar 25,27 m<sup>3</sup>/detik. Nilai MAF ini berfungsi sebagai representasi dari rata-rata karakteristik aliran air di wilayah DAS Cisokan selama periode studi yang dilakukan. Tabel di bawah ini menyajikan persentase MAF yang direkomendasikan oleh Tennant (1976) beserta nilai debit lingkungan yang dihasilkan untuk DAS Cisokan.

Tabel. 1 Nilai Debit Lingkungan Berdasarkan Metode Tennant

Deskripsi Debit	Naratif	Rekomendasi Debit (%)		Debit (m <sup>3</sup> /detik)	
		Okt-Mar	Apr-Sept	Okt-Mar	Okt-Mar
Debit Tahunan	Rata-rata	100%	100%	25,27	25,27
Maksimum		200%	200%	50,54	50,54
(Flushing)					
Optimum		60-100%	60-100%	15,16	25,27
Sangat Baik	Baik	40%	60%	10,11	15,16
(Outstanding)					
Baik	(Excellent)	30%	50%	7,58	12,64
Cukup Baik	(Good)	20%	40%	5,05	10,11
Sedang		10%	30%	2,53	7,58
(Fair/Degrading)					
Minimum		10%	10%	2,53	2,53
(Poor/Minimum)					
Sangat Minimum	Minimum	<10%	<10%	<2,53	<2,53
(Severe Degradation)					

### Analisis Debit Lingkungan dengan Metode Flow Duration Curve

Analisis debit lingkungan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisokan juga dilakukan menggunakan metode Flow Duration Curve (FDC). Metode ini merupakan alat hidrologi yang fundamental untuk memahami karakteristik aliran sungai, khususnya dalam menggambarkan hubungan antara besaran debit aliran dan frekuensi kejadiannya selama periode waktu tertentu. FDC memberikan representasi visual yang jelas tentang seberapa sering suatu debit tertentu terjadi, yang sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, terutama dalam konteks menjaga kesehatan ekosistem sungai. Metode ini memungkinkan identifikasi pola aliran sungai dan penilaian kestabilan debit, yang menjadi dasar penting dalam penentuan debit lingkungan. Penyusunan Kurva Durasi Aliran (FDC) diawali dengan pengumpulan data debit harian yang komprehensif dari DAS Cisokan. Dalam penelitian ini, data debit harian diperoleh dari PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Cirata, mencakup periode pengamatan dari tahun 2005 hingga 2024, dengan total 7303 data poin debit yang valid. Ketersediaan data historis selama 20 tahun ini sangat vital karena merefleksikan fluktuasi debit yang signifikan sepanjang tahun, yang dipengaruhi oleh pola musim hujan dan kemarau di wilayah tropis. Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah mengurutkan seluruh data debit harian tersebut dari nilai terbesar hingga terkecil. Proses pengurutan ini memungkinkan identifikasi rentang aliran yang ekstrem, baik debit maksimum maupun minimum yang pernah terjadi di DAS Cisokan. Setelah data terurut, probabilitas kejadian untuk setiap nilai debit dihitung menggunakan rumus probabilitas Weibull, yang merupakan metode standar dalam analisis frekuensi hidrologi. Hasil perhitungan probabilitas dan debit terurut ini kemudian diplot pada grafik FDC, dengan sumbu X merepresentasikan Probabilitas Sama Dengan atau Melebihi (%) dan sumbu Y merepresentasikan Debit ( $m^3/s$ ). Adapun berikut ini merupakan grafik hasil pemetaan titik dari olah data dengan metode FDC.



Gambar. 2 Kurva Durasi Aliran Metode FDC

Kurva Durasi Aliran (FDC) DAS Cisokan menunjukkan karakteristik hidrologi khas sungai tropis dengan dinamika aliran tinggi dan fluktuasi signifikan, yang mencerminkan perbedaan mencolok antara musim hujan dan kemarau. Bentuk FDC yang curam pada kedua ekstremnya menegaskan bahwa DAS Cisokan mengalami perbedaan aliran yang sangat mencolok; debit maksimum mencapai  $892,24 m^3/s$  mengindikasikan periode aliran sangat tinggi dengan potensi banjir, sementara nilai Q95% yang sangat

rendah ( $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ) menunjukkan bahwa pada sebagian besar waktu, sungai berada dalam kondisi aliran rendah yang kritis. Fluktuasi ekstrem ini menandakan respons cepat DAS terhadap curah hujan, yang mungkin diperparah oleh kondisi geografi atau penggunaan lahan yang kurang optimal di hulu. Nilai Q95% sebesar  $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$  merupakan indikator kritis bagi kesehatan ekosistem DAS Cisokan, karena debit pada level ini mendekati batas minimal yang diperlukan untuk menopang kehidupan akuatik dan fungsi ekologis dasar sungai. Aliran yang terus-menerus pada atau di bawah ambang ini dapat menyebabkan kontraksi habitat yang parah, pengurangan volume air secara drastis menyempitkan area habitat dan membatasi ruang gerak serta sumber daya bagi biota air. Selain itu, debit rendah mengurangi kemampuan sungai mengencerkan polutan, menyebabkan peningkatan konsentrasi zat pencemar, suhu air, dan penurunan oksigen terlarut yang beracun bagi biota air. Kondisi ini juga dapat mengganggu siklus biologis, di mana aliran yang tidak memadai mengganggu proses reproduksi, migrasi, dan kelangsungan hidup spesies akuatik, mengakibatkan penurunan keanekaragaman hayati. Terakhir, aliran sangat rendah jangka panjang berpotensi mengubah morfologi sungai, menyebabkan sedimentasi berlebihan atau pendangkalan alur yang merusak habitat.

### **Perbandingan Metode Tennant dan FDC**

Perbandingan nilai debit lingkungan yang dihasilkan oleh Metode Tennant dan Flow Duration Curve (FDC) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, yang berakar pada filosofi dan data masukan yang digunakan oleh masing-masing metode. Berikut merupakan uraian mengenai perbedaan kedua metode tersebut. Metode Tennant, yang didasarkan pada persentase Mean Annual Flow (MAF), menghasilkan rentang nilai debit lingkungan yang bervariasi sesuai dengan kategori kesehatan ekosistem yang ingin dicapai. Berdasarkan perhitungan MAF sebesar  $25.27 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk DAS Cisokan, nilai debit lingkungan terendah yang direkomendasikan untuk kondisi "Minimum" (10% MAF) adalah  $2.53 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk kedua musim (Oktober-Maret dan April-September). Nilai ini merepresentasikan aliran kelangsungan hidup absolut yang diperlukan untuk menghindari degradasi parah. Pada kondisi "Sedang" (10-30% MAF), debit lingkungan berkisar antara  $2.53 \text{ m}^3/\text{s}$  (musim basah) hingga  $7.58 \text{ m}^3/\text{s}$  (musim kering). Metode ini memberikan panduan yang jelas mengenai berbagai tingkatan dukungan ekologis berdasarkan rata-rata aliran tahunan, namun sifatnya lebih bersifat umum dan tidak langsung mencerminkan frekuensi kejadian debit tertentu. Metode FDC, yang menggunakan seluruh rangkaian data debit harian dan menganalisis frekuensi kejadiannya, memberikan nilai debit lingkungan spesifik pada persentase waktu tertentu. Untuk DAS Cisokan, hasil FDC menunjukkan bahwa nilai Q95% adalah  $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan nilai Q90% adalah  $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nilai Q95% ( $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ) adalah debit yang terlampaui 95% dari waktu, secara luas dianggap sebagai batas kritis untuk "survival flow" ekosistem dan merupakan standar yang diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2011 tentang Sungai di Indonesia sebagai debit pemeliharaan sungai. Sementara itu, Q90% ( $5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mencerminkan kondisi aliran rendah yang lebih sering terjadi dan relevan untuk berbagai kebutuhan non-ekologis.

### **KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa DAS Cisokan memiliki karakteristik hidrologi khas sungai tropis dengan fluktuasi aliran yang ekstrem, ditandai oleh perbedaan mencolok antara musim hujan dan kemarau. Debit puncak yang tinggi dan nilai Q95% yang sangat rendah ( $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ) menegaskan respons cepat DAS terhadap curah hujan ekstrem dan kerentanannya terhadap kondisi aliran rendah yang kritis. Nilai Q95% sebesar  $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$  merupakan indikator penting bagi kesehatan ekosistem DAS Cisokan, karena berada pada batas minimal yang diperlukan untuk menopang kehidupan akuatik dan fungsi ekologis dasar sungai. Jika aliran terus-menerus di bawah ambang ini, akan terjadi kontraksi habitat,

penurunan kualitas air akibat berkurangnya kemampuan pengenceran polutan, gangguan siklus biologis spesies akuatik, dan degradasi morfologi sungai yang merusak habitat.

## REFERENSI

- Ahmadpari, H., Ladez, B. R., Shokoohi, E. S., & Biglou, M. K. (2019). Evaluation of Environmental Flows in Dalfard River Using Hydrological Methods. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 11, 530-539. doi:10.21817/ijet/2019/v11i3/191103036
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Barchiesi, S. (2011). *Environmental Flows*. IUCN Water and Nature Initiative.
- Chabokpour, J., & Azarafrouz, B. (2024). Determining Environmental Flow Requirements for Rivers in the Southern Basin of Lake Urmia (Case Studies of ZarinehRood and SiminehRood Rivers). 1-21. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4471269/v1>
- Data Hidrologi DAS Cisokan. (2021). Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum.
- Data, Y., Sau', S. B., Bungin, E. R., & Tanan, B. (2019). Potensi Hidrologi dan Tenaga Air PLTA/PLTM Sungai Maros, Sulawesi Selatan. *Paulus Civil Engineering Journal*, 1-9.
- Executive summary Upper Cisokan Pumped Storage Environmental and Social Impact Assessment. (2021). PLN.
- Forslund, A. (2009). *Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows*. Swedish Water House Report 24.
- Gebreegziabher, G. A., Degefa, S., Furi, W., & Legesse, G. (2023). Evolution and Concept of Environmental Flows (E-Flows): Meta-Analysis. *Water Supply*, 23(6). doi:10.2166/ws.2023.120
- Gopal, B. R. (2013). Methodologies for the assessment of environmental flows. *Environmental flows: An introduction for water resources managers*. 129-182.
- Halwatura, D., & Najim, M. M. (2014). Environmental Flow Assessment - An Analysis. *Journal of Environmental Professionals Sri Lanka*, 3(2), 1-11.
- Hardiana, D. (2022). *Pengelolaan Lingkungan Daerah Aliran Sungai (DAS) Guna Mewujudkan Ekonomi Hijau*. Kertas Karya Ilmiah Perseorangan (TASKAP) Program Pendidikan Reguler Angkatan (PPRA) LXIV LEMHANAS RI Tahun 2022. Retrieved from <http://lib.lemhannas.go.id/public/media/catalog/0010112200000000039/swf/7493/PPRA%2064%20-%202027.pdf>
- Hatmoko, W., Levina, Radhika, Amirwandi, & Rendy. (2020). Quantification of Environmental Flow Requirement for some Rivers in West Java. *ETMC and RC EnvE 2019*, 148(07003). doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014807003>
- Higgins, J. V., & Konrad, C. P. (2012). *A Review of Benefits to People and Nature from Environmental Flow Management*. The Nature Conservancy & US Geological Survey.
- Ilmi, M. K. (2022). Penentuan Debit Lingkungan di DAS Dodokan Berdasarkan Metode Tennant dan Flow Duration Curve (FDC). *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 115-123.
- Jain SK. (2015). Assessment of Environmental Flow Requirements for Hydropower Projects in India. *Curr Sci*, 108(10), 1815-1825.

- Kendaro, D. R., Suryadi, E., Sampurno, R. M., & Cahyabhuana, A. P. (2021). Daya Dukung Sumberdaya Air dan Indeks Kekritisan Air Sub DAS Cisokan Hulu. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 10(3), 402-412.
- Linsley, R. K. (1949). *Teknik Sumber Daya Air (Jilid 1 ed.)*. Jakarta: Erlangga.
- Sebayang, I. D., Soekarno, I., Cahyono, M., & Kuntoro, A. A. (2023). Penilaian Debit Lingkungan Berbasis Pendekatan Hidrologi pada DAS Citarum Hulu. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 93-106. doi:10.56860/jtsda.v3i1.42.
- Smakhtin, V. U. (2001). Low Flow Hydrology: A Review. *Journal of Hydrology*, 240(3-4), 147-186.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi, Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai Hidrometri*. Bandung: Nova.
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Proceeding of the symposium and specialty conference on Instream Flow Needs*, 359-373.