

Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Morfometri di DAS Ciliwung

Alvian Aji Purboyo^{1*}, Alvien Hanif Ramadan², Efri Triana Arifin², Iqbal Eko Noviandi², Muhammad Arizqi²

¹Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

²Sains Informasi Geografi, Fakultas Pendidikan dan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia

Abstrak: Pengembangan teknologi penginderaan jauh telah menjadi bagian integral dalam pemetaan dan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS). Salah satu aplikasi pemanfaatan penginderaan jauh adalah dalam analisis morfometri DAS, yang menyediakan informasi kuantitatif tentang karakteristik geomorfologi. Tujuan penelitian ini 1) Mengidentifikasi karakteristik morfometri DAS Ciliwung menggunakan data penginderaan jauh dan SIG, dan 2) Membuat peta DAS Ciliwung. Metode yang digunakan berupa teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. Adapun data yang digunakan berupa *digital elevation model* indonesia (DEMNAS) yang diperoleh dari situs Badan Informasi Geospasial (BIG). Kemudian peran dari SIG berupa pengolahan data, penyajian data berupa peta dan visualisasi 3 dimensi dari DAS Ciliwung. Aplikasi SIG yang digunakan berupa Arcmap 10.4. Hasil dari penelitian ini didapatkan luas DAS Ciliwung 387.827 km², panjang sungai induk 141.256 km, gradien 0.03%, tingkat kerapatan sungai 0.26, tingkat percabangan sungai 4.2 dan memiliki bentuk DAS memanjang. Penyajian data spasial dilakukan dengan membuat peta dan 3D *modelling* DAS Ciliwung. Oleh karena itu, dengan teridentifikasinya morfometri DAS Ciliwung diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi fisik untuk melakukan perencanaan pengelolaan DAS terpadu.

Kata Kunci: DAS, Penginderaan Jauh, SIG, Ciliwung

DOI:

<https://doi.org/10.47134/aero.v1i1.2322>

*Correspondence: Alvian Aji Purboyo

Email: alvianajipurboyo@mail.ugm.ac.id

Received: 02-11-2023

Accepted: 15-12-2023

Published: 31-01-2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike (CC BY SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Abstract: The development of remote sensing technology has become an integral part of river basin mapping and management. One application of remote sensing utilization is in the analysis of watershed morphometry, which provides quantitative information about geomorphological characteristics. The objectives of this study are 1) to identify the morphometric characteristics of the Ciliwung watershed using remote sensing data and GIS, and 2) to create a map of the Ciliwung watershed. The method employed involves remote sensing techniques and geographic information systems. The data utilized is the digital elevation model of Indonesia (DEMNAS) obtained from the website of the National Geospatial Information Agency (BIG). The role of GIS is to process the data and present it in the form of maps and 3D visualizations of the Ciliwung watershed. ArcMap 10.4 is the GIS application used. The results of this research reveal that the area of the Ciliwung watershed is 387.827 km², with a main river length of 141.256 km, a gradient of 0.03%, a river density of 0.26, a river branching ratio of 4.2, and an elongated watershed shape. Spatial data presentation is conducted by creating maps and 3D modeling of the Ciliwung watershed. Therefore, the identification of the morphometry of the Ciliwung watershed is expected to provide a physical condition overview for integrated watershed management planning.

Keywords: Watershed, Remote Sensing, GIS, Ciliwung

Pendahuluan

Pengembangan teknologi penginderaan jauh semakin berkembang seiring dengan perkembangan teknologi pemetaan. Secara definisi penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah, atau gejala dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah, atau gejala yang dikaji (Lillesand & Kiefer, 1979). Pengaplikasian data penginderaan jauh salah satunya berupa pemantauan lahan secara multitemporal (Farda, 2017; Purboyo et al., 2021). Identifikasi lahan menggunakan data penginderaan jauh menjadi solusi karena dapat memantau cakupan luas, efisiensi waktu, dan biaya. Pemanfaatan teknik penginderaan jauh dapat membantu memperoleh data cepat dalam waktu yang bersamaan dalam areal yang luas (Ismanto et al., 2023; Purboyo, 2022). Salah satu pemanfaatan penginderaan jauh di bidang hidrologi adalah pembuatan data spasial DAS berdasarkan data penginderaan jauh.

Data penginderaan jauh untuk pembuatan *inventory* data spasial DAS diperlukan untuk alat bantu dengan sistem informasi geografis (SIG). SIG merupakan cabang ilmu dari geografi. SIG atau *Geographic Information System* (GIS) adalah kumpulan alat yang *powerful* untuk mengumpulkan, menyimpan, menampilkan dan mentransformasikan data spasial dari dunia nyata (*Real World*) (Burrough, 1986; Irwansyah, 2013). Sistem informasi geografis adalah salah satu upaya untuk memecahkan persoalan atau masalah yang berkaitan dengan permukaan bumi (Setiawan, 2016). Informasi Geografis menyediakan dasar-dasar fundamental dan tubuh teori yang diperlukan bersamaan untuk kemajuan dalam mengelola interaksi dengan dunia (Longley et al., 2005). SIG menjadi alat untuk semua permasalahan yang berkaitan dengan konsep keruangan, kelingkungan, dan kompleks wilayah (Yunus, 2008, 2010). Melalui SIG, data-data mengenai permukaan bumi dapat diolah menjadi informasi untuk membantu menjelaskan, memprediksi, memvisualisasikan, dan memudahkan dalam melakukan sebuah analisis hidrologi khususnya morfometri.

Morfometri daerah aliran sungai (DAS) merupakan ukuran kuantitatif karakteristik DAS yang terkait dengan aspek geomorfologi suatu daerah. Karakteristik ini terkait dengan proses drainase air hujan yang jatuh di dalam DAS. Parameter yang digunakan dalam identifikasi morfometri tersebut adalah luas DAS, bentuk DAS, jaringan sungai, kerapatan aliran, pola aliran, dan gradien kemiringan (Sobatnu et al., 2017). Berdasarkan data dari Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Provinsi DKI Jakarta, terdapat 13 sistem aliran sungai yang mengalir di wilayah Provinsi DKI Jakarta yang sebagian besar berhulu di daerah Jawa Barat dan bermuara di Teluk Jakarta. Salah satu dari 13 sungai yang mengalir di Jakarta, yakni sungai Ciliwung yang memiliki dampak yang paling luas karena melewati Kota Jakarta. Sungai Ciliwung juga melintasi banyak perkampungan, perumahan padat, dan permukiman-permukiman warga. (Yudo, 2010).

Seiring bertambahnya penduduk di sepanjang aliran Sungai Ciliwung terjadi perubahan tata guna lahan dan berdampak pada debit aliran sungai. Hal ini dapat dilihat pada Sungai Ciliwung terutama pada ruas Sungai Lenteng Agung-Manggarai, dimana sering terjadi banjir pada tiap tahunnya (Wigati, 2013). Sungai Ciliwung juga dianggap sungai yang paling parah mengalami kerusakan dibandingkan sungai-sungai yang lain yang mengalir di Jakarta. Hal ini dikarenakan DAS di bagian hulu yang berada di perbatasan Kabupaten Bogor dan Kabupaten Cianjur yang rusak dan juga di bagian hilir DAS Ciliwung yang banyak mengalami penyempitan dan pendangkalan yang menjadikan potensi penyebab banjir di Jakarta menjadi besar (Anggraheni et al., 2022; Handayani & Asyary, 2019; Harsoyo, 2013; Paramitha et al., 2020; Robo et al., 2018; Sugandhi et al., 2023; Suwarno et al., 2011). Dengan adanya teknologi penginderaan jauh dapat melakukan pemetaan terkait informasi morfometri untuk analisis DAS. Berdasarkan hal itulah dibutuhkan identifikasi mengenai DAS Ciliwung sehingga dapat dihasilkan informasi yang dapat digunakan sebagai referensi untuk pemecahan masalah lingkungan dan untuk perencanaan pengelolaan DAS yang terpadu. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini diantaranya berupa 1) Mengidentifikasi karakteristik morfometri DAS Ciliwung menggunakan data penginderaan jauh dan SIG, dan 2) Membuat peta DAS Ciliwung.

Metode

Metode penelitian yang akan dilakukan untuk identifikasi morfometri DAS Ciliwung menggunakan teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (Sutanto, 2016). Teknik tersebut dapat digunakan pada area penelitian untuk diketahui komponen morfometri yang terdapat pada DAS Ciliwung. Lokasi penelitian DAS Ciliwung mencakup berbagai wilayah administrasi, yaitu DKI Jakarta, Kota Depok, Kabupaten Bogor, dan Kota Bogor. Lokasi penelitian tersaji pada gambar 2.

Identifikasi morfometri DAS Ciliwung merupakan aspek kuantitatif dari mengidentifikasi suatu DAS. Dalam penelitian ini akan mengidentifikasi delapan morfometri, diantaranya berupa penentuan batas DAS, luas DAS, panjang lebar DAS, gradien sungai, orde sungai, tingkat percabangan sungai, kerapatan sungai, dan bentuk DAS. Semua identifikasi morfometri dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data penginderaan jauh dan SIG. Adapun data yang digunakan berupa *digital elevation model indonesia (DEMNAS)* yang diperoleh dari situs Badan Informasi Geospasial (BIG), yaitu <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas>. Kemudian peran dari SIG berupa pengolahan data, penyajian data berupa peta dan visualisasi 3 dimensi dari DAS Ciliwung. Aplikasi SIG yang digunakan berupa Arcmap 10.4.

Perhitungan morfometri DAS disesuaikan dengan parameter yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini tujuh morfometri dilakukan perhitungan berdasarkan persamaannya masing-masing. Berikut merupakan tahapan untuk menentukan kondisi morfometri di DAS Ciliwung. Gambar 1 merupakan tahapan alur penelitian dalam pembuatan morfometri DAS Ciliwung.

1. Penentuan Batas DAS

Penentuan batas DAS atau deliniasi DAS Ciliwung dilakukan beberapa tahap di aplikasi Arcmap 10.4.

- a. Proses deliniasi DAS Ciliwung menggunakan data DEMNAS. Data DEMNAS perlu ditransformasi menjadi sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM). Transformasi yang digunakan berupa UTM 48S.
- b. Data DEMNAS kemudian dikoreksi dengan *tools fill*. Tujuan dari *fill* data berupa untuk mengisi informasi *Sink* yang terdapat dalam peta. *Sink* merupakan area yang memiliki aliran air sendiri, air ini tidak mengalir keluar. Dalam dunia nyata, *sink* dapat berupa danau, kolam, dll atau lubang karena pengolahan data yang tidak baik.
- c. Setelah di *fill* langkah berikutnya berupa *flow direction tools*. Tahapan *flow direction* merupakan tahapan untuk mengetahui arah aliran dari permukaan yang direpresentasikan dari *cell-cell* data DEMNAS. Masukan data *flow direction* berupa hasil dari *fill*, sedangkan hasil *flow direction* berupa data arah aliran pada tiap ketinggian permukaan.
- d. Tahapan *flow accumulation* merupakan tahapan lanjutan setelah mengetahui arah aliran dengan nilai *cell* yang terbentuk dari data *flow direction*. Nilai *cell* tertinggi menerima aliran dari setiap *cell* di hulunya. Hasil *flow accumulation*. Warna putih merepresentasikan *cell* dengan nilai yang besar. Nilai ini dapat diartikan sebagai titik terkumpul dan mengalirnya air.
- e. *Catchment Outlet ("Pour") Points*
Deliniasi *watershed area*, maka terdapat satu tahapan yang harus dilakukan yakni penentuan titik *outlet* dari aliran air yang akan menjadi acuan dalam proses deliniasi *watershed area*. Pembuatan titik outlet atau *Snap Pour Point* dapat dilakukan dengan membuat *shapefile point* yang menjadi titik *outlet*.
- f. *Deliniasi Watershed Area*
Proses deliniasi *watershed area* dapat dilakukan dengan memasukan *Flow Direction Raster* dan *Snap Pour Point*. Jika semua informasi data tersebut tepat, maka *watershed area* dapat terbentuk sesuai dengan asumsi titik outlet yang telah ditentukan. Hasil dari *watershed area* berupa batas DAS.

2. Luas DAS

Luas DAS dapat diukur dengan mengukur DAS pada peta ketinggian atau topografi sebagai acuan dalam perhitungan. Batas DAS yang telah dibuat melalui peta topografi dapat membedakan air hujan yang mengalir, jatuh ke dalam DAS yang telah dibatasi oleh batas yang telah dibuat. Sehingga garis tersebut ditentukan oleh batas perubahan kontur pada setiap ketinggiannya. Untuk memperoleh luas DAS dilakukanlah perhitungan luasan *shapefile*.

3. Panjang dan Lebar DAS

Panjang DAS adalah jarak datar dari hulu ke muara sungai sepanjang sungai induk. Sedangkan lebar DAS adalah perbandingan antara luas DAS dengan panjang sungai induk. Persamaan 1 merupakan perhitungan dari lebar DAS.

$$\text{Lebar} = \frac{\text{Luas DAS}}{\text{Panjang Sungai Induk}} \quad (1)$$

4. Gradien Sungai

Gradien sungai adalah kemiringan sungai yang dihitung dari titik tertinggi hingga titik ke rendah. gradien dapat diperoleh dengan membagi jarak beda tinggi antara hulu ke hilir (jarak vertikal) dengan panjang sungai induk (jarak horizontal) melalui persamaan 2.

$$\text{Gradien Sungai} = \frac{\text{Jarak Vertikal (m)}}{\text{Jarak Horizontal (m)}} \quad (2)$$

5. Orde Sungai

Orde sungai adalah letak percabangan alur sungai yang di dalam urutannya terhadap induk sungai dalam suatu DAS. Dengan demikian semakin banyak jumlah orde sungai maka, gambaran DAS akan semakin panjang pula alur sungainya. Tingkat percabangan sungai (*bifurcation ratio*) adalah angka atau indeks yang ditentukan berdasarkan jumlah alur sungai untuk suatu orde.

6. Tingkat Percabangan Sungai

Tingkat percabangan sungai dihitung berdasarkan indeks tingkat percabangan sungai (R_b). Indeks tingkat percabangan sungai diperoleh dari jumlah alur sungai untuk orde ke u (N_u) dibagi dengan jumlah alur sungai untuk orde ke $u+1$ (N_{u+1}). Untuk mengetahui percabangan sungai dapat dirumuskan persamaan 3 dan diklasifikasi pada tabel 1.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1} \quad (3)$$

Tabel 1. Klasifikasi Percabangan Sungai

Indeks Tingkat Percabangan Sungai	Uraian
$Rb < 3$	Alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, sedangkan penurunannya berjalan lambat
$Rb 3 - 5$	Alur sungai mempunyai kenaikan dan penurunan muka air banjir tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat
$Rb > 5$	Alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, demikian pula penurunannya akan berjalan dengan cepat

Sumber : Soewarno (1991)

7. Kerapatan Sungai

Kerapatan sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS. Indeks kerapatan sungai (Dd) tersebut diperoleh dari perhitungan jumlah panjang sungai termasuk anak sungai (L) dengan satuan (Km^2) dibagi dengan luas DAS (A). Persamaan 4 merupakan perhitungan kerapatan sungai dan tabel 2 merupakan klasifikasi dari kelas kerapatan sungai.

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (4)$$

Tabel 2. Klasifikasi Kerapatan Sungai

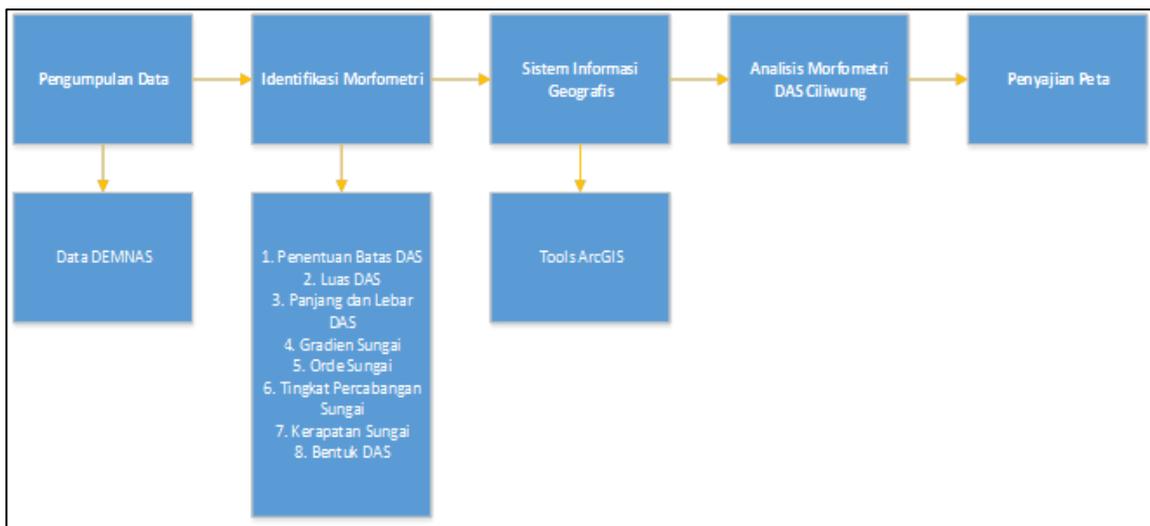
No	Dd (Km/Km ²)	Kelas Kerapatan	Keterangan
1	<0.25	Rendah	Alur sungai melewati batuan dengan resesensitas keras. Maka angkutan sedimen yang terangkut aliran sungai lebih kecil jika dibandingkan pada alur sungai yang melewati batuan dengan resistensitas yang lebih lunak, apabila kondisi lain yang mempengaruhi sama.
2	<0.25-10	Sedang	Alur sungai melewati batuan dengan resesensi yang lebih lunak, sehingga angkutan sedimen yang tersangkut aliran akan lebih besar.
3	10-25	Tinggi	Alur sungai melewati batuan dengan resesensi yang lunak, sehingga angkutan sedimen yang terangkut akan lebih besar.
4	<25	Sangat Tinggi	Alur sungai melewati batuan yang kedap air. Keadaan ini akan menunjukkan bahwa air hujan yang menjadi aliran akan lebih besar jika dibandingkan dengan suatu daerah Dd rendah melewati batuan yang permeabilitas besar.

Sumber : Soewarno (1991)

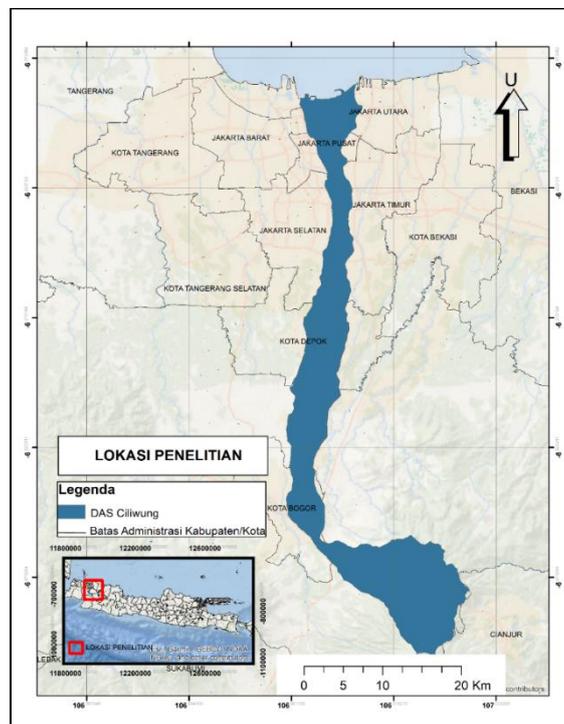
8. Bentuk DAS

Bentuk DAS memiliki arti penting dengan aliran sungai. Pola aliran sungai berpengaruh terhadap kecepatan terpusat aliran. Menurut Gregory dan Walling (1973), untuk menentukan bentuk DAS dapat diketahui dengan terlebih dahulu menentukan nilai R_c (*Basin Circularity*). R_c diperoleh dari perkalian koefisien (4) di kali dengan ϕ (3.14) di kali kembali dengan luas DAS. Hasil dari perkalian tersebut di bagi dengan keliling DAS. Persamaan 4 merupakan perhitungan bentuk DAS.

$$R_c = \frac{4\pi A}{P} \tag{5}$$



Gambar 1. Alur Penelitian



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengolahan data DEMNAS diperoleh informasi morfometri DAS Ciliwung. Pengolahan data DEMNAS menggunakan ArcMap 10.4 dapat mengolah data tabular dan data spasial secara bersamaan. Penentuan batas dan deliniasi DAS Ciliwung menggunakan *tools* yang tersedia di ArcMap dapat mempermudah dalam mendeliniasi. Hasil dari pengolahan data DEMNAS yang pertama berupa batas DAS Ciliwung yang telah ditentukan *outlet* dan ketinggian morfologi di DAS Ciliwung. Batas DAS Ciliwung dimulai dari bagian hulu yang secara batas administrasi memasuki bagian Kabupaten Bogor dan Kota Bogor, bagian tengah memasuki batas administrasi Kota Depok, dan Kota Jakarta termasuk bagian hilir (Fitri, 2020). Hal ini menandakan bahwa DAS Ciliwung melintasi beberapa batas administrasi Kota dan Kabupaten.

Data DEMNAS dapat menghasilkan informasi morfometri Secara sederhana, DEMNAS merupakan suatu model digital yang memuat data mengenai ketinggian atau elevasi yang menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi, termasuk juga relief dasar laut. Resolusi spasial DEMNAS sebesar 0.27-arcsecond , dengan menggunakan datum vertikal EGM2008 atau spasial 8,25 (Lumbantoruan et al., 2023). Sehingga data DEMNAS sangatlah cocok untuk mengidentifikasi morfometri DAS dan deliniasi batas DAS. Selain deliniasi batas DAS, data DEMNAS juga dapat menghasilkan informasi luas DAS, panjang lebar DAS, gradien sungai, orde sungai, tingkat percabangan sungai, kerapatan sungai, dan bentuk DAS.

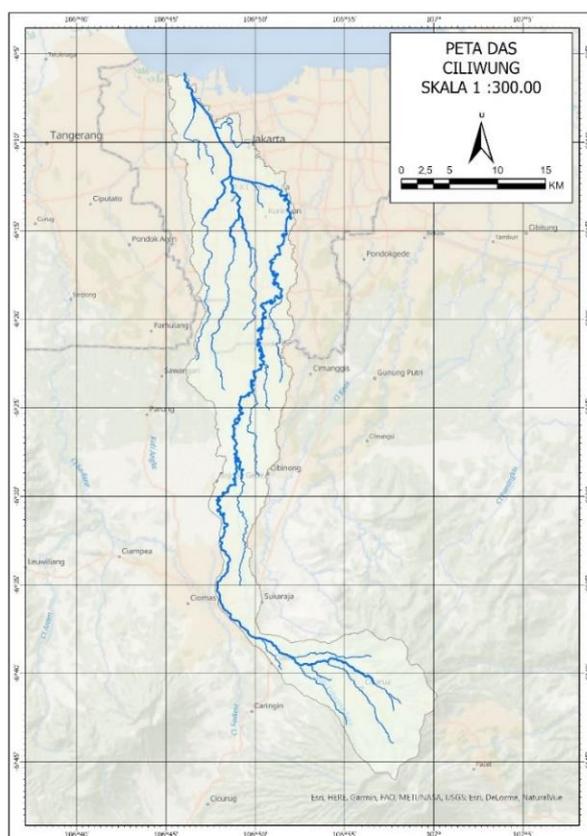
Berdasarkan tabel 3 merupakan hasil dari perhitungan morfometri DAS Ciliwung. Luas DAS Ciliwung sebesar 387.827 Km^2 dengan panjang DAS sebesar 141.256 Km^2 dan lebar DAS sebesar 3.464 Km^2 . Bentuk dari DAS Ciliwung berupa paralel atau memanjang, hal ini dilihat secara spasial dan perhitungan R_c (*Basin circularity*) diperoleh sebesar 2027.344 yang menandakan bahwa bentuk DAS Ciliwung memanjang. Sehingga dalam segi pengelolaan DAS Ciliwung mengintegrasikan 1 Kabupaten dan 3 Kota dalam pengelolaan bersama.

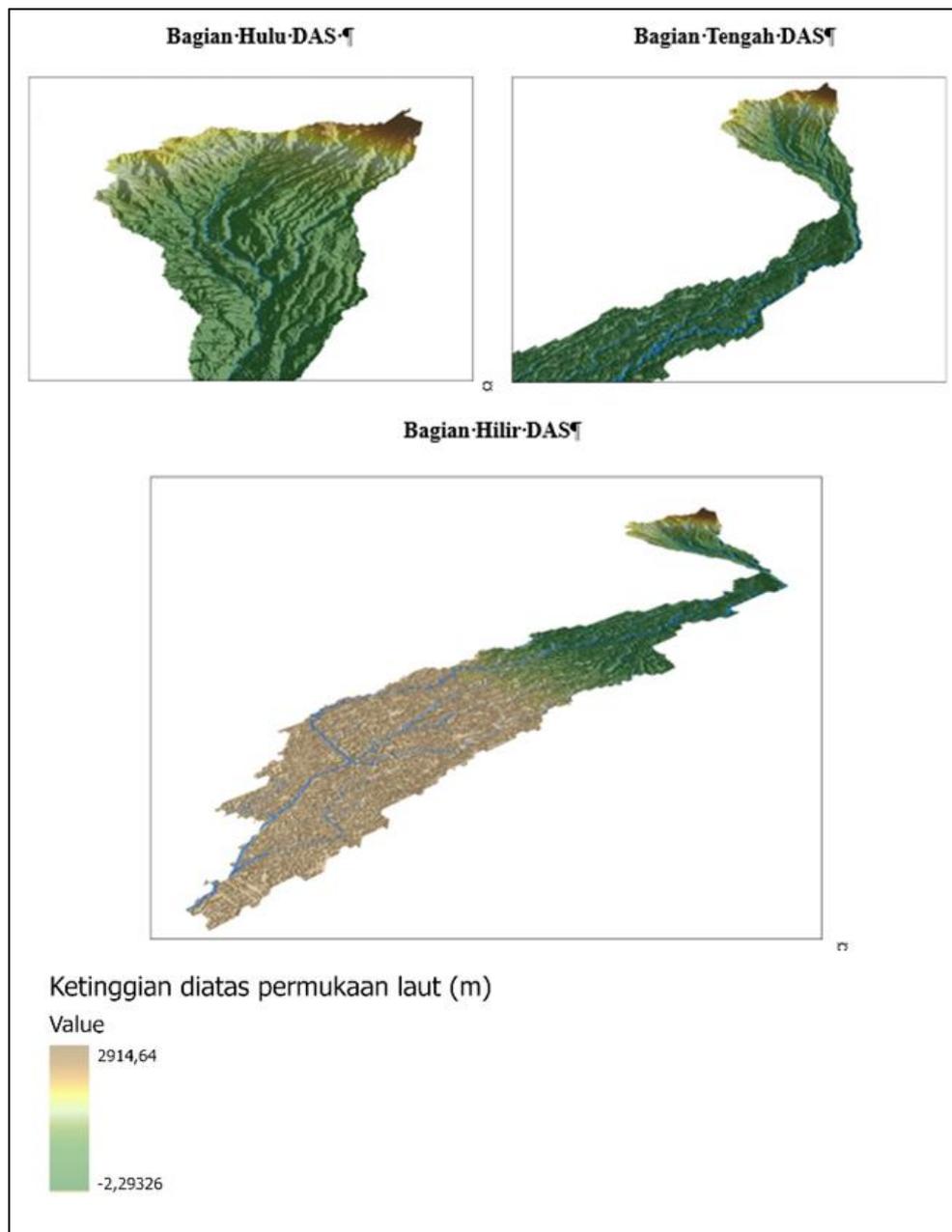
Pengolahan DEMNAS juga dapat mengidentifikasi sungai yang ada di DAS Ciliwung. Identifikasi sungai diperoleh dari *flow direction* dan *flow accumulation* untuk memperoleh aliran sungai. Hasil dari aliran sungai kemudian di klasifikasi ke dalam orde sungai. Jumlah orde sungai di DAS Ciliwung terdapat 39 orde sungai yang diklasifikasi ke dalam beberapa orde. Orde 1 sebanyak 21 sungai, orde 2 sebanyak 15 sungai, dan orde 3 sebanyak 3 sungai. Sungai terpanjang di DAS Ciliwung, yaitu sungai Ciliwung dengan panjang sungai sebesar 119 Km . Gradien sungai yang diperoleh sebesar 0.03% yang menandakan bahwa rata-rata kelerengan sungai dari bagian hulu ke bagian hilir. Kemudian tingkat percabangan sungai di DAS Ciliwung Alur sungai mempunyai kenaikan dan penurunan muka air banjir tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat, hal ini dikarenakan hasil perhitungan percabangan sungai diperoleh sebesar 4.2. Sedangkan untuk tingkat kerapatan sungai termasuk kelas sedang dengan nilai perhitungan sebesar 0.026. Kerapatan sungai DAS Ciliwung termasuk ke dalam alur sungai melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, sehingga angkutan sedimen yang tersangkut aliran akan lebih besar.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Morfometri DAS Ciliwung

Morfometri DAS	Hasil Perhitungan
Penentuan Batas DAS	Batas DAS Ciliwung melewati batas administrasi Kabupaten Bogor, Kota Bogor, Kota Depok, dan Kota Jakarta
Luas DAS	387.827 Km ²
Panjang dan Lebar DAS	Panjang DAS 141.256 Km ² dan Lebar DAS 3.464 Km ²
Gradien Sungai	0.03%
Orde Sungai	Orde 1: 21, Orde 2: 15 dan Orde 3: 3
Tingkat Percabangan Sungai	4.2
Kerapatan Sungai	0.026
Bentuk DAS	2027,344/ Memanjang/paralel

Penyajian data spasial agar lebih menarik dan informatif dapat disajikan melalui peta. Peta DAS Ciliwung dengan aliran sungai tersaji dalam gambar 3. Secara spasial DAS Ciliwung berbentuk memanjang. Gambar 4 dengan 3D *modelling* dapat memberikan gambaran secara interaktif, realistis, dan menarik dalam menyajikan data spasial. Terlihat bahwa perbedaan bagian hulu, tengah, dan hilir memiliki elevasi dan penutup lahan yang berbeda. Wilayah bagian hulu cenderung tinggi, bagian tengah landai berbukit, dan hilir cenderung datar. Melalui peta, dapat disusun gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi fisik, hidrologis, dan lingkungan DAS Ciliwung, yang sangat penting untuk perencanaan pengelolaan sumber daya alam dan mitigasi risiko bencana (Saridewi et al., 2014, 2014; Sugandhi et al., 2023; Yudo, 2010; Yudo & Said, 2018).

**Gambar 3.** Peta DAS Ciliwung Hasil Pengolahan Data DEMNAS



Gambar 4. 3D Modelling DAS Ciliwung

Simpulan

Hasil pengolahan data penginderaan jauh yaitu data DEMNAS dapat mengidentifikasi morfometri daerah aliran sungai melalui sistem informasi geografis. Informasi morfometri DAS Ciliwung dapat digunakan dalam analisis lanjutan dalam pengelolaan DAS yang berkelanjutan. Berdasarkan hasil pengolahan data DEMNAS didapatkan luas DAS Ciliwung 387.827 km², panjang sungai induk 141.256 km. gradien 0.03%, tingkat kerapatan sungai 0.26, tingkat percabangan sungai 4.2 dan memiliki bentuk DAS memanjang. Penyajian peta secara tematik DAS Ciliwung dan 3 dimensi memberikan gambaran DAS secara utuh berdasarkan keruangan/spasial.

Daftar Pustaka

- Anggraheni, E., Sutjiningsih, D., Mulyono, B. H., Ningrum, I. A., & Yahya, D. M. (2022). Pengaruh Sebaran Spasial Hujan terhadap Pemilihan Metode Hujan Wilayah Berbasis Analisis Geospasial. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 81–92.
- Burrough, P. A. (1986). Principles of geographical. *Information Systems for Land Resource Assessment*. Clarendon Press, Oxford. <https://www.academia.edu/download/2438559/9fjg8q78n4wux4l.pdf>
- Farda, N. M. (2017). Multi-temporal land use mapping of coastal wetlands area using machine learning in Google earth engine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98(1), 012042. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/98/1/012042/meta>
- Fitri, R. (2020). Karakteristik DAS Ciliwung Hulu Provinsi Jawa Barat. *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 9(1). <https://ejournal.unib.ac.id/naturalis/article/view/12241>
- Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage basin form and process*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/647389cc2c1d629bc98c4983>
- Handayani, D., & Asyary, A. (2019). Watershed damage in Jakarta: Case study on Ciliwung Watershed. *J. Ultimate Public Health*, 3, 225–227.
- Harsoyo, B. (2013). Mengulas penyebab banjir di wilayah DKI Jakarta dari sudut pandang geologi, geomorfologi dan morfometri sungai. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 14(1), 37–43.
- Irwansyah, E. (2013). *Sistem informasi geografis: Prinsip dasar dan pengembangan aplikasi*. DigiBook Yogyakarta.
- Ismanto, R. D., Fitriana, H. L., Manalu, J., Purboyo, A. A., & Prasasti, I. (2023). Development of Flood-Hazard-Mapping Model Using Random Forest and Frequency Ratio in Sumedang Regency, West Java, Indonesia. *Geomatics & Environmental Engineering*, 17(6). <https://www.gae.e.agh.edu.pl/gae/article/view/519>
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1979). Remote sensing and image interpretation(Book). *New York, John Wiley and Sons, Inc.*, 1979. 624 p.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographical information systems and science*. J. Wiley & sons.
- Lumbantoruan, S. I., Persadanta, P., & Adrian, W. (2023). Analisis Komparasi Elevasi DEMNAS dan ASTER GDEM Terhadap Hasil Survei Terestris. *Jurnal Teknik Transportasi*, 2(2), 86–101.
- Paramitha, P. P., Tambunan, R. P., & Indra, T. L. (2020). Kajian pengurangan risiko bencana banjir di DAS Ciliwung. *IJEEM-Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, 5(2), 100–124.
- Purboyo, A. A. (2022). *Analisis Perubahan Kekritisan Lingkungan Menggunakan Algoritma Environmental Criticality Index Di Kota Depok Tahun 2000-2021* [Skripsi, Universitas Pendidikan Indonesia]. <http://repository.upi.edu/>

- Purboyo, A. A., Ramadhan, A. H., Safitri, E., Ridwana, R., & Himayah, S. (2021). Identifikasi Ruang Terbuka Hijau Menggunakan Metode Normalized Difference Vegetation Index Di Kota Depok. *Jurnal Sains Informasi Geografi (J SIG)*, 4(1), 12–21. <https://doi.org/10.31314/j.sig.v4i1.740>
- Robo, S., Pawitan, H., Tarigan, S. D., & Dasanto, B. D. (2018). Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya Terhadap Respon Hidrologi DAS Ciliwung Hulu. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 3(2), 157.
- Saridewi, T. R., Hadi, S., Fauzi, A., & Rusastra, I. W. (2014). Penataan ruang Daerah Aliran Sungai Ciliwung dengan pendekatan kelembagaan dalam perspektif pemantapan pengelolaan usahatani. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 32(2), 87–102. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/fae/article/view/1115>
- Setiawan, I. (2016). Peran Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Spasial (Spatial Thinking). *Jurnal Geografi Gea*, 15(1). <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea/article/view/4187>
- Sobatnu, F., Irawan, F. A., & Salim, A. (2017). Identifikasi dan pemetaan morfometri daerah aliran sungai Martapura menggunakan teknologi GIS. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 1(2), 45–52. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v1i2.432>
- Soewarno, S. (1991). *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)* (Vol. 825). J0va.
- Sugandhi, N., Rakuasa, H., Zainudin, Z., Wahab, W. A., Kamiludin, K., Jaelani, A., Ramdhani, R., & Rinaldi, M. (2023). Pemodelan Spasial Limpasan Genangan Banjir dari DAS Ciliwung di Kel. Kebon Baru dan Kel. Bidara Cina DKI Jakarta. *ULIL ALBAB: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(5), 1685–1692.
- Sutanto. (2016). *Metode Penelitian Penginderaan Jauh*. OMBAK.
- Suwarno, J., Kartodiharjo, H., Pramudya, B., & Rachman, S. (2011). Pengembangan Kebijakan Pengelolaan Berkelanjutan DAS Ciliwung Hulu Kabupaten Bogor. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 8(2), 115–131.
- Wigati, R. (2013). Analisis Banjir Sungai Ciliwung (Studi Kasus Ruas Sungai Lenteng Agung-Manggarai). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 2(1). <https://pustaka.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/1985>
- Yudo, S. (2010). Kondisi kualitas air Sungai Ciliwung di wilayah DKI Jakarta ditinjau dari parameter organik, amoniak, fosfat, deterjen dan bakteri coli. *Jurnal Air Indonesia*, 6(1). <https://ejournal.bppt.go.id/index.php/JAI/article/view/2452>
- Yudo, S., & Said, N. I. (2018). Status Kualitas Air Sungai Ciliwung di Wilayah DKI Jakarta Studi Kasus: Pemasangan Stasiun Online Monitoring Kualitas Air di Segmen Kelapa Dua “Masjid Istiqlal. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 13–22.
- Yunus, H. S. (2008). *Konsep dan Pendekatan Geografi Memaknai Hakekat Keilmuannya*. <https://taufik.staff.ugm.ac.id/data/uploads/pdf/pendekatan-geografi-prof-hadi-sabari-yunus.pdf>
- Yunus, H. S. (2010). *Metodologi Penelitian Wilayah Kontemporer*. Pustaka Belajar.