

DESAIN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) BERKELANJUTAN BERBASIS JASA EKOSISTEM (STUDI KASUS: DAS CISADANE)

MUHRINA ANGGUN SARI HASIBUAN



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.



@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Desain Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Berkelanjutan Berbasis Jasa Ekosistem (Studi Kasus: DAS Cisadane)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2025

Muhrina Anggun Sari Hasibuan
P0602211026

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.



@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

RINGKASAN

MUHRINA ANGGUN SARI HASIBUAN. Desain Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Berkelanjutan Berbasis Jasa Ekosistem (Studi Kasus: DAS Cisadane). Dibimbing oleh WIDIATMAKA, SURIA DARMA TARIGAN, dan WIWIN AMBARWULAN.

DAS Cisadane merupakan salah satu dari 15 DAS prioritas untuk segera dipulihkan kondisinya. DAS ini terletak di kawasan strategis nasional untuk pembangunan yang meliputi Provinsi Jawa Barat, dan Banten dengan luas 151.126 ha. Salah satu permasalahan pada DAS Cisadane adalah tingginya laju alih fungsi lahan yang dapat mengganggu fungsi DAS sebagai penyedia jasa ekosistem, terutama akibat ekspansi lahan terbangun yang cenderung kurang terkendali. Gangguan hidrologi di DAS Cisadane diantaranya dapat diamati melalui peningkatan peristiwa banjir dari tahun ke tahun. Upaya pengelolaan DAS berkelanjutan tentu sangat diperlukan DAS Cisadane dalam rangka menjaga fungsinya sebagai kawasan penyedia jasa ekosistem berupa pengaturan air dan simpanan karbon. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang holistik, terpadu dan dinamis dengan mempertimbangkan pengaruh perubahan penggunaan dan penutupan lahan (*Land Use Land Cover*, LULC) terhadap karakteristik jasa ekosistem DAS. Penelitian ini bertujuan untuk membangun desain pengelolaan DAS Cisadane berkelanjutan berbasis jasa ekosistem yang terdiri dari jasa pengaturan air dan iklim.

Pembangunan model hidrologi menggunakan *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT), sedangkan analisis penyimpanan karbon menggunakan model *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade offs* (InVEST). Skenario perubahan penggunaan lahan menggunakan *Land Change Modeler* (LCM). Simulasi model hidrologi dan penyimpanan karbon menggunakan tiga skenario perubahan lahan tersebut yaitu *business as usual* (BAU), *protecting paddy field* (PPF), dan *protecting forest area* (PFA). Analisis sebaran genangan banjir dilakukan menggunakan model *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang disebut dengan HEC-RAS. Identifikasi dan penentuan faktor kunci yang memengaruhi keberhasilan pengelolaan DAS berkelanjutan dilakukan dengan menggunakan model *Interpretive Structural Modeling* (ISM). Desain pengelolaan DAS berbasis jasa ekosistem pada DAS Cisadane dibangun berdasarkan integrasi data dari sub tujuan penelitian sebelumnya yang mencakup jasa pengaturan air, jasa pengaturan iklim dan strategi pengelolaan.

Hasil penyusunan model hidrologi di DAS Cisadane memiliki kinerja model yang memuaskan. Alur sungai utama didasarkan pada hasil proses delineasi DAS, dengan batas DAS terdiri atas 85 sub DAS. Pemodelan dilakukan dengan mengasumsikan data curah hujan dan debit sungai menggunakan data curah hujan dan debit sungai pada tahun 2017-2021. Karakteristik hidrologi menunjukkan bahwa laju aliran maksimum (Q_{max}) dan minimum (Q_{min}) adalah 199,4 m³/s, dan 4,9 m³/s, serta laju aliran bulanan rata-rata sebesar 59,5 m³/s. Proyeksi perubahan LULC menunjukkan peningkatan lahan terbangun dan penurunan area hutan pada skenario BAU. Hal ini berdampak pada peningkatan aliran permukaan dan penurunan infiltrasi yang membawa dampak signifikan terhadap dinamika hidrologi DAS Cisadane. Skenario PFA memberikan respons

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

hidrologi terbaik dengan penurunan aliran permukaan dan hasil air yang signifikan karena peningkatan infiltrasi air, serta peningkatan air tanah, aliran lateral dan evapotranspirasi. Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga vegetasi hijau dan melestarikan lahan untuk mendukung ketersediaan air yang berkelanjutan.

Dalam memodelkan distribusi banjir, digunakan komponen distribusi banjir yang terintegrasi dengan profil tinggi muka air. Pendekatan ini mempertimbangkan aliran permanen dengan mengacu pada debit tanggal 19 Januari 2022. Skenario simulasi genangan menggunakan periode ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun. Hasilnya, ada 30 kabupaten yang terdampak banjir. Luas genangan banjir tahunan diperkirakan meningkat sebesar 24,41 ha per tahun pada setiap periode debit. Teluk Naga, Sepatan Timur, Paku Haji, dan Kecamatan Neglasari mempunyai peluang genangan terluas dan terdalam di Kabupaten Tangerang, dengan total luas genangan 644,7 ha. Kedalamannya akan bertambah dari 0,40 menjadi 1,33 m seiring dengan meningkatnya debit periode ulang. Kabupaten Tangerang yang terletak di DAS Cisadane Hilir menjadi wilayah yang paling terdampak.

Hasil penelitian menggunakan InVEST menunjukkan bahwa ketiga skenario yang disajikan memiliki implikasi lingkungan dan sosial-ekonomi yang berbeda, termasuk potensi perubahan dalam kumpulan karbon dan mitigasi iklim. Hutan memiliki simpanan karbon tertinggi di DAS Cisadane, diikuti oleh lahan pertanian dan lahan terbangun yang memiliki simpanan karbon yang lebih rendah. Peningkatan simpanan karbon di lahan pertanian kering dan lahan terbangun terjadi disertai penurunan signifikan di kawasan hutan akibat konversi lahan dan deforestasi pada skenario PPF dan BAU. Hasil *Net Present Value* (NPV) pada seluruh skenario menunjukkan hutan memiliki kontribusi nilai ekonomi yang positif. Valuasi jasa pengaturan iklim tertinggi berada pada skenario PFA, sebesar Rp 636 miliar. Sementara, valuasi jasa air terbesar juga dihasilkan oleh skenario PFA dengan nilai Rp 1,2 triliun di tahun 2050 karena adanya surplus air yang besar. Kedua jasa ekosistem ini memiliki hubungan yang positif (sinergis).

Kebijakan dan strategi pengelolaan DAS dianalisis dengan metode ISM, dalam hal ini digunakan tiga elemen untuk mengukur pengelolaan DAS Cisadane, yaitu kendala, kebutuhan dan aktor/peran dalam pengelolaan DAS Cisadane. Hasil analisis strategi menyimpulkan kurangnya koordinasi dan keterpaduan pengelolaan sumber daya air antar *stakeholder* terkait dan kurangnya konsistensi dalam pelaksanaan peraturan tata ruang menjadi kendala utama dalam pengelolaan DAS Berkelanjutan. Penegakan hukum pelaksanaan tata ruang serta akselerasi dan kolaborasi pengelolaan DAS Terpadu menjadi kebutuhan prioritas yang harus dipenuhi untuk mendukung strategi pengelolaan DAS Cisadane berkelanjutan. Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian, dan Pengembangan Daerah (Bappeda) serta Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane (BBWS Ciliwung Cisadane) memiliki peranan penting dalam implementasi kebijakan pengelolaan DAS Cisadane berkelanjutan. Ketiga elemen kunci tersebut saling terkait karena pengelolaan DAS memerlukan koordinasi antar instansi perencanaan, pelaksana, dan pengendali/pengawas. Secara keseluruhan, perubahan yang diharapkan untuk mewujudkan pengelolaan DAS Cisadane yang berkelanjutan yaitu koordinasi, konsistensi terhadap peraturan dan kesadaran meningkat. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi perencanaan penggunaan lahan dengan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

mempertimbangkan kombinasi luasan penggunaan lahan yang mampu menjamin keselarasan antara kepentingan lingkungan, sosial dan ekonomi.

Desain pengelolaan berkelanjutan DAS Cisadane terbagi menjadi tiga bagian utama: hulu, tengah, dan hilir, dengan pendekatan berbasis ekosistem untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan sumber daya air. Di hulu, fokusnya adalah konservasi hutan, rehabilitasi lahan, pengendalian erosi dengan terasering, pembuatan sumur resapan, dan pendampingan agroforestri untuk masyarakat. Bagian tengah menitikberatkan pada pengendalian banjir dengan pembangunan tanggul, optimalisasi waduk, serta pengelolaan IPAL dan IPAM untuk menjaga kualitas air. Di hilir, dilakukan proteksi mangrove, pembangunan polder untuk mitigasi banjir, sistem peringatan dini, serta pemeliharaan pintu air untuk mengatur aliran air secara efektif. Program yang dirancang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan masing-masing wilayah dapat menciptakan keseimbangan antara pelestarian ekosistem dan pemenuhan kebutuhan manusia secara berkelanjutan.

Kata kunci: Banjir, Karakteristik Hidrologi, Kebijakan Berkelanjutan, Penyerapan Karbon, Perubahan Tutupan Lahan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

SUMMARY

MUHRINA ANGGUN SARI HASIBUAN. Sustainable Watershed Management Design Based on Ecosystem Services (Case Study: Cisadane Watershed). Supervised by WIDIATMAKA, SURIA DARMA TARIGAN, and WIWIN AMBARWULAN.

The Cisadane Watershed is one of the 15 priority watersheds urgently needing restoration. It is located in the national strategic area for development, encompassing the provinces of West Java and Banten, with an area of 151.126 hectares. One of the main issues in the Cisadane Watershed is the high rate of land-use change, which can disrupt the watershed's function as an ecosystem service provider, primarily due to the uncontrolled expansion of built-up land. Hydrological disturbances in the Cisadane Watershed can be observed through the increasing frequency of flooding each year. Sustainable watershed management efforts are therefore crucial to maintaining the Cisadane Watershed's function as an ecosystem service provider such as water regulation and carbon storage. A holistic, integrated, and dynamic approach is necessary, considering the impact of land use and land cover (LULC) changes on the characteristics of watershed ecosystem services. This study aims to build a sustainable Cisadane watershed management design based on ecosystem services consisting of water and climate management services.

The hydrological model development uses the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), while the carbon storage analysis utilizes the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST) model. The land use change scenarios are based on the Land Change Modeler (LCM). The hydrological and carbon storage model simulations employ three land use change scenarios: Business as Usual (BAU), Protecting Paddy Field (PPF), and Protecting Forest Area (PFA). The flood inundation distribution analysis uses the River Analysis System (RAS) model, created by the Hydrologic Engineering Center (HEC) and referred to as HEC-RAS. The identification and determination of key factors influencing the success of sustainable watershed management are performed using the Interpretive Structural Modeling (ISM) method. The design of ecosystem service-based watershed management in the Cisadane Watershed is developed based on the integration of data from the previous sub-research objectives, which include water regulation services, climate regulation services, and management strategies.

The hydrological model results for the Cisadane watershed demonstrate satisfactory model performance. The main river channel is based on the watershed delineation process, with the watershed boundaries consisting of 85 sub-watersheds. The modeling used rainfall and river discharge data from 2017-2021. The hydrological characteristics indicate that the maximum (Q_{max}) and minimum (Q_{min}) flow rates are 199,4 m^3/s and 4,9 m^3/s , respectively, with an average monthly flow rate of 59,5 m^3/s . The LULC change projection shows an increase in built-up land and a decrease in forest area under the BAU scenario. This results in increased surface runoff and decreased infiltration, significantly impacting the hydrological dynamics of the Cisadane watershed. The PFA scenario provides the best hydrological response with reduced surface runoff and significantly improved water yield due to increased water infiltration and

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

groundwater, lateral flow, and evapotranspiration. Therefore, it is crucial to maintain green vegetation and conserve land to support sustainable water availability.

Flood distribution modeling used the flood distribution component on the water surface profile component, with permanent flow from January 19, 2022. Flood inundation simulation scenarios used 5, 10, 25, 50, and 100-year return periods. Results showed 30 districts affected by floods, with the annual flood inundation area expected to increase by 24.41 hectares per year for each discharge period. Teluk Naga, Sepatan Timur, Paku Haji, and Neglasari sub districts had the most extensive and most profound flood inundation areas in Tangerang Regency, with a total inundation area of 644.7 hectares (permanent flow). The depth increased from 0,40 to 1,33 meters with the rising return period discharge. Tangerang Regency, located in the downstream Cisadane Watershed, was the most affected area.

The InVEST model results showed that the three presented scenarios have different environmental and socio-economic implications, including potential changes in carbon pools and climate mitigation. Forests had the highest carbon storage in the Cisadane Watershed, followed by agricultural land and built-up land, which had lower carbon storage. In the PPF and BAU scenarios, there was an increase in carbon storage in dry farmland and built-up land but a significant decrease in forest areas due to land conversion and deforestation. The Net Present Value (NPV) results in all scenarios indicate that forests contribute a positive economic value. The highest valuation of climate regulation services is found in the PFA scenario, amounting to IDR 636 billion. The largest water services valuation was generated by the PFA scenario with a value of IDR 1,2 trillion due to the large water surplus. These two ecosystem services have a positive (synergistic) relationship.

Watershed management policies and strategies were analyzed using the ISM method, involving three elements to measure Cisadane Watershed management: constraints faced, needs to be met, and actors/roles involved in Cisadane Watershed management activities. The ISM analysis results concluded that the main constraints in sustainable watershed management activities were coordination and integration of water resource management among relevant *stakeholders* and consistency in spatial planning regulations. Prioritized needs included enforcing spatial planning regulations and accelerating and collaborating on integrated watershed management. The Regional Development Planning, Research, and Development Agency (Bappeda) and the Ciliwung Cisadane River Basin Organization (BBWS Ciliwung Cisadane) played significant roles in implementing sustainable Cisadane Watershed management policies. These three fundamental elements were interrelated as watershed management required coordination among planning, implementation, and control/supervision agencies. Overall, the expected changes for sustainable Cisadane Watershed management included improved coordination, increased consistency with regulations, and raised awareness. Therefore, efforts are needed to improve these conditions by optimizing land use planning in the Cisadane Watershed and considering a combination of land uses that ensure synergy between environmental, social, and economic interests.

The sustainable management design of the Cisadane Watershed is divided into three main sections: upstream, midstream, and downstream, using an ecosystem-based approach to ensure environmental and water resource sustainability. In the upstream area, the focus is on forest conservation, land rehabilitation, erosion control through terracing, construction of infiltration wells, and agroforestry assistance for local communities. The midstream area emphasizes flood control through the construction of levees, optimization of reservoirs, and management of wastewater treatment plants and drinking water treatment plants to maintain water quality. Downstream efforts include mangrove protection, polder construction for flood mitigation, early warning systems, and the maintenance of water gates to effectively regulate water flow. Programs designed to align with the characteristics and needs of each region aim to create a balance between ecosystem conservation and the sustainable fulfillment of human needs.

Keywords: Carbon Sequestration, Flood, Hydrological Characteristics, Land Use/Land Cover Change, Sustainability Policy

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

DESAIN PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) BERKELANJUTAN BERBASIS JASA EKOSISTEM (STUDI KASUS: DAS CISADANE)

MUHRINA ANGGUN SARI HASIBUAN

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan
Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.



Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr.Ir. Bambang Pramudya N., M.Eng.
- 2 Dr. Muchamad Saparis Soedarjanto, S. Si. M.T

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr.Ir. Bambang Pramudya N., M.Eng.
- 2 Dr. Muchamad Saparis Soedarjanto, S. Si. M.T

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

Judul Disertasi : Desain Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)
Berkelanjutan Berbasis Jasa Ekosistem (Studi Kasus: DAS
Cisadane)

Nama : Muhrina Anggun Sari Hasibuan
NIM : P0602211026

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA, IPU.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Suria Darma Tarigan, M. Sc.

Pembimbing 3:
Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA, IPU.
NIP 196212011987031002

Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop
NIP 197003291996081001



Tanggal Ujian:
(tanggal pelaksanaan ujian)

Tanggal Lulus:
(tanggal penandatanganan oleh Dekan
Fakultas/Sekolah ...)



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR-E, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga disertasi ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2022 sampai bulan Januari 2025 ini diberi judul “Desain Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Berkelanjutan Berbasis Jasa Ekosistem (Studi Kasus: Das Cisadane)”. Penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini atas dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Widiatmaka, DAA, IPU selaku ketua komisi pembimbing sekaligus ketua program studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Sekolah Pascasarjana IPB, juga kepada Prof. Dr. Ir. Suria Darma Tarigan, M.Sc dan Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, M.Sc selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, memberikan masukan dan arahan kepada penulis.
2. Prof. Dr.Ir. Bambang Pramudya N., M.Eng. dan Dr. Muchamad Saporis Soedarjanto, S. Si. M.T selaku penguji dan promotor luar komisi pembimbing yang telah membimbing, memberikan masukan dan arahan kepada penulis.
3. Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB University, Sekolah Pascasarjana IPB University beserta staf dan jajarannya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menimba ilmu dengan menghadirkan pelayanan akademik terbaik.
4. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, Badan Perencana Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Tangerang dan Kabupaten Tangerang yang telah memberikan dukungan data untuk pelaksanaan penelitian.
5. Orang tua, suami dan anak-anak serta keluarga besar penulis atas segala doa, dukungan, kasih sayang dan semangat yang telah diberikan.
6. Teman- teman seperjuangan program Doktor PSL IPB atas motivasi, saran dan kerjasamanya.

Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2025

Muhrina Anggun Sari Hasibuan



@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kerangka Pemikiran	3
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Tujuan	7
1.5 Manfaat	7
1.6 Ruang Lingkup	7
1.7 Kebaruan (<i>novelty</i>)	8
II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)	10
2.2 Jasa Ekosistem	12
2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)	14
2.4 Siklus Hidrologi	16
2.5 Model Hidrologi	18
2.6 Model SWAT	20
2.7 Bencana Banjir	23
2.8 Model HEC-RAS	24
2.9 Penyimpanan dan Penyerapan Karbon	25
2.10 Model InVEST	27
2.11 Model ISM	28
2.12 Pembangunan Berkelanjutan	29
III METODE	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Alat, Data dan Prosedur Analisis	31
IV KONDISI UMUM LOKASI PENELITIAN	33
4.1 Batas Administratif	33
4.2 Karakteristik Iklim	33
4.3 Jenis Tutupan Lahan	35
4.4 Jenis Tanah	37
4.5 Kemiringan Lahan	40
4.6 Sosial dan Ekonomi	41
V JASA EKOSISTEM PENGATURAN AIR DI DAS CISADANE	44
5.1 Pendahuluan	44
5.2 Metode	45
5.3 Hasil dan Pembahasan	53
5.4 Simpulan	76
VI JASA EKOSISTEM PENGATURAN IKLIM DAS CISADANE	77
6.1 Pendahuluan	77
6.2 Metode	78

6.3	Hasil dan Pembahasan	81
6.4	Simpulan	92
VII	ANALISIS STRATEGI PENGELOLAAN DAS CISADANE	93
7.1	Pendahuluan	93
7.2	Metode	94
7.3	Hasil dan Pembahasan	98
7.4	Simpulan	114
VIII	PEMBAHASAN UMUM	115
8.1	Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Jasa Pengaturan Air dan Jasa Pengaturan Iklim di DAS Cisadane	115
8.2	Desain Pengelolaan DAS Berkelanjutan Berbasis Jasa Ekosistem DAS Cisadane	120
IX	SIMPULAN DAN SARAN	126
9.1	Simpulan	126
9.2	Saran	126
	DAFTAR PUSTAKA	128
	LAMPIRAN	147
	RIWAYAT HIDUP	180

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

DAFTAR TABEL

1	Penelitian yang pernah dilakukan terkait kebaruan	9
2	Penilaian jasa lingkungan oleh <i>software</i> InVEST	27
3	Matriks metodologi penelitian	32
4	Distribusi LULC DAS Cisadane tahun 2021	35
5	Skenario untuk prediksi LULC tahun 2030 dan 2050	37
6	Luas jenis tanah DAS Cisadane	39
7	Luas kemiringan lahan DAS Cisadane	41
8	Klasifikasi kemiringan lahan	46
9	Tingkatan kinerja model menurut statistik yang direkomendasikan	48
10	Nilai dan perubahan komponen hidrologi tahunan dalam skenario BAU	57
11	Nilai dan perubahan komponen hidrologi tahunan dalam skenario PPF	59
12	Nilai dan perubahan komponen hidrologi tahunan dalam skenario PFA	60
13	Besar debit eksisting periode ulang	64
14	Luas genangan banjir pada debit periode ulang 5, 10, 25, 50 dan 100	70
15	Neraca air DAS Cisadane tahun 2021, 2030, dan 2050	74
16	Kebutuhan data InVEST: <i>carbon storage and sequestration</i>	78
17	Penyimpanan dan penyerapan karbon tahun 2010, 2015, dan 2021	82
18	Penyimpanan dan penyerapan karbon dalam skenario BAU	83
19	Penyimpanan dan penyerapan karbon dalam skenario PPF	85
20	Penyimpanan dan penyerapan karbon dalam skenario PFA	87
21	Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)	95
22	Identifikasi elemen dan sub-elemen pengelolaan DAS berkelanjutan	99
23	<i>Pentahelix strategies</i>	100

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pemikiran	5
2	Siklus hidrologi (Ramdan 2004)	17
3	Skema simulasi neraca air model SWAT	21
4	Lokasi penelitian di DAS Cisadane	31
5	Peta lokasi penelitian DAS Cisadane	33
6	Sebaran stasiun data iklim NASA Power DAS Cisadane	34
7	Penggunaan lahan di DAS Cisadane tahun 2021	35
8	Peta jenis tanah DAS Cisadane	38
9	Peta Kemiringan lahan DAS Cisadane	40
10	Tahapan analisis SWAT di DAS Cisadane	48
11	Tahapan analisis HEC-RAS di DAS Cisadane	52
12	Peta deliniasi DAS Cisadane	53
13	Fluktuasi debit bulanan rerata DAS Cisadane tahun 2017-2021	54

14	Perbandingan hidrograf observasi dan model setelah kalibrasi tahun 2017-2020	55
15	Grafik <i>scatter plot</i> debit simulasi dan observasi (a) kalibrasi (tahun 2017-2020) dan (b) validasi (tahun 2021)	56
16	Nilai dan perubahan komponen hidrologi tahunan dalam skenario	61
17	Hubungan elevasi dasar saluran dengan debit total (a) hulu sungai dan (b) hilir sungai	65
18	Data skema geometris delineasi sungai dari HEC-RAS	67
19	Profil muka air penampang melintang dari hulu hingga hilir sungai Cisadane	68
20	Koreksi sebaran banjir kondisi aktual (Sentinel-1A) dan hasil model HEC-RAS	72
21	Valuasi ekonomi ketersediaan air DAS Cisadane tahun 2021, 2030, dan 2050	75
22	Tahapan analisis model InVEST DAS Cisadane	81
23	Penyimpanan karbon pada tahun 2010,2015, dan 2021	82
24	Penyimpanan karbon pada tahun 2030 dan 2050	88
25	NVP karbon kelas hutan (FRT) dalam berbagai skenario (Rp)	91
26	Tahapan analisis metode ISM DAS Cisadane	97
27	Hubungan Driver Power (DP) dan Dependence (D) (Marimin 2010)	97
28	Grafik hubungan <i>driver power-dependence</i> elemen kendala	102
29	Struktur hierarki elemen dan sub-elemen kendala	103
30	Grafik hubungan <i>driver power-dependence</i> elemen kebutuhan	107
31	Struktur hierarki elemen dan sub-elemen kebutuhan	107
32	Grafik (a) hubungan <i>driver power-dependence</i> elemen aktor	111
33	Struktur hierarki elemen dan sub-elemen aktor	111
34	Valuasi ekonomi jasa ekosistem DAS Cisadane tahun 2030 dan 2050	118
35	Pemetaan faktor-faktor pengelolaan DAS Cisadane	121
36	Keterkaitan kebijakan pengelolaan DAS Cisadane berbasis jasa ekosistem	122
37	Desain pengelolaan DAS Cisadane berkelanjutan	123

DAFTAR LAMPIRAN

1	Luas sub DAS Cisadane hasil SWAT	148
2	Nilai parameter input data jenis tanah	149
3	Nilai parameter input data tutupan lahan	150
4	Peta penggunaan lahan tahun kajian aktual	150
5	Nilai parameter input data pembangkit iklim (1)	151
6	Nilai parameter input data pembangkit iklim (2)	152
7	Peta parameter pendorong prediksi penggunaan lahan DAS Cisadane	153
8	Peta prediksi penggunaan lahan tahun 2030 dan 2050	154
9	Parameter model SWAT	155
10	Luas genangan banjir tanggal 19 Januari 2022 di tiap kecamatan	156
11	Kedalaman genangan banjir tanggal 19 Januari 2022 di tiap kecamatan	157
12	Peta sebaran dan kedalaman genangan banjir pada kondisi eksisting	158

13	Peta sebaran dan kedalaman genangan banjir pada periode ulang 5 tahunan	159
14	Peta sebaran dan kedalaman genangan banjir pada periode ulang 10 tahunan	160
15	Peta sebaran dan kedalaman genangan banjir pada periode ulang 25 tahunan	161
16	Peta sebaran dan kedalaman genangan banjir pada periode ulang 50 tahunan	162
17	Peta sebaran dan kedalaman genangan banjir pada periode ulang 100 tahunan	163
18	Profil muka air sungai tiap debit periode ulang tanggal 19 Januari 2022	164
19	<i>Cross section</i> hulu DAS Cisadane	164
20	<i>Cross section</i> hilir DAS Cisadane	165
21	Kuesioner Analisis Kelembagaan DAS Cisadane	166
22	<i>Structural Self Interaction Matrix</i> (SSIM) elemen kendala	172
23	<i>Structural Self Interaction Matrix</i> (SSIM) elemen kebutuhan	172
24	<i>Structural Self Interaction Matrix</i> (SSIM) elemen aktor	173
25	<i>Reachability Matrix</i> (RM) elemen kendala	173
26	<i>Reachability Matrix</i> (RM) elemen kebutuhan	174
27	<i>Reachability Matrix</i> (RM) elemen aktor	174
28	<i>Revision matrix</i> elemen kendala	175
29	<i>Revision matrix</i> elemen kebutuhan	175
30	<i>Revision matrix</i> elemen aktor	176
31	Matriks final elemen kendala	176
32	Matriks final elemen kebutuhan	177
33	Matriks final elemen aktor	177
34	Hasil pendapat pakar	178

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.