



**MODEL KEBIJAKAN  
ALOKASI BEBAN PENCEMARAN AIR DI SUNGAI CILEUNGSI  
KABUPATEN BOGOR JAWA BARAT**

**MUHAMAD KOMARUDIN**



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



### *@Hak cipta milik IPB University*

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

## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi Kabupaten Bogor Jawa Barat” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun 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, Mei 2026  
Muhamad Komarudin  
P0602202032

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



## RINGKASAN

Muhamad Komarudin. Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi Kabupaten Bogor Jawa Barat. Dibimbing oleh Anas M Fauzi, Yanuar J Purwanto, Hartrisari Hardjomidjojo, Budi Kurniawan.

Disertasi ini membahas model kebijakan alokasi beban pencemaran air di Sungai Cileungsi Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Sungai Cileungsi mengalami tekanan pencemaran akibat meningkatnya aktivitas domestik, industri, pertanian, peternakan, perubahan penggunaan lahan, serta lemahnya pengendalian sumber pencemar. Penelitian ini tidak hanya menilai kualitas air, tetapi merumuskan model kebijakan yang menghubungkan kondisi biofisik sungai, sumber pencemar, aktor kelembagaan, instrumen pengendalian, dan prioritas program secara terpadu.

Disertasi ini bertujuan untuk : (1) menganalisis potensi beban pencemaran air di Sungai Cileungsi menurut sektor, distribusi spasial, dan waktu; (2) menyusun model Alokasi Beban Pencemaran Air Cileungsi; (3) menganalisis dinamika peran pembangun kepentingan dalam pengelolaan alokasi beban pencemaran air sungai; dan (4) menyusun model kebijakan alokasi beban pencemaran air sungai yang berkelanjutan.

Kerangka pikir penelitian dibangun dari hubungan antara sistem daratan dan badan air dalam DAS Cileungsi. Kualitas air sungai dipengaruhi oleh batas administrasi, batas DAS, karakteristik badan air, hidrologi, hidrolika, meteorologi, penggunaan lahan, serta sumber pencemar *point source* dan *non-point source*. Oleh karena itu, penelitian menggunakan pendekatan integratif yang menggabungkan analisis spasial berbasis SIG, inventarisasi beban pencemaran, pemodelan kualitas air QUAL2Kw, model dinamik Powersim, Load Action Translation, MACTOR, dan PROMETHEE.

Wilayah penelitian berada pada DAS Cileungsi seluas 26.614,68 ha yang terdiri atas Sub DAS Cileungsi, Citeureup, Cijanggal, Ciherang, Cibadak, dan Cikeruh. Sungai dimodelkan dalam empat segmen badan air dengan panjang total 48,93 km. Untuk menghubungkan sumber pencemar di daratan dengan segmen sungai penerima, penelitian menetapkan sembilan Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar, yaitu Citeureup, Cikeruh, Cibadak, Ciherang, Cijanggal, Cileungsi 1, Cileungsi 2, Cileungsi 3, dan Cileungsi 4.

Hasil analisis wilayah menunjukkan bahwa DAS Cileungsi mengalami peningkatan kawasan terbangun, terutama permukiman, tempat kegiatan, dan kawasan industri. Perubahan tutupan vegetatif menjadi lahan terbangun meningkatkan limpasan permukaan, erosi, serta potensi masuknya bahan pencemar ke sungai. Pengukuran kualitas air memperlihatkan bahwa parameter BOD dan COD telah melampaui baku mutu, sedangkan TSS masih memenuhi baku mutu sesaat, tetapi tetap perlu dikendalikan berdasarkan neraca beban agar daya tampung tidak terlampaui pada kondisi hidrologi tertentu.

Potensi Beban Pencemaran Air di DAS Cileungsi menunjukkan bahwa tekanan pencemaran didominasi oleh sektor domestik dan industri. Total potensi beban pencemaran mencapai 31.560,33 kg/hari untuk BOD, 57.947,78 kg/hari untuk COD, dan 29.864,35 kg/hari untuk TSS. Untuk parameter BOD, kontribusi terbesar berasal dari domestik sebesar 59,57%, sedangkan menurut parameter COD

didominasi industri sebesar 49,48%, sedangkan berdasarkan parameter TSS didominasi domestik sebesar 59,80% dan diikuti industri. Distribusi Potensi Beban Pencemaran terbesar berada pada wilayah hulu, Segmen 1, dan Segmen 2.

Model Alokasi Beban Pencemaran Air disusun menggunakan QUAL2Kw untuk parameter BOD, COD, dan TSS. Model BOD menunjukkan beban eksisting 4.480,90 kg/hari dan ABPA akhir menuju Kelas II sebesar 2.005,91 kg/hari, sehingga reduksi terutama perlu diarahkan pada non-point source. Model COD menunjukkan beban eksisting 28.199,39 kg/hari dan ABPA akhir 22.119,93 kg/hari, dengan respons yang dipengaruhi distribusi beban, debit, pengenceran, dan degradasi alami. Model TSS menunjukkan beban eksisting 3.632,22 kg/hari dan ABPA Kelas II sebesar 3.287,85 kg/hari, sehingga diperlukan pengendalian preventif sebesar 344,37 kg/hari. Berdasarkan sektor, kebutuhan penurunan beban berbeda antar parameter. Untuk BOD total reduksi sebesar 2.492,50 kg/hari, terutama di Segmen 1 dan Segmen 2, dengan sumber utama domestik sebesar 1.474,24 kg/hari dan industri 844,37 kg/hari. Untuk COD, total reduksi mencapai 6.079,46 kg/hari, terutama dari industri 3.007,89 kg/hari dan domestik 2.711,86 kg/hari. Untuk TSS, reduksi mencapai 482,81 kg/hari, didominasi industri 344,37 kg/hari dan peternakan 126,59 kg/hari. Secara ekonomi, pencapaian mutu air Kelas II memerlukan dukungan biaya pengolahan yang relatif besar, dengan estimasi biaya operasional atau *operational expenditure* (OPEX) sebesar Rp16.633.128,04/hari atau Rp5.987.926.093,75/tahun, serta biaya investasi atau *capital expenditure* (CAPEX) sebesar Rp19.959.753.645,84. Oleh karena itu, implementasi pengendalian perlu dilakukan secara bertahap melalui model dinamik untuk memantau perubahan beban, menguji skenario intervensi, dan mendukung kebijakan operasional berbasis optimasi biaya.

Model dinamik Powersim dikembangkan untuk menjembatani hasil QUAL2Kw dengan simulasi kebijakan. QUAL2Kw menyediakan informasi teknis tentang kualitas air, beban eksisting, ABPA, dan KPAL, sedangkan model dinamik digunakan untuk memantau perubahan beban, menguji intervensi, dan mendukung simulasi kebijakan secara operasional. BOD ditempatkan sebagai parameter pengendali utama karena paling konsisten menunjukkan kebutuhan reduksi dan berpengaruh langsung terhadap proses deoksigenasi sungai.

Model kebijakan ABPA dirumuskan melalui empat tahapan utama, yaitu identifikasi gap daya tampung dengan QUAL2Kw, translasi kebutuhan reduksi melalui Load Action Translation, analisis dukungan dan pengaruh aktor menggunakan MACTOR, serta prioritasasi program dengan PROMETHEE. Load Action Translation menerjemahkan kebutuhan reduksi menjadi program teknis, antara lain pembangunan dan perbaikan IPAL, pembatasan pembuangan pada segmen kritis, produksi bersih, peningkatan sanitasi domestik, infrastruktur hijau, waduk/kolam retensi, reboisasi lereng curam, dan peningkatan kapasitas masyarakat.

Analisis MACTOR menunjukkan bahwa aktor pemerintah memiliki pengaruh paling kuat dalam regulasi, koordinasi, pengawasan, dan penegakan kebijakan. Aktor strategis meliputi PPA, BPDAS, BBWS-CC, DLH Provinsi, dan DLH Kabupaten. Masyarakat dan pelaku usaha memiliki ketergantungan tinggi terhadap kebijakan pemerintah, sedangkan media berperan sebagai aktor tidak langsung melalui pembentukan opini, tekanan publik, dan pengawasan sosial.





Implementasi ABPA karena itu memerlukan kolaborasi pentahelix antara pemerintah, bisnis, akademisi, masyarakat/komunitas, dan media.

Hasil PROMETHEE menunjukkan bahwa prioritas kebijakan utama adalah perbaikan kinerja IPAL bagi usaha yang telah memiliki fasilitas tetapi belum memenuhi baku mutu, diikuti penerapan produksi bersih, dan kewajiban pembangunan IPAL bagi usaha yang belum memiliki pengolahan air limbah. Program menengah seperti infrastruktur hijau, penggunaan pupuk organik, dan reboisasi tetap penting untuk mengendalikan non-point source. Kebijakan pengendalian perlu dilakukan bertahap dari Kelas IV menuju Kelas III dan Kelas II, berbasis segmen, serta dibedakan antara point source dan non-point source.

Kebaruan penelitian terletak pada integrasi analisis dinamika penggunaan lahan, QUAL2Kw, model dinamik, Load Action Translation, MACTOR, dan PROMETHEE ke dalam satu kerangka kebijakan pengelolaan alokasi beban pencemaran air berbasis DAS. Model yang dihasilkan bersifat adaptif, aplikatif, dan implementatif karena tidak berhenti pada simulasi kualitas air, tetapi bergerak sampai pada kuota beban, rencana aksi, prioritas program, dukungan aktor, dan instrumen kebijakan pengendalian pencemaran air Sungai Cileungsi.

**Kata Kunci :** Alokasi Beban Pencemaran Air, Kualitas Air, Daerah Aliran Sungai, Qual2Kw, Mactor and Promethee.

## SUMMARY

Muhamad Komarudin. Model of Water Pollution Load Allocation Policy in Cileungsi River Water, Bogor Regency, West Java. Supervised by Anas M Fauzi, Yanuar J Purwanto, Hartrisari Hardjomidjojo, Budi Kurniawan.

This dissertation examines a policy model for water pollution load allocation in the Cileungsi River, Bogor Regency, West Java. The river is under increasing pollution pressure due to domestic activities, industrial development, agriculture, livestock, land-use change, and weak control of pollution sources. The main problem addressed is the limited effectiveness of current pollution control policies, especially in translating pollution load capacity into load allocation, wastewater discharge quotas, control programs, and policy priorities. The study therefore goes beyond water quality assessment and develops a policy model that links river biophysical conditions, pollution sources, institutional actors, and pollution control programs in an integrated framework.

This dissertation aims to (1) analyze the potential loads of water pollution in the Cileungsi River by sector, spatial distribution and time; (2) developing a model for the allocation of water pollution loads in the Cileungsi River; (3) analyze the dynamics of the role of stakeholders in managing the allocation of water pollution burdens; (4) Developing a policy model for sustainable allocation of river water pollution loads.

The research framework is built on the relationship between the terrestrial system and the river system within the Cileungsi watershed. River water quality is influenced by watershed characteristics, administrative boundaries, land use, hydrology, hydraulics, meteorology, point sources, non point sources, and spatial planning policies. The study applies an integrated approach consisting of GIS based spatial analysis, pollution load inventory, QUAL2Kw water quality modeling, Powersim dynamic modeling, Load Action Translation, MACTOR, and PROMETHEE. This approach ensures that technical outputs such as pollution load and assimilative capacity are not treated merely as numbers, but are transformed into operational policies for water pollution control.

The study area is the Cileungsi watershed, covering 26,614.68 ha and consisting of the Cileungsi, Citeureup, Cijanggal, Ciherang, Cibadak, and Cikeruh sub-watersheds. Administratively, it includes several districts such as Babakan Madang, Citeureup, Gunung Putri, Cileungsi, Klapanunggal, Jonggol, Megamendung, Sukamakmur, Bantargebang, and Rawalumbu. The river was divided into four modeled river segments with a total length of 48.93 km. In addition, nine Pollution Source Management Areas were established: Citeureup, Cikeruh, Cibadak, Ciherang, Cijanggal, Cileungsi 1, Cileungsi 2, Cileungsi 3, and Cileungsi 4. This spatial division is important because it links pollution sources on land with the receiving river segments.

Land use analysis shows that the Cileungsi watershed is increasingly pressured by built-up areas, particularly settlements, activity centers, and industrial zones. The conversion of vegetated land into built-up land increases surface runoff, erosion, and the potential entry of pollutants into the river. Water quality measurements indicate that BOD and COD exceed water quality standards, while

TSS still meets the instantaneous standard but requires load-based control. The regulated water quality standard was used as the modeling target, while the alternative water quality class analysis shows that the factual capacity of several segments is lower than the normative target. Therefore, pollution control must be carried out gradually and adaptively.

The Potential pollution loads in the Cileungsi Watershed shows that pollution pressure is dominated by the domestic and industrial sectors. The total potential pollution load reached 31,560.33 kg/day for BOD, 57,947.78 kg/day for COD, and 29,864.35 kg/day for TSS. In BOD, the largest contribution came from domestic at 59.57%; COD is dominated by industry by 49.48%; while TSS is dominated by domestic at 59.80% and followed by industry. The largest distribution is in the upstream region, Segment 1, and Segment 2.

The Water Pollution Load Allocation model was developed using QUAL2Kw for BOD, COD, and TSS. The BOD model indicates an existing load of 4,480.90 kg/day, with non-point sources slightly higher than point sources. To achieve Class II water quality, the final BOD allocation is set at 2,005.91 kg/day, meaning that further reduction is required, mainly from non-point sources. The COD model shows an existing load of 28,199.39 kg/day and a final allocation of 22,119.93 kg/day, with a response that is not fully linear across water quality classes because it is influenced by the spatial distribution of loads, flow, dilution, and natural degradation. The TSS model shows an existing load of 3,632.22 kg/day and a Class II allocation of 3,287.85 kg/day, requiring preventive control of 344.37 kg/day. Sector based wastewater discharge quota analysis reveals different dominant sources for each parameter. For BOD, the total required reduction is 2,492.50 kg/day, mainly in Segment 1 and Segment 2, with the largest contributions from domestic sources at 1,474.24 kg/day and industry at 844.37 kg/day. For COD, the total reduction reaches 6,079.46 kg/day, mainly from industry at 3,007.89 kg/day and domestic sources at 2,711.86 kg/day. For TSS, the required reduction reaches 482.81 kg/day, dominated by industry at 344.37 kg/day and livestock at 126.59 kg/day. These results confirm that action plans must be specific to parameter, river segment, and pollution source. Economically, the achievement of Class II water quality requires relatively large treatment cost support, with an estimated operational expenditure (OPEX) of IDR 16,633,128.04/day or IDR 5,987,926,093.75/year, as well as investment costs or capital expenditure (CAPEX) of IDR 19,959,753,645.84. Therefore, the implementation of controls needs to be carried out in stages through dynamic models to monitor changes in loads, test intervention scenarios, and support operational policies based on cost optimization.

The Powersim dynamic model was developed to bridge QUAL2Kw outputs and policy simulation. QUAL2Kw provides technical information on water quality, existing load, allowable load allocation, and wastewater discharge quota, whereas the dynamic model is used to monitor load changes, test interventions, and support more operational policy simulation. BOD is positioned as the leading control parameter because it consistently shows reduction gaps and directly affects river deoxygenation. Controlling BOD is also expected to produce accompanying reductions in COD pressure and part of the organic TSS fraction.

The policy model is formulated through four main stages: identification of load capacity gaps using QUAL2Kw, translation of reduction needs through Load Action Translation, analysis of actor support and influence using MACTOR, 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.

program prioritization using PROMETHEE. Load Action Translation converts load reduction needs into technical programs, including construction and improvement of wastewater treatment plants, discharge restrictions in critical segments, cleaner production, domestic sanitation improvement, green infrastructure, retention ponds, reforestation of steep slopes, and community capacity building. The policy instruments required include regulatory, economic, and voluntary or participatory instruments.

MACTOR analysis shows that government actors have the strongest influence in regulation, coordination, supervision, and enforcement. The most strategic actors include the Directorate of Water Pollution Control, watershed management institutions, river basin authorities, and provincial and district environmental agencies. Communities and business actors have high dependency on government policies, although both play major roles in pollution generation and control implementation. Media also acts as an indirect actor through opinion formation, public pressure, and social monitoring. Therefore, the implementation of pollution load allocation requires pentahelix collaboration involving government, business, academia, communities, and media.

PROMETHEE results identify the main policy priority as improving the performance of wastewater treatment plants owned by businesses that have facilities but do not yet comply with effluent standards. The next priorities are cleaner production and the obligation to construct wastewater treatment plants for businesses without treatment facilities. Medium-priority programs, such as green infrastructure, organic fertilizer use, and reforestation, remain important for non-point source control. Overall, Cileungsi River pollution control should be implemented gradually from Class IV toward Class III and Class II, based on river segments, differentiated between point and non-point sources, and supported by cross-sectoral and cross-regional coordination. The novelty of this study lies in integrating land-use dynamics, QUAL2Kw, dynamic modeling, Load Action Translation, MACTOR, and PROMETHEE into one adaptive, applicable, and sustainable watershed-based policy model for water pollution load allocation.

**Keywords:** water pollution load allocation, Cileungsi River, QUAL2Kw, MACTOR, PROMETHEE.



© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026  
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 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



**MODEL KEBIJAKAN  
ALOKASI BEBAN PENCEMARAN DI SUNGAI CILEUNGI  
KABUPATEN BOGOR JAWA BARAT**

**MUHAMAD KOMARUDIN**

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  
2026**



Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Ir. Soeryo Adiwibowo, MS
- 2 Dr. Muchamad Sapis Soedarjanto S.Si. M.T.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Ir. Soeryo Adiwibowo, MS
- 3 Dr. Muchamad Sapis Soedarjanto S.Si. M.T.



Judul Disertasi: Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai  
Cileungsi Kabupaten Bogor Jawa Barat

Nama : Muhamad Komarudin  
NIM : P0602202032

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi M. Eng



Pembimbing 2:  
Dr. Ir. Moh. Yanuar Jarwadi Purwanto M.S.

Pembimbing 3:  
Prof. Dr. Ir. Hartrisari Hardjomidjojo D.E.A



Pembimbing 4 :  
Dr. Budi Kurniawan S.Si., M.Eng

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Prof. Dr. Lina Karlinasari, S.Hut, MSc.F.Trop  
NIP: 197311261998022001



Dekan Sekolah Pasca Sarjana :  
Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc  
NIP : 196607281991031002



Tanggal Ujian:  
(23 April 2026)

Tanggal Pengesahan Disertasi :  
(29 Mei 2026 )

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, dan kemudahan-Nya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik. Disertasi ini disusun berdasarkan penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2023 sampai dengan Desember 2025 dengan judul “Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi Kabupaten Bogor Jawa Barat.”

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing, yaitu Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng., Dr. Ir. Moh. Yanuar Jarwadi Purwanto, M.S., Prof. Dr. Ir. Hartrisari Hardjomidjojo, D.E.A., dan Dr. Budi Kurniawan, S.Si., M.Eng., yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta saran yang sangat berharga selama proses penyusunan disertasi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Soeryo Adiwibowo, M.S., dan Dr. Muchamad Saparis Soedarjanto, S.Si., M.T., selaku penguji luar komisi pembimbing, atas kritik, saran, dan masukan yang telah diberikan untuk penyempurnaan disertasi ini.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Pengendalian Pencemaran Air Kementerian Lingkungan Hidup, Direktorat Rehabilitasi Hutan Kementerian Kehutanan, Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung-Cisadane, serta KP2C, yang telah memberikan dukungan data, informasi, dan bantuan selama kegiatan penelitian berlangsung. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan mahasiswa S3 PSL Sekolah Pascasarjana IPB angkatan 2020 atas dukungan moril, kebersamaan, dan semangat yang diberikan selama proses studi.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Rektor, Dekan, serta Ketua Program Studi Teknik Sipil Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta yang telah memberikan dukungan, waktu, dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi ini. Secara khusus, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada istri, anak-anak, serta seluruh keluarga atas doa, dukungan, kesabaran, pengertian, dan dorongan semangat yang senantiasa diberikan hingga studi ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, penulis berharap semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan serta memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang kebijakan pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran sungai.

Bogor, Mei 2026  
Penulis

## DAFTAR ISI

RINGKASAN	iii
SUMMARY	vi
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kerangka Pikir	3
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Tujuan	6
1.5 Manfaat	7
1.6 Ruang Lingkup	8
1.7 Kebaruan (novelty)	8
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>9</b>
2.1 Dinamika Pemanfaatan Ruang	9
2.2 Batas Administrasi dan Batas Daerah Aliran Sungai	9
2.3 Kualitas Air Sungai dalam Perspektif Daerah Aliran Sungai	10
2.4 Kebijakan Pengendalian Pencemaran Air	10
2.5 Alokasi Beban Pencemaran Air	14
2.6 Sumber Pencemar <i>Point Source dan Non-Point Source</i>	15
2.7 Merubah Beban Pencemar Menjadi Aksi	16
2.8 Aktor dan Kelembagaan	17
2.9 Prioritisasi Program Aksi	17
2.10 Penelitian Terdahulu	19
<b>III METODE</b>	<b>26</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan	26
3.3 Data dan Informasi	27
3.4 Metodologi	28
3.5 Asumsi-asumsi dalam Penelitian	72
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>76</b>
4.1 Wilayah Penelitian	76



4.2	Dinamika Pemanfaatan Ruang	90
4.3	Segmentasi Badan Air dan Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar	93
4.4	Analisis Debit Aliran dan Kualitas Air	97
4.5	Potensi Beban Pencemaran Air	109
4.6	Baku Mutu Air	119
4.7	Model Alokasi Beban Pencemaran Air	122
4.8	Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air	170
4.9	Implikasi Kebijakan Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air Sungai Cileungsi	221
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		223
5.1	Simpulan	223
5.2	Saran	224
DAFTAR PUSTAKA		225
RIWAYAT HIDUP		233
LAMPIRAN		234

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

## DAFTAR TABEL

1. Penelitian Terdahulu yang relevan dengan tema penelitian yang sejenis di Sungai Cileungsi maupun sungai lainnya.	21
2. Daftar Sumber dan Data yang Digunakan	30
3. Faktor Emisi kegiatan Domestik Rumah Tangga	43
4. Faktor Emisi Pertanian ( <i>generation load</i> )	46
5. Faktor Emisi Non Point Source dari Penggunaan Lahan ( <i>generation load</i> )	47
6. Faktor Emisi Kegiatan Peternakan Jenis Unggas	47
7. Faktor Emisi Kegiatan Peternakan Jenis Mamalia	48
8. Nilai Akhir Baku Mutu berdasarkan Kelas Air	49
9. Kriteria dan Pembobotan Baku Mutu Air	49
10. Faktor Pembobot tiap Parameter ( <i>wi</i> )	51
11. Klasifikasi dan skor Indeks Kualitas Air	51
12. Kriteria dan Skoring dari Pemanfaatan Air	51
13. Klasifikasi dan Pengharkatan (Skoring) Aspek Penggunaan Lahan	52
14. Klasifikasi dan Skoring Aspek Tata Ruang	53
15. Kriteria dan Skoring Rasio Debit	53
16. Matrik Pencapaian Tujuan	69
17. Luas Daerah Aliran Sungai Cileungsi di Kabupaten Bogor	77
18. Luas Wilayah Kecamatan pada DAS Cileungsi	78
19. Jenis dan Luas Tutupan Lahan Tahun 2022 di DAS Cileungsi	81
20. Luas Wilayah Menurut Pola Ruang dalam RTRW Provinsi Jawa Barat	82
21. Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar di Sungai Cileungsi	96
22. Dimensi Badan Air Menurut Segmen	97
23. Debit Aliran Sungai Di setiap Segmen	100
24. Rekapitulasi luasan Sub DAS atau segmen , rata-rata debit dan debit maksimum di setiap sub das atau segmen.	102
25. Debit Andalan ( $m^3/dt$ )	103
26. Rekapitulasi data PBPA menurut parameter BOD	111
27. Rekapitulasi data PBPA menurut parameter COD	114
28. Rekapitulasi data PBPA menurut parameter TSS	117
29. Baku Mutu Air Menurut Segmentasi Sungai	121
30. Rekapitulasi Beban Pencemar Eksisting, ABPA dan KPAL	134
31. Rekapitulasi Beban Pencemar Eksisting (ABPA skenario 2) , ABPA dan KPAL skenario 3	137
32. Rekapitulasi Beban Pencemar Eksisting (ABPA skenario 3) , ABPA dan KPAL skenario 4	139
33. Rekapitulasi Tabulasi Beban Pencemar Eksisting (skenario 1) , ABPA dan KPAL skenario 2	146
34. Rekapitulasi Tabulasi Beban Pencemar Eksisting (ABPA skenario 2) , ABPA dan KPAL skenario 3	149
35. Rekapitulasi Tabulasi Beban Pencemar Eksisting (ABPA skenario 3) , ABPA dan KPAL skenario 4	151
36. Proporsi kebutuhan penurunan beban pencemaran air dari setiap sektor menurut segmentasi sungai (BOD kg/hari)	159

37. Proporsi kebutuhan penurunan beban pencemaran air dari setiap sektor menurut segmentasi sungai (COD kg/hari)	160
38. Proporsi kebutuhan penurunan beban pencemaran air dari setiap sektor menurut segmentasi sungai (TSS kg/hari)	161
39. Matrik Skenario dan Intervensi Model untuk pemenuhan baku mutu air pada Parameter BOD di Sungai Cileungsi	171
40. Matrik Skenario dan Intervensi Model untuk pemenuhan baku mutu air pada Parameter COD di Sungai Cileungsi	171
41. Perbandingan Kuota ALokasi Pembuangan Air Limbah untuk Parameter BOD menurut Tahapan Model Kualitas Air	176
42. Perbandingan Kuota ALokasi Pembuangan Air Limbah untuk Parameter COD menurut Tahapan Model Kualitas Air	177
43. Perbandingan Kuota ALokasi Pembuangan Air Limbah untuk Parameter TSS menurut Tahapan Model Kualitas Air	177
44. Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air Air untuk pemenuhan BMA Kelas IV (skenario 1 dan skenario 1) parameter BOD.	181
45. Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air untuk pemenuhan BMA Kelas III (skenario 2 dan skenario 3) parameter BOD.	182
46. Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air untuk pemenuhan BMA Kelas II (skenario 3 dan skenario 4) parameter BOD	183
47. Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air untuk pemenuhan BMA Kelas IV (skenario 1 dan skenario 2) parameter COD	184
48. Tabulasi Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air untuk pemenuhan BMA Kelas III (skenario 2 dan skenario 3) parameter COD	185
49. Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air untuk pemenuhan BMA Kelas II (skenario 3 dan skenario 4) parameter COD	186
50. Load Action Translation berbasis KPAL hasil analisis Model kualitas Air untuk pemenuhan BMA Kelas II (skenario 1 dan skenario 4) parameter TSS	187
51. Rumusan Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air Yang terdiri dari 12 Program tindakan teknis berdasarkan <i>Load Action Translation</i> (LAT)	188
52. Hasil pengelompokan Program Renaksi (P1–P12) ke dalam instrumen kebijakan	190
53. Rekapitulasi Program per kelompok instrumen	191
54. Institusi Terpilih yang memberikan kontribusi dalam kegiatan Pengendalian Pencemaran Air di Sungai Cileungsi	199
55. Matriks Pengaruh Langsung Antar Aktor ( <i>Matrix of Direct Influence / MDI</i> )	200
56. Matriks Pengaruh Langsung dan Tidak Langsung (MDII)	201
57. Representasi tabel vektor daya saing (Ri) yang dihitung dari MDII	202

58. Pemetaan kolaborasi pentahelix dalam kebijakan alokasi beban pencemaran air Sungai Cileungsi	208
59. Nilai net flow ( $\Phi$ ) sebagai indikator utama penentuan peringkat alternatif <sup>3</sup> kebijakan Program	213

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



## DAFTAR GAMBAR

1.	Kerangka Pikir Rancangan Model Kebijakan	6
2.	Peta Lokasi Wilayah Penelitian	26
3.	Diagram kerangka kerja metodologi	29
4.	Diagram Alir Analisis Batas Sub Daerah Aliran Sungai (DAS)	33
5.	Prosedur Analisis Spasial	41
6.	Tahapan Analisis dan Perhitungan Alokasi Beban Pencemaran Air	49
7.	Contoh Ploting Data Pemantauan dan Pemodelan (Sumber : Abdi 2011 dalam Komarudin et al. 2014)	59
8.	Prosedur dan komponen data model kualitas air dengan perangkat lunak Qual2Kw	62
9.	Diagram konseptual pengembangan model dinamik ABPA	63
10.	Peta Lokasi Penelitian Daerah Aliran Sungai Cileungsi di Kabupaten Bogor	77
11.	Peta Batas Wilayah Kecamatan pada DAS Cileungsi	78
12.	Peta Digital Elevasi Model DAS Cileungsi	79
13.	Peta Tutupan Lahan di DAS Cileungsi Tahun 2022	81
14.	Peta Rencana pola ruang sampai dengan tahun 2044	84
15.	Trend Indek Pembangunan Manusia Kabupaten Bogor (BPS 2024)	88
16.	Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2010 menurut Kabupaten Bogor dan Kota Bogor (miliar rupiah), 2019-2023 (BPS, 2024)	90
17.	Analisis Spasial Perubahan Tutupan Lahan	91
18.	Analisis Spasial Perubahan PBPA ( BOD) Tahun 2010-2022	92
19.	Analisis Spasial Perubahan PBPA (COD) Tahun 2010-2022	93
20.	Analisis Spasial Perubahan PBPA (TSS) Tahun 2010-2022	93
21.	Peta Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar dan Skematik Sungai	95
22.	Model DAS Cileungsi dengan HEC-HRM	98
23.	Grafik Hasil Pengukuran Debit di 6 lokasi	100
24.	Hidrograf hasil model hujan – aliran pada segmen Hulu (a), Segmen 1 (b), Segmen 2 (c), Segmen 3 (d), Segmen 4 (e)	101
25.	Grafik debit andalan sungai Cileungsi Periode Tahun 2023	103
26.	Grafik Hasil Uji Parameter (a) Dissolve Oksigen, (b) Biological Demand Oksigen (BOD), (c) Chemical Oksigen Demand (COD), (d) Total Suspended Solid (TSS), (e) Total Fosfat, (f) Total Nitrat pada 6 titik lokasi sampling di Sungai Cileungsi	108
27.	Grafik Komposisi PBPA menurut Sektor dan Parameter BOD	112
28.	Peta Distribusi Potensi Beban Pencemaran Air Parameter BOD (Domestik, Air Lindi, Pertanian, Peternakan dan Industri) menurut Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar di DAS Cileungsi	112
29.	Komposisi PBPA menurut Sektor dan Parameter COD	115
30.	Distribusi Potensi Beban Pencemaran Air Parameter COD (Domestik, Air lindi, Pertanian, Peternakan dan Industri) menurut Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar di DAS Cileungsi	115
31.	Komposisi PBPA menurut Sektor dan Parameter TSS	118

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

32. Distribusi Potensi Beban Pencemaran Air Parameter TSS (Domestik, Air Lindi, Pertanian, Peternakan dan Industri) menurut Wilayah Pengelolaan Sumber Pencemar di DAS Cileungsi	118
33. Diagram Alur konseptual model Alokasi Beban Pencemaran Air Sungai Cileungsi.	124
34. Diagram Alur Proses Simulasi model kualitas air	126
35. Kondisi kualitas air Hasil Uji dengan BMA parameter BOD di setiap segmen	127
36. Kondisi kualitas air Hasil Uji dengan BMA parameter COD di setiap segmen	128
37. Kondisi kualitas air Hasil Uji dengan BMA Kelas II parameter TSS di setiap segmen	129
38. Besaran Beban Pencemar Eksisting di setiap segmen	131
39. Grafik Model Kualitas Air Parameter BOD Skenario 1	133
40. Grafik Model Kualitas Air Parameter BOD Skenario 2	135
41. Grafik Model Kualitas Air Parameter BOD Skenario 3	138
42. Grafik Model Kualitas Air Parameter BOD Skenario 4	141
43. Besaran Beban Pencemar Eksisting di setiap segmen	142
44. Grafik Model Kualitas Air Parameter COD Skenario 1	144
45. Grafik Model Kualitas Parameter COD Skenario 2	147
46. Grafik Model Kualitas Air Parameter COD Skenario 3	149
47. Grafik Model Kualitas Air Parameter COD Skenario 4	152
48. Nilai Beban Pencemar Eksisting menurut segmen	155
49. Grafik Model Kualitas Air parameter TSS - Skenario 1	155
50. Tampilan Muka Prototipe Model Dinamik Alokasi Beban Pencemaran Air Sungai Cileungsi	168
51. Diagram Rancangan Stockflow Diagram Model Dinamik Alokasi Beban Pencemaran Air	169
52. Grafik Hubungan Biaya Pengolahan per m <sup>3</sup> dengan Target Penurunan Beban BOD pada Skenario 2	192
53. Grafik Hubungan Biaya Pengolahan per m <sup>3</sup> dengan Target Penurunan Beban BOD pada Skenario 3	193
54. Grafik Hubungan Biaya Pengolahan per m <sup>3</sup> dengan Target Penurunan Beban BOD pada Skenario 4	194
55. Peta Pengaruh dan Ketergantungan Aktor	201
56. Peta Konvergensi Kepentingan Antar Aktor dalam Pengelolaan Sungai Cileungsi	203
57. Grafik pemberitaan dari media online dari unsur : (a)intensitas menurut platform (b)intensitas menurut waktu (c) distribusi menurut arah narasi dan (d) ditribusi pengaruh terhadap isu.	206
58. Diagram Konseptual Kolaborasi Pentahelix Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi	209
59. Grafik GAIA menunjukkan hubungan antara alternatif kebijakan dan kriteria evaluasi	215
60. Grafik Rainbow Gambaran Kontribusi Relatif masing-masing kriteria terhadap kinerja setiap alternatif kebijakan	216
61. Stabilitas Prioritisasi Kebijakan Program Terhadap Perubahan Bobot Kriteria	217



62. Sintesis Perumusan Model Kebijakan Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi Kabupaten Bogor.

220

@Hak cipta milik IPB University

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

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Dokumentasi Kegiatan Survei	234
2. Rekap Data aliran dan Hasil Uji Contoh Air dari Lapangan.	237
3. Pengukuran Dimensi Badan Air dan Debit Aliran dengan Metode Manning	238
4. Hasil Uji Korelasi Antara $Q_{ukur}$ dengan $Q_{Manning}$	239
5. Indeks Sinusitas menurut Segmen	241
6. Peta Nilai Bilangan Kurva di DAS Cileungsi	242
7. Data Unsur Iklim	243
8. Data Sumber Pencemar Point Source	249
9. Hasil Perhitungan IKA/INA	250
10. Hasil analisis dan perhitungan tiga urutan luasan terbesar berdasarkan Penggunaan Lahan Eksisting di setiap Segmen DAS Cileungsi	253
11. Hasil analisis dan perhitungan tiga urutan luasan terbesar berdasarkan Pola Ruang dalam RTRW di setiap Segmen DAS Cileungsi	254
12. Data Jumlah Penduduk Menurut Wilayah Administrasi dan DAS Cileungsi di Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat	255
13. Causal Lopue Model Dinamik	258
14. Inventarisasi Data Industri	259
15. Sheet Data Qual2Kw Skenario 1 Model Alokasi Beban Pencemaran Air	264
16. Sheet Data Qual2Kw Skenario 2 Model Alokasi Beban Pencemaran Air	270
17. Sheet Data Qual2Kw Skenario 3 Model Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi	275
18. Sheet Data Qual2Kw Skenario 4 Model Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi	280
19. Form Kuisisioner Evaluasi Jenis dan Bobot Kebijakan Program Pemenuhan Baku Mutu Air Berbasis Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi	286
20. Hasil Skoring Kuisisioner Evaluasi Jenis dan Bobot Kebijakan Program Pemenuhan Baku Mutu Air Berbasis Alokasi Beban Pencemaran Air di Sungai Cileungsi	290
21. Data Curah Hujan (CH) tahun 2015 – 2025, Nasa Giovanni, <a href="https://giovanni.gsfc.nasa.gov">https://giovanni.gsfc.nasa.gov</a>	292