

ANALISIS PENGARUH KOLAM RETENSI DAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP REDUKSI LIMPASAN DI SUNGAI PERKOTAAN

Zulfian Azhari¹, Adhi Yanuar², Gandjar Gelar Rahardja³
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana
Jl. PHH. Mustofa (Suci) No.68, Kota Bandung, Jawa Barat, 40124
azharizulfian3@gmail.com¹

Abstrak

Perubahan tata guna lahan dan peningkatan intensitas curah hujan di Sub DAS Sungai Cilember telah menurunkan kinerja desain Kolam Retensi Pasirkaliki yang direncanakan pada DED tahun 2020, sehingga diperlukan kajian ulang menggunakan data tata guna lahan dan curah hujan terbaru. Kajian ini dilakukan melalui simulasi hidrologi-hidraulika berbasis data curah hujan dan tata guna lahan terkini, serta pengujian beberapa skenario optimasi kolam retensi. Pada desain awal, kolam retensi diperkirakan mampu menurunkan muka air sungai di bagian hilir sebesar 15–20 cm. Akan tetapi, hasil simulasi dari kaji ulang menunjukkan bahwa reduksi yang terjadi lebih kecil, yaitu hanya mampu menurunkan debit puncak banjir sebesar 1,4 m³/s dengan penurunan muka air sungai hilir berkisar 6–20 cm pada debit rancangan kala ulang 2 tahun (Q_2). Berbagai alternatif optimasi diuji untuk meningkatkan kinerja pengendalian banjir. Hasil analisis menunjukkan bahwa alternatif paling optimal adalah pembangunan kolam retensi baru di bagian hulu DAS Sungai Cilember. Skenario ini mampu menurunkan debit puncak banjir sebesar 10,7 m³/s atau sekitar 54,3% untuk debit rancangan kala ulang 2 tahun (Q_2), serta menurunkan muka air sungai di hilir hingga 58–98 cm. Sementara itu, proyeksi perubahan tata guna lahan dan intensitas curah hujan untuk periode 5, 15, dan 25 tahun mendatang menunjukkan kecenderungan peningkatan debit banjir yang relatif linear. Meskipun demikian, kolam retensi tambahan masih dapat menampung debit banjir Q_2 , walaupun efisiensi reduksi limpasan diproyeksikan menurun secara bertahap.

Kata kunci :

kolam retensi, limpasan permukaan, HEC-HMS, HEC-RAS, perubahan tata guna lahan.

Abstract

Changes in land use and increasing rainfall intensity in the Cilember River Sub-Watershed have reduced the performance of the Pasirkaliki Retention Pond design prepared in the 2020 Detailed Engineering Design (DED), necessitating a reassessment using updated land-use and rainfall data. This study was conducted through hydrologic-hydraulic simulations based on recent rainfall and land-use data, combined with the evaluation of several retention pond optimization scenarios. Under the original design, the retention pond was able to reduce downstream river water levels by 15–20 cm. However, simulation results indicate that the pond can only reduce the peak flood discharge by 1.4 m³/s, with a downstream water level reduction of 6–20 cm for the 2-year return period discharge (Q_2). Various optimization alternatives were tested to improve flood control performance. The most effective alternative is the addition of a retention pond in the upstream area of the Cilember River watershed, achieving a peak discharge reduction of 10.7 m³/s (54.3%) for Q_2 and a downstream water level reduction of 58–98 cm. Projections of land-use and rainfall changes for the next 5, 15, and 25 years indicate a generally linear increase in flood discharge. Under these conditions, the additional upstream retention pond remains capable of accommodating the Q_2 flood, although runoff reduction efficiency gradually declines.

Keywords :

retention pond, surface runoff, HEC-HMS, HEC-RAS, land-use change

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kawasan perkotaan yang pesat telah meningkatkan risiko banjir, terutama akibat perubahan tata guna lahan yang mengurangi kemampuan infiltrasi tanah. Konversi lahan menjadi kawasan terbangun menyebabkan peningkatan limpasan permukaan, sehingga wilayah perkotaan menjadi lebih rentan terhadap genangan, khususnya saat hujan dengan intensitas tinggi.

DAS Cilember di wilayah Kota Cimahi mengalami tekanan hidrologis yang signifikan akibat pertumbuhan permukiman di bagian hulu. Peningkatan limpasan dari hulu menyebabkan debit aliran ke hilir semakin besar, sementara kapasitas sungai terbatas. Kondisi ini tercermin dari kejadian banjir yang masih berulang dalam beberapa tahun terakhir. Data periode 2023–2025 menunjukkan bahwa banjir terjadi di wilayah Melong dan Cigugur Tengah dengan dampak signifikan, seperti genangan hingga ± 3 m yang mempengaruhi ratusan rumah serta gangguan pada jaringan transportasi. Kejadian tersebut tidak selalu dipicu oleh hujan ekstrem di satu lokasi, yang mengindikasikan pengaruh perubahan tata guna lahan dan keterbatasan sistem drainase.

Sebagai upaya pengendalian banjir, Kolam Retensi Pasirkaliki direncanakan pada tahun 2020 untuk mereduksi debit puncak limpasan. Namun, perubahan kondisi hidrologi dan perkembangan kawasan berpotensi menurunkan efektivitas desain tersebut. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kinerja kolam retensi sangat bergantung pada kapasitas tampungan dan integrasinya dengan sistem sungai, sehingga evaluasi berbasis kondisi terkini menjadi penting.

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) bagaimana kinerja Kolam Retensi Pasirkaliki berdasarkan kondisi hidrologi terbaru, (2) bagaimana pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap limpasan permukaan, dan (3) alternatif optimasi yang paling efektif untuk meningkatkan pengendalian banjir.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja kolam retensi menggunakan data terbaru serta

mengkaji pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap limpasan. Selain itu, penelitian ini juga merumuskan skenario optimasi melalui pemodelan hidrologi dan hidraulika. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pengendalian banjir perkotaan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

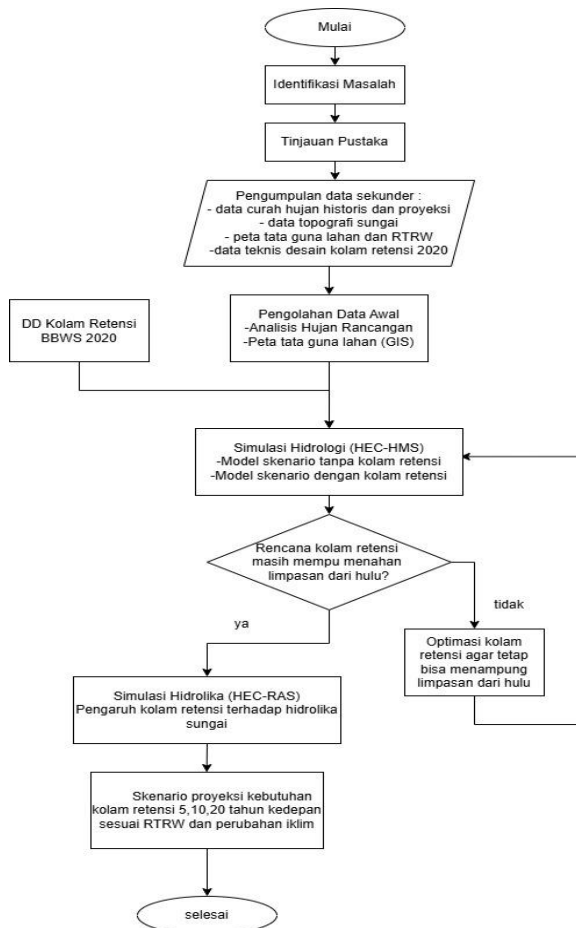
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analitis-deskriptif untuk mengevaluasi pengaruh kolam retensi dan perubahan tata guna lahan terhadap reduksi limpasan permukaan di DAS Sungai Cilember. Analisis dilakukan melalui integrasi pemodelan hidrologi dan hidraulika untuk mengkaji perubahan debit puncak serta respon muka air sungai pada berbagai skenario.

Pemodelan hidrologi dilakukan menggunakan metode *Curve Number (CN)* dengan mempertimbangkan parameter curah hujan, jenis tanah, dan tata guna lahan. Simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak HEC-HMS pada tiga kondisi utama, yaitu tanpa kolam retensi, dengan kolam retensi eksisting, serta skenario perubahan tata guna lahan.

Pemodelan hidraulika dilakukan menggunakan HEC-RAS untuk mensimulasikan profil muka air sungai berdasarkan debit hasil HEC-HMS. Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi perubahan elevasi muka air dan potensi limpasan pada kondisi eksisting maupun skenario pengendalian banjir.

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer meliputi hasil survei lapangan dan observasi kondisi sungai. Data sekunder mencakup data curah hujan historis periode 2015–2024 dari BMKG dan BBWS Citarum, data tata guna lahan dari Ina-Geoportal dan interpretasi citra satelit, data topografi dari DEM, serta data geometrik sungai dan desain kolam retensi dari dokumen perencanaan BBWS Citarum (2016; 2020).

Kalibrasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data observasi debit dan muka air di lapangan. Parameter model disesuaikan secara iteratif hingga diperoleh kesesuaian yang representatif, sehingga model dapat digunakan untuk analisis skenario secara andal dan dapat direplikasi.



Gambar 1. Bagan alir Metodologi Penelitian

Kriteria Evaluasi Kinerja Model

Evaluasi kinerja model hidrologi dan hidraulika dalam penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa indikator kuantitatif untuk menilai tingkat akurasi model serta efektivitas sistem pengendalian banjir yang dianalisis. Indikator yang digunakan meliputi kesesuaian hasil simulasi terhadap data observasi, reduksi debit puncak, perubahan muka air sungai, serta pengurangan luas genangan banjir.

Kinerja model hidrologi dievaluasi menggunakan parameter *Percent Bias (PBIAS)* untuk mengukur deviasi volume limpasan, serta *Ratio of Peak Flow (RPF)* untuk membandingkan debit puncak hasil simulasi terhadap data observasi. Nilai PBIAS yang mendekati nol dan RPF yang mendekati satu

menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang baik.

Selain itu, efektivitas sistem pengendalian banjir dianalisis berdasarkan persentase reduksi debit puncak, penurunan elevasi muka air sungai, serta perubahan luas genangan yang diperoleh dari simulasi hidraulika menggunakan HEC-RAS melalui modul RAS Mapper.

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

Bab ini menyajikan hasil analisis hidrologi dan hidraulika pada DAS Cilember yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengendalian banjir melalui berbagai skenario simulasi, serta membahas keterkaitannya dengan kondisi eksisting dan penelitian sebelumnya.

III.1 Analisis Hidrologi DAS Cilember

Analisis hidrologi pada DAS Cilember dilakukan untuk menggambarkan kondisi hidrologis wilayah studi yang menjadi dasar dalam pemodelan kejadian banjir. Analisis ini mencakup evaluasi distribusi curah hujan, kondisi penggunaan lahan, serta parameter hidrologi yang mempengaruhi besarnya limpasan permukaan di daerah aliran sungai.

Curah Hujan Wilayah

Curah hujan rata-rata wilayah dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen. Metode ini membagi area DAS ke dalam beberapa poligon berdasarkan jarak terdekat terhadap stasiun pengamatan hujan. Setiap stasiun hujan kemudian diberikan bobot yang proporsional terhadap luas wilayah yang diwakilinya.

Tabel 1. Curah Hujan Wilayah DAS Cilember

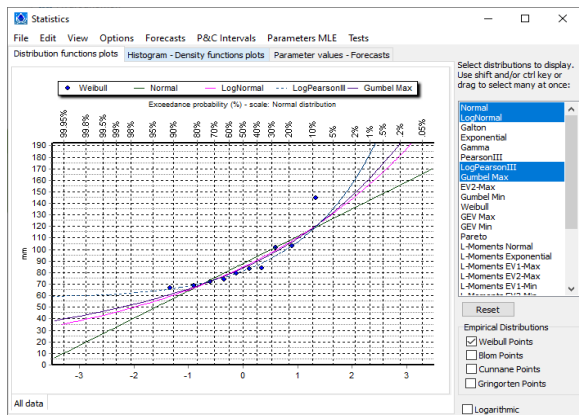
Tahun	Curah Hujan Wilayah (mm)
2015	72.09
2016	101.91
2017	74.31
2018	84.18
2019	79.28
2020	144.54
2021	83.45
2022	68.64
2023	103.26
2024	66.43

Berdasarkan Tabel 1, curah hujan wilayah DAS Cilember menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan selama periode 2015–2024. Curah hujan tertinggi terjadi pada tahun 2020 sebesar 144,54 mm, yang mengindikasikan adanya potensi kejadian hujan ekstrem. Variabilitas ini menunjukkan bahwa sistem hidrologi DAS Cilember dipengaruhi oleh dinamika curah hujan tahunan yang dapat meningkatkan risiko limpasan permukaan, terutama pada kondisi tata guna lahan yang semakin terbangun

Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi hujan pada penelitian ini menggunakan empat distribusi probabilitas yang umum digunakan dalam kajian hidrologi, yaitu Distribusi Gumbel, Distribusi Normal, Distribusi Log Pearson Tipe III, dan Distribusi Log Normal.

Data curah hujan tahunan selama 10 tahun selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak Hydrognomon untuk memperoleh distribusi statistik yang paling sesuai. Melalui aplikasi ini, berbagai model probabilitas dapat diuji terhadap data yang tersedia sehingga nilai hujan rancangan yang dihasilkan memiliki tingkat ketelitian yang lebih baik.



Gambar 1. Hasil distribusi aplikasi Hydrognomon

Pemilihan Jenis Sebaran

Tabel 2. Pemilihan metode distribusi

No	Metode Distribusi	Syarat	Perhitungan	Hasil
1	Normal	Cs ~0	1.744	Tidak memenuhi
		Ck ~3	3.323	
2	Gumbel	Cs ≤ 1.1396	1.744	Tidak Memenuhi

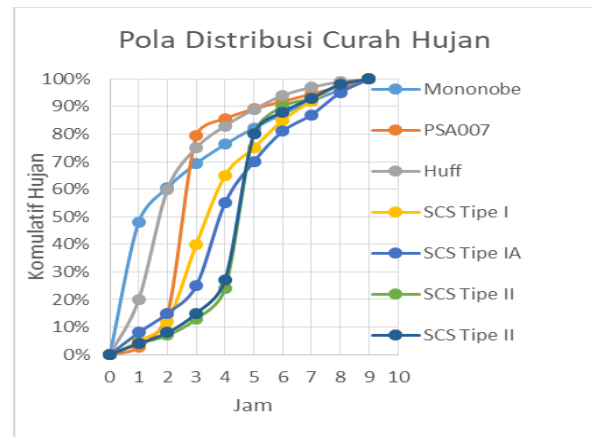
		Ck ≤ 5.4002	3.323	
3	Log Pearson III	Cs ≠ 0	1.273	Memenuhi
4	Log Normal	Cs = 3Cv + (Cv^2) = 3	0.163	Tidak Memenuhi
		Ck = 5,383	0.206	

Berdasarkan hasil pengujian parameter statistik pada Tabel 2, distribusi Log Pearson Tipe III dipilih sebagai metode yang paling sesuai karena memenuhi kriteria nilai koefisien kemencengan (Cs). Oleh karena itu, distribusi ini digunakan dalam penentuan hujan rencana pada penelitian ini.

Analisis Curah Hujan Jam-jaman

Analisis frekuensi curah hujan dilakukan menggunakan data hujan satelit JAXA untuk periode 2015–2024. Dari data tersebut diperoleh kejadian hujan dengan intensitas lebih dari 50 mm, di mana durasi hujan yang paling dominan adalah selama 9 jam dengan jumlah kejadian sebanyak 20 kali dalam periode pengamatan.

Nilai hujan rencana dalam penelitian ini ditentukan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III. Selanjutnya dilakukan analisis distribusi hujan jam-jaman dengan beberapa metode pendekatan, yaitu metode Mononobe, PSA 007, metode Huff, serta metode SCS (Soil Conservation Service) yang meliputi tipe I, IA, II, dan III.



Gambar 2. Kurva pola distribusi curah hujan

Curve Number

Penentuan nilai Curve Number (CN) diawali dengan identifikasi kelompok tanah menggunakan klasifikasi Hydrologic Soil Group (HSG). Klasifikasi

ini mengelompokkan tanah berdasarkan karakteristik infiltrasi serta kecenderungan pembentukan limpasan permukaan. Hasil interpretasi data tanah di wilayah studi dengan bantuan aplikasi HSWD menunjukkan bahwa jenis tanah yang mendominasi adalah Cambisols, dengan tekstur tanah lapisan atas berupa loam (lempung).

Tabel 3. Tata guna lahan tahun 2024

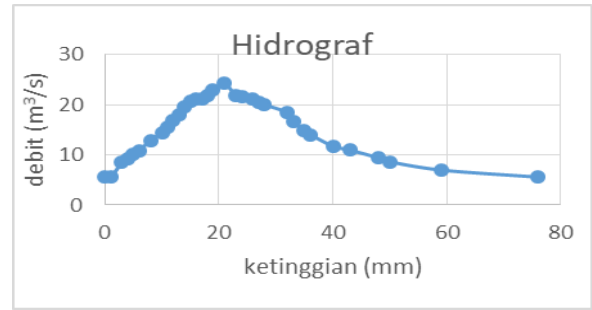
No	Jenis	Luas (ha)	HSG	HSG Gabungan
1	Perkebunan/kebun	149.80	70	10.42
2	Tegalan/Ladang	293.09	79	23.00
3	Sawah	164.72	83	13.58
4	Gedung/bangunan	11.67	98	1.14
5	Danau/Situ	0.87	100	0.09
6	Tanah Kosong/gundul	35.01	86	2.99
7	Permukiman dan tempat kegiatan	351.60	85	29.69

Berdasarkan Tabel 3, penggunaan lahan didominasi oleh kawasan permukiman dan lahan pertanian yang berkontribusi terhadap peningkatan nilai *Curve Number (CN)*. Dominasi lahan terbangun ini berimplikasi pada meningkatnya limpasan permukaan akibat berkurangnya kapasitas infiltrasi tanah, sehingga berpotensi meningkatkan debit puncak aliran pada saat hujan.

Kalibrasi Model HEC-HMS

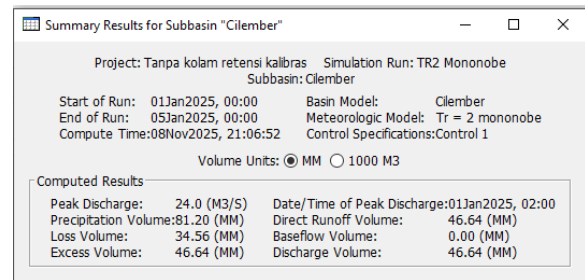
Data debit yang diperoleh dari pengukuran lapangan digunakan sebagai referensi untuk membandingkan hasil model. Proses kalibrasi dilakukan secara bertahap dengan menilai perbedaan antara debit puncak simulasi dan observasi lapangan. Kalibrasi ini menjamin bahwa model HEC-HMS mampu menggambarkan karakteristik hidrologi DAS Cilember dengan representatif.

Selain itu, ketinggian muka air yang tercatat dikonversi menjadi debit menggunakan rumus Manning, dengan penyesuaian parameter saluran seperti kemiringan, lebar, dan tinggi penampang sesuai kondisi aktual. Hasil perhitungan menunjukkan debit puncak mencapai 21,97 m³/s.



Gambar 3. Hidrograf debit aktual lapangan

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, pengukuran lapangan menunjukkan debit puncak Sungai Cilember sebesar 21,97 m³/s. Selanjutnya, pada Gambar 4 terlihat bahwa hasil simulasi menggunakan metode Mononobe memberikan pendekatan yang paling mendekati kondisi aktual, yaitu 24 m³/s.



Gambar 4. Hasil simulasi debit dengan input hujan jam-jaman metode Mononobe

Selanjutnya hasil kalibrasi di evaluasi dengan Deviasi total volume (PBIAS) dan *Ratio of Peak Flow (RPF)*. Kinerja model hidrologi dievaluasi menggunakan indikator kuantitatif berupa *Percent Bias (PBIAS)* untuk menilai deviasi volume limpasan, serta *Ratio of Peak Flow (RPF)* untuk membandingkan debit puncak hasil simulasi terhadap data observasi. Nilai PBIAS yang mendekati nol dan RPF yang mendekati satu menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang baik dalam merepresentasikan kondisi hidrologi aktual.

Simulasi Hidrologi dengan HEC HMS (tanpa kolam retensi)

Parameter input untuk DAS Cilember menunjukkan nilai *Curve Number* sebesar 76,4 dengan *Initial Abstraction* 15,69 mm, yang mencerminkan kemampuan infiltrasi lahan dalam kategori sedang. Sekitar 22% kawasan berupa lahan kedap, yang meningkatkan potensi limpasan permukaan saat terjadi hujan.

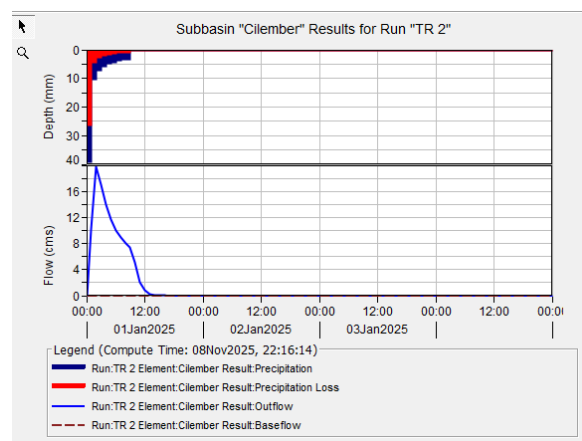
Lag time dihitung sebesar 72,02 menit menggunakan rumus Kirpich, menggambarkan jeda waktu antara puncak hujan dan puncak aliran pada sub-DAS Cilember, yang merepresentasikan karakteristik respon hidrologi wilayah sebelum debit mencapai maksimum.

Untuk penyusunan pola curah hujan jam-jaman, digunakan data hujan rencana. Dari berbagai alternatif, distribusi Mononobe dengan durasi 9 jam dipilih karena paling sesuai menggambarkan karakteristik hujan lokal. Pola ini diterapkan untuk debit rencana kala ulang 2 tahun, sehingga intensitas hujan per jam yang dihasilkan dapat menjadi input simulasi hidrologi menggunakan model HEC-HMS.

Debit Banjir Rancangan tanpa kolam retensi

Pada kondisi eksisting tanpa keberadaan kolam retensi, simulasi menunjukkan bahwa debit puncak meningkat seiring bertambahnya kala ulang hujan. Untuk hujan rancangan dengan kala ulang 2 tahun, debit puncak tercatat sebesar 19,7 m³/s, sedangkan pada kala ulang 5 tahun meningkat menjadi 28,1 m³/s.

Peningkatan ini menunjukkan respons hidrologi DAS yang cukup sensitif terhadap perubahan intensitas hujan, yang mengindikasikan bahwa kapasitas infiltrasi lahan relatif terbatas. Kondisi ini sejalan dengan nilai *Curve Number* sebesar 76,4 yang mencerminkan dominasi lahan dengan kemampuan resapan sedang menuju rendah akibat peningkatan area terbangun.



Gambar 5. Hidrograf banjir simulasi tanpa kolam retensi

Simulasi Hidrologi HEC-HMS DAS Cilember dengan Kolam Retensi

Setelah diperoleh hasil simulasi hidrologi DAS Cilember tanpa keberadaan kolam retensi, langkah berikutnya adalah memodelkan skenario dengan keberadaan kolam retensi sebagai alat pengendali banjir. Dalam simulasi ini, kolam retensi diperlakukan sebagai storage yang menahan sebagian debit limpasan pada puncak banjir, kemudian melepaskannya secara terkendali melalui struktur outlet atau pompa.

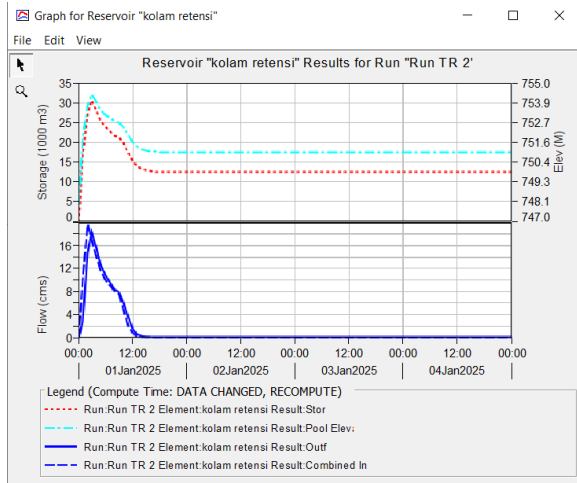
Analisis dijalankan menggunakan HEC-HMS dengan parameter hidrologi yang telah dikalibrasi sebelumnya. Pendekatan ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana kolam retensi dapat menurunkan debit puncak dan menggeser waktu terjadinya puncak aliran (*peak lag*). Fenomena ini terjadi karena kolam retensi berfungsi sebagai storage yang menahan sebagian limpasan saat puncak hujan, sehingga aliran yang masuk ke sungai menjadi lebih terkendali. Secara hidrologis, mekanisme ini efektif dalam mereduksi risiko banjir pada wilayah hilir, terutama pada DAS dengan respon cepat seperti DAS Cilember.

Hasil simulasi ini menjadi acuan dalam menilai efektivitas desain kolam retensi dalam mereduksi limpasan banjir di kawasan perkotaan Sungai Cilember.

Debit Banjir Rancangan dengan ada kolam retensi

Kondisi awal kolam retensi diperhitungkan kosong atau kering pada elevasi 748 m. Dalam kondisi tidak difungsikan, kolam dipertahankan kering agar dapat menampung limpasan secara maksimal saat terjadi hujan. Pengeringan kolam dilakukan menggunakan pompa. Kurva tampungan kolam menunjukkan elevasi terendah 748 mdpl dan kapasitas tampungan maksimal 35.000 m³ pada elevasi 755 m, sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Setelah semua parameter dimasukkan, simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak, dengan kolam retensi sebagai bagian dari model. Hasil dari running program ini menggambarkan dampak kolam retensi terhadap pengendalian debit limpasan.



Gambar 6. Hidrograf banjir simulasi dengan kolam retensi

Perbandingan antara Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa keberadaan kolam retensi mampu menurunkan debit puncak serta memperlambat waktu terjadinya puncak aliran (lag time), yang merupakan indikator penting dalam pengendalian banjir.

Optimasi Kolam Retensi

Optimalisasi kolam retensi dilakukan untuk menentukan konfigurasi desain yang paling efisien dalam menurunkan puncak debit banjir sekaligus memenuhi pertimbangan teknis

1. Menambah tampungan kolam retensi 1

Tahap awal optimasi dilakukan dengan memperluas wilayah Kolam Retensi 1 ke area kosong di sekitarnya sekaligus menambah kedalaman kolam sekitar 2 meter dari rencana awal. Perubahan ini meningkatkan reduksi limpasan dari 7,1% menjadi 8,6%. Namun, ketika diuji menggunakan curah hujan kala ulang 5 tahun, Kolam Retensi 1 tidak lagi mampu menampung debit puncak.

Peningkatan reduksi yang relatif kecil menunjukkan bahwa penambahan kapasitas yang terbatas belum mampu mengimbangi peningkatan debit akibat hujan dengan kala ulang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa kapasitas tampungan Kolam Retensi 1 telah mendekati batas optimalnya, sehingga intervensi parsial tidak memberikan peningkatan kinerja yang signifikan.

2. Menambah tampungan dengan perluasan kolam retensi 1

Wilayah di sekitar rencana Kolam Retensi 1 didominasi permukiman, sehingga pembebasan lahannya akan mahal dan menimbulkan potensi masalah sosial. Meski demikian, simulasi tetap dilakukan dengan menambahkan area kolam ke sisi yang masih berdampingan dengan Kolam Retensi 1 seperti ditunjukkan pada Gambar 7, dengan luas tambahan sebesar 12.785 m²



Gambar 7. Perluasan Kolam Retensi Pasirkaliki

Hasil simulasi dengan opsi perluasan Kolam Retensi di sekitar wilayah menunjukkan bahwa debit puncak dapat dikurangi sebesar 5,4 m³/s, atau setara dengan penurunan limpasan sebesar 27,4%.

Reduksi sebesar 27,4% menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan skenario sebelumnya. Namun, efektivitas ini perlu dipertimbangkan secara teknis dan sosial, mengingat lokasi berada pada kawasan permukiman yang berpotensi menimbulkan kendala pembebasan lahan. Dengan demikian, meskipun secara hidrologis efektif, alternatif ini kurang optimal dari aspek implementasi.

3. Menambah Kolam Retensi pada titik lain

Penentuan lokasi kolam retensi didasarkan pada analisis awal terhadap ketersediaan lahan kosong serta karakteristik hidrologi dan topografi. Dalam penelitian ini, lokasi tersebut masih bersifat alternatif dan belum merupakan keputusan final pembangunan. Kolam retensi ini diberi nama Kolam Retensi 2, dengan posisi alternatif di Cihanjuang, Kabupaten Bandung Barat, sekitar 5 km di hulu Kolam Retensi 1

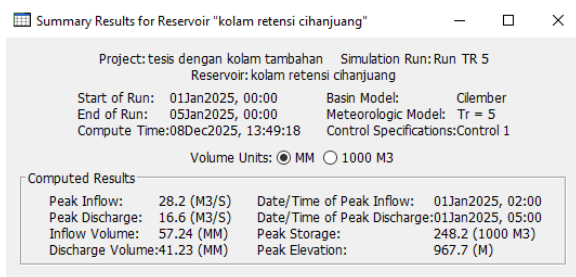
(Pasirkaliki) seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Luas area yang direncanakan untuk kolam ini adalah 65.431 m².



Gambar 8. Lokasi kolam retensi alternatif

Hasil simulasi menunjukkan bahwa Kolam Retensi 2 mampu mereduksi debit puncak banjir hingga 50,3%, jauh lebih besar dibandingkan Kolam Retensi 1 yang hanya memberikan reduksi sebesar 4,1% terhadap total debit banjir rencana.

Secara hidrologis, hasil ini menunjukkan bahwa penempatan kolam retensi di wilayah hulu lebih efektif dalam mengendalikan limpasan, karena mampu menahan aliran sejak awal sebelum terakumulasi di hilir. Strategi ini sejalan dengan konsep pengelolaan DAS terpadu, di mana pengendalian limpasan di hulu memberikan dampak yang lebih signifikan terhadap pengurangan debit puncak di hilir.



Gambar 9. Hasil simulasi HEC HMS pada kolam retensi 2 (Q5)

III.2 Analisis Hidraulika Sungai Cilember

Dilakukan analisis hidraulika dengan bantuan perangkat lunak HEC RAS

Kalibrasi dan Validasi Model HEC RAS

Tahap kalibrasi mencakup penyesuaian koefisien kekasaran Manning (n) dan pengaturan geometri penampang sungai. Hasil simulasi HEC-RAS pada titik kalibrasi mendekati data ketinggian air aktual, sehingga parameter yang digunakan mencerminkan kondisi nyata saluran.

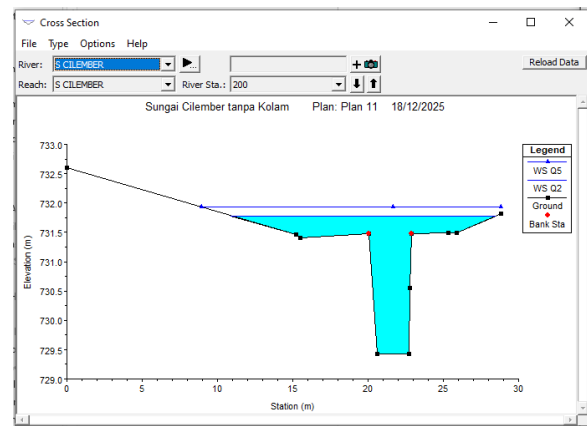
Tabel 4. Perbandingan ketinggian Muka Air Kalibrasi

Ketinggian muka air aktual (m)	Ketinggian muka air simulasi (m)	Selisih (m)	Deviasi relative (%)	Kategori
2.089	2.130	-0.041	-1.96	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 4, nilai deviasi relatif sebesar -1,96% menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam merepresentasikan kondisi muka air aktual.

Analisis HEC RAS tanpa kolam retensi

Pada tahap ini, pemodelan dilakukan menggunakan HEC-RAS untuk mensimulasikan profil muka air sepanjang sungai, dengan memasukkan debit rencana hasil HEC-HMS pada kondisi eksisting tanpa kolam retensi.



Gambar 10. Hasil simulasi HEC RAS Q2 tanpa kolam retensi

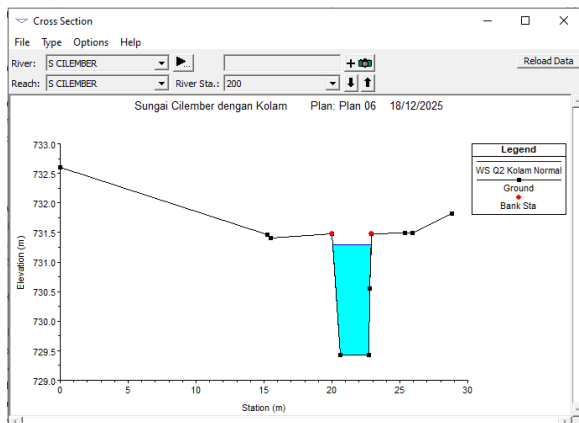
Analisis HEC RAS dengan kolam retensi

Hasil analisis menunjukkan bahwa keberadaan kolam retensi memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan profil muka air, khususnya pada titik-titik kritis Sungai Cilember yang sebelumnya berpotensi meluap. Secara kuantitatif, terjadi penurunan elevasi muka air dari 731,78 m pada kondisi tanpa kolam retensi menjadi 731,29 m dengan

kolam retensi 1, dan hingga 730,61 m pada kombinasi kolam retensi 1 dan 2 untuk debit rencana kala ulang 2 tahun.

Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas kolam retensi meningkat ketika dikombinasikan dengan sistem tambahan di bagian hulu. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan multi-struktur lebih optimal dibandingkan pendekatan tunggal dalam sistem DAS perkotaan. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kolam retensi dengan kapasitas terbatas cenderung memiliki efektivitas reduksi yang tidak signifikan apabila tidak didukung sistem tambahan (Fitriani & Pratiwi, 2021; Agustine & Budiyanitini, 2024).

Selain itu, hasil simulasi pada skenario kondisi tahun 2025 menunjukkan adanya penurunan kinerja kolam retensi dibandingkan dengan kondisi perencanaan tahun 2020. Hal ini dipengaruhi oleh perubahan tata guna lahan yang semakin didominasi oleh permukaan kedap air serta peningkatan intensitas curah hujan, yang menyebabkan volume limpasan meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa efektivitas infrastruktur pengendalian banjir bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh perubahan karakteristik hidrologi, sehingga memerlukan pendekatan adaptif dalam perencanaan dan pengelolaannya.



Gambar 11. Profil muka air setelah penerapan kolam retensi

Seperti terlihat pada Gambar 10, kondisi tanpa kolam retensi menunjukkan potensi limpasan pada beberapa penampang sungai. Sementara itu, pada Gambar 11 terlihat adanya penurunan muka air setelah penerapan kolam retensi.

Perbandingan elevasi muka air pada berbagai skenario simulasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil simulasi elevasi muka air

No	Skenario Kondisi	Kala Ulang	River Sta.	Elevasi muka air (m)
1	Tanpa kolam retensi	2	200	731.78
2	Kolam retensi 1	2	200	731.29
3	Kolam retensi 1 dan 2	2	200	730.61
4	Tanpa kolam retensi	5	200	731.93
5	Kolam retensi 1 dan 2	5	200	731.09

Tabel 5 menyajikan perbandingan elevasi muka air pada berbagai skenario, yang menunjukkan tren penurunan muka air seiring dengan penambahan sistem kolam retensi.

Sebaran Banjir

Analisis distribusi genangan pada kondisi eksisting dilakukan menggunakan modul RAS Mapper di HEC-RAS. Setelah model geometri dikalibrasi terhadap data lapangan (elevasi muka air dan catatan banjir historis), simulasi *unsteady* dijalankan untuk hidrograf puncak rencana. Output RAS Mapper menghasilkan peta kedalaman maksimum yang menunjukkan pola genangan sepanjang koridor sungai dan dataran banjir sekitarnya.

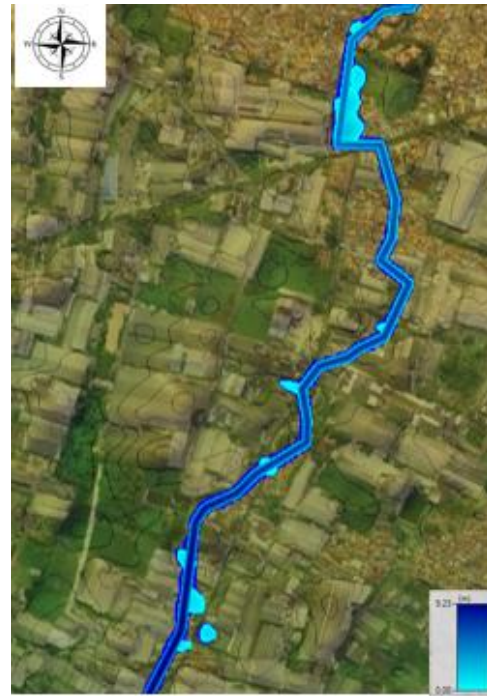
Simulasi dilakukan dengan memasukkan hidrograf hasil HEC-HMS dan data terrain dari DEMNAS yang telah dimodifikasi. Modifikasi diperlukan karena resolusi terrain tidak cukup akurat untuk sungai kecil, serta data asli tidak mencakup bangunan, sehingga sebaran banjir kurang presisi. Meskipun demikian, simulasi ini tetap mampu menggambarkan perubahan luas genangan sebelum dan sesudah penerapan kolam retensi untuk debit rencana kala ulang 2 dan 5 tahun (Q_2 dan Q_5).



Gambar 12. Simulasi sebaran banjir di hilir tanpa ada kolam retensi (Q2)



Gambar 13. Simulasi sebaran banjir di hilir dengan adanya kolam retensi 1 (Q2)



Gambar 14. Simulasi sebaran banjir di hilir dengan adanya kolam retensi 2 (Q2)

Perbandingan Gambar 12 dan Gambar 13 dan 14 menunjukkan bahwa luas genangan berkurang secara signifikan setelah penerapan kolam retensi.

Hasil perbandingan luas genangan untuk setiap skenario ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan luas genangan banjir

Skenario	Luas (ha)	Keterangan
Debit banjir Q2 tanpa kolam	23.0	-
Debit banjir Q2 dengan kolam retensi 1 kondisi perencanaan	21.3	Pengurangan 1.7 ha
Debit banjir Q2 dengan tambahan kolam retensi 2	11.5	Pengurangan 11.5 ha

Berdasarkan Tabel 6, terjadi pengurangan luas genangan yang cukup signifikan, terutama pada skenario dengan penambahan kolam retensi kedua. Hasil ini menunjukkan bahwa kolam retensi tunggal hanya memberikan pengurangan genangan yang relatif terbatas, sedangkan penambahan kolam pada lokasi strategis di hulu mampu menurunkan luas genangan secara signifikan hingga lebih dari 50%. Pola ini mengindikasikan bahwa distribusi spasial infrastruktur pengendalian banjir memiliki peran yang

lebih penting dibandingkan hanya peningkatan kapasitas di satu titik. Temuan ini konsisten dengan konsep distributed storage dalam pengelolaan DAS, yang menekankan pentingnya penyebaran tampungan untuk mereduksi limpasan secara lebih efektif.

Proyeksi Kebutuhan Kolam Retensi

Dalam penelitian ini, dilakukan skenario proyeksi yang mempertimbangkan perubahan tata guna lahan dan variasi pola curah hujan. Debit banjir rancangan untuk tiap skenario dihitung, kemudian dibandingkan dengan kapasitas kolam retensi yang ada saat ini.

Skenario Proyeksi Tata Guna Lahan

Proyeksi perubahan tata guna lahan didasarkan pada data perubahan selama lima tahun terakhir (2020–2025) dan diperluas secara linear untuk proyeksi 15 dan 25 tahun ke depan. Dalam skenario ini, perubahan lahan terutama terjadi pada kawasan permukiman akibat pertumbuhan penduduk dan ekspansi pembangunan yang menggantikan tegalan, ladang, atau lahan kosong. Lahan sawah tetap dipertahankan sesuai arahan pemerintah melalui instruksi presiden terkait program ketahanan pangan, karena banyak berada dalam kategori Lahan Sawah Dilindungi (LSD).

Tabel 7. Perbandingan skenario perubahan tata guna lahan

Skenario	Luas (ha)	Presentase (%)
skenario proyeksi perubahan lahan 5 th	64.15	22
skenario proyeksi perubahan lahan 15 th	192	67
skenario proyeksi perubahan lahan 25 th	321	112

Proyeksi Curah Hujan

Berdasarkan kajian Kementerian PUPR Dirjen SDA, hujan dengan kala ulang tinggi diperkirakan meningkat di masa depan, dengan nilai median rata-rata sekitar 14 % untuk periode jangka pendek (2020–2060). Dengan pendekatan bulan basah, yang didefinisikan sebagai curah hujan >100 mm, data 10 tahun terakhir diklasifikasikan ke dalam bulan basah dan kering. Frekuensi bulan basah terbanyak dalam 10 tahun dijadikan dasar proyeksi peningkatan curah hujan, sementara bulan lainnya diproyeksikan mengalami penurunan curah hujan.

Analisis proyeksi

Dengan pendekatan ini, skenario hidrologi masa depan dapat dimodelkan menggunakan HEC-HMS. Analisis proyeksi bertujuan mengevaluasi kinerja kolam retensi dan jaringan sungai pada kondisi ekstrem, sehingga strategi desain dan operasi kolam retensi dapat disesuaikan untuk memastikan efektivitas pengendalian banjir tetap terjaga.

Hasil proyeksi hidrologi untuk berbagai skenario waktu disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan skenario perubahan tata guna lahan

Parameter	Proyeksi 5 tahun	Proyeksi 15 tahun	Proyeksi 25 tahun
Peak inflow (m ³ /s)	22	26.1	29.9
Peak discharge (m ³ /s)	11.1	13.4	15.7
Peak Storage (1000m ³)	228.7	237	244.9

Berdasarkan Tabel 8, terjadi peningkatan debit puncak seiring dengan proyeksi perubahan tata guna lahan, yang menunjukkan adanya penurunan kinerja sistem pengendalian banjir eksisting. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa dalam 5–15 tahun ke depan, kolam retensi masih mampu menampung limpasan. Namun, efektivitas reduksi limpasan menurun secara bertahap, terutama saat menggunakan debit Q_2 . Dengan kolam tambahan berkapasitas besar, pengendalian masih memadai, tetapi jika hanya mengandalkan kolam sesuai rencana awal dan menghadapi debit lebih tinggi, kolam tidak mampu menampung seluruh limpasan.

Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas kolam retensi eksisting memiliki keterbatasan dalam menghadapi skenario perubahan jangka panjang, terutama akibat peningkatan limpasan dari perubahan tata guna lahan. Dengan demikian, perencanaan pengendalian banjir tidak dapat bersifat statis, melainkan perlu mempertimbangkan skenario adaptif berbasis proyeksi hidrologi dan perkembangan wilayah.

Uji Sensitivitas parameter *Curve Number*

Uji sensitivitas *Curve Number* (CN) dilakukan menggunakan model HEC-HMS pada konfigurasi Kolam Retensi Optimasi 1, yang dipilih karena perluasan kolam tetap berada di lahan milik pemerintah. Pada analisis ini, nilai CN divariasikan secara bertahap untuk menggambarkan potensi peningkatan kawasan permukiman, sementara

parameter lain dan konfigurasi sistem dipertahankan konstan.

Tabel 9. Uji Sensitivitas Curve Number

No	Curve Number	Kala Ulang, T	Reduksi limpasan (m ³ /s)	Kondisi
1	68.76	2	0.9	Aman
2	72.58	2	0.7	Aman
3	76.40	2	1.6	Kritis
4	80.22	2	Melimpas	Tidak aman
5	84.04	2	-	Tidak aman

Berdasarkan Tabel 9, hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa peningkatan nilai Curve Number (CN) berpengaruh signifikan terhadap kemampuan sistem dalam menampung limpasan. Hasil uji sensitivitas untuk debit rencana kala ulang 2 tahun (T = 2) menunjukkan bahwa sistem pengendalian banjir masih mampu menampung limpasan hingga CN 76,40, meskipun dalam kondisi kritis. Saat CN meningkat menjadi 80,22, kolam retensi mulai melimpas, menandakan kondisi tidak aman. Oleh karena itu, CN threshold ditetapkan pada 76,40, yang mencerminkan batas maksimum kapasitas sistem terhadap kondisi tata guna lahan saat ini. Berdasarkan CN threshold dan perhitungan CN komposit, luas permukiman maksimum yang diperbolehkan adalah 352 ha, sehingga pengembangan permukiman di luar batas ini tidak dianjurkan tanpa peningkatan kapasitas sistem pengendalian banjir.

IV. KESIMPULAN

Evaluasi desain Kolam Retensi Pasirkaliki pada DED BBWS Citarum 2020 dengan data tata guna lahan dan curah hujan terbaru menunjukkan penurunan efektivitas pengendalian banjir. Awalnya, Kolam Retensi 1 diproyeksikan menurunkan muka air hilir 15–20 cm atau mengurangi limpasan sebesar 11%. Simulasi terkini menunjukkan kemampuan kolam hanya mereduksi debit puncak 1,4 m³/s atau reduksi limpasan 7,1% dengan penurunan muka air hilir 6–20 cm untuk debit rancangan kala ulang 2 tahun, menandakan desain 2020 tidak sepenuhnya sesuai kondisi hidrologi saat ini.

Untuk meningkatkan kinerja, dilakukan tiga skenario optimasi kapasitas tampungan. Hasilnya, pembangunan kolam retensi baru di hulu DAS paling efektif dibanding perluasan kolam eksisting. Perluasan Kolam Retensi 1 menghasilkan reduksi 8,6%, sedangkan perluasan area sekitarnya meningkatkan reduksi hingga 27,4%. Kolam Retensi 2 (Cihanjuang) menunjukkan kinerja terbaik dengan pengurangan debit puncak 54,3% untuk kala ulang 2 tahun dan penurunan muka air hilir 58–98 cm.

Simulasi proyeksi perubahan tata guna lahan dan intensitas curah hujan untuk 5, 15, dan 25 tahun ke depan memperlihatkan peningkatan debit banjir. Kolam Retensi 2 tetap mampu menampung debit untuk kala ulang 2 dan 5 tahun, meskipun efektivitas reduksi limpasan menurun bertahap, dari 49,5% menjadi 47,5% untuk Q₂ dan dari 41,4% menjadi 38,4% untuk Q₅.

REFERENSI

- Agustine, A. V., & Budiyantini, Y. (2024). Tingkat efektivitas kolam retensi Cieunteung dalam mengendalikan banjir di kawasan Baleendah, Kabupaten Bandung [Skripsi sarjana, Institut Teknologi Nasional Bandung].
- Asdak, C. (2007). Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gadjah Mada University Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 2415:2016 – Tata cara perhitungan debit banjir rencana.
- Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum. (2016). Detail desain pengendalian banjir Sungai Cilember di Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum. (2020). Detail desain pembangunan kolam retensi. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Chow, V. T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill.

- Debo, T. N., & Reese, A. J. (2003). *Municipal stormwater management* (2nd ed.). Lewis Publishers.
- Dingman, S. L. (2002). *Physical hydrology* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Fitriani, A. A., & Pratiwi, V. (2021). Evaluasi kapasitas kolam retensi Cieunteung sebagai upaya mereduksi banjir Baleendah, Kabupaten Bandung. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 2(2)
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2014). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (n.d.). Modul 4: Perencanaan sistem polder dan kolam retensi – SiMANTU. <https://simantu.pu.go.id>
- Kementerian Pekerjaan Umum. (n.d.). *Kajian Perubahan Pola Hujan di Pulau Jawa Akibat Perubahan Iklim. Laporan Akhir*. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air
- Marsalek, J., & Schreier, H. (2009). Innovative urban wet-weather flow management systems. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 135(5), 445–451
- Mays, L. W. (2001). *Water resources engineering*. Brooks/Cole.
- Mays, L. W. (2011). *Water resources engineering* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- McEnroe, B. M., Hunt, W. F., & Emerson, C. H. (2004). *Retention ponds in urban areas: A practical guide*. ASCE Press.
- Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 333–365.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2011). Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 74).
- Pemerintah Republik Indonesia. (2012). Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 64).
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 45).
- Suripin. (2004). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Andi Offset.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidraulika sungai*. Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi terapan*. Beta Offset.
- United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. (1986). *Urban hydrology for small watersheds* (Technical Release 55 [TR-55], 2nd ed.).