



Optimalisasi Konservasi Air Melalui Sumur Resapan Untuk Mengatasi Dampak Urbanisasi Studi Kasus di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri

Diyanti*, Nur Mila Sari, Rehulina Apriyanti

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma, Indonesia

^{*)} Email corresponding author: diyanti311@gmail.com

Received: 26 Februari 2026 Revised: 13 Agustus 2026 Accepted: 14 Agustus 2026

Abstract

The rapid expansion of the Nuansa Alam Cilebut Asri Housing Area has transformed 6 hectares of agricultural land into residential areas, resulting in the loss of natural infiltration zones due to increased impervious surfaces from roads and buildings. This land-use change has altered the hydrological characteristics of the area by increasing surface runoff, intensifying inundation risks during extreme rainfall events, and reducing groundwater recharge capacity. This study evaluates water conservation measures to mitigate inundation impacts through the implementation of infiltration wells. A quantitative approach was applied by integrating soil permeability testing, frequency analysis of 10-year historical rainfall data from three observation stations, and assessment of suitable water conservation structures. The Log Pearson Type III distribution was selected based on the goodness-of-fit test for a 2-year return period, producing a design rainfall of 109.107 mm/day and a design runoff discharge of 0.284 m³/s. The analysis indicates that the runoff can be effectively controlled through the construction of 360 infiltration wells with a diameter of 1 m, a depth of 3 m, a storage capacity of 2.36 m³, and a filling duration of 2 hours and 20 minutes. The proposed green infrastructure approach significantly reduces surface runoff and enhances the hydrological resilience of the area through sustainable groundwater recharge.

Keywords: *Infiltration wells, urbanization, water conservation, surface runoff, residential areas*

Abstrak

Pertumbuhan kawasan yang sangat cepat di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri telah menggeser fungsi 6 hektar lahan pertanian menjadi area permukiman, yang mengakibatkan hilangnya area resapan alami karena tertutup oleh jalan dan bangunan. Perubahan hidrologis ini memicu peningkatan debit limpasan permukaan, risiko genangan saat curah hujan ekstrem, dan penurunan cadangan air tanah secara ekstrem. Penelitian ini menganalisis konservasi air guna memitigasi dampak genangan melalui implementasi sumur resapan yang efektif. Pendekatan metode kuantitatif digunakan dengan mengintegrasikan pengujian laboratorium untuk mendapatkan permeabilitas tanah, analisis frekuensi data curah hujan historis 10 tahun dari tiga stasiun pengamatan, dan analisis kesesuaian bangunan konservasi air. Berdasarkan uji kecocokan distribusi Log Pearson Tipe III untuk periode ulang 2 tahun, didapatkan curah hujan rencana 109,107 mm/hari, dan didapatkan debit rancangan kawasan mencapai 0,284 m³/detik. Hasil analisis konservasi air bahwa debit tersebut dapat direduksi secara optimal melalui pembangunan 360 unit sumur resapan dengan diameter 1 meter, kedalaman 3 meter, kapasitas tampung 2,36 m³, dan durasi pengisian selama 2 jam 20 menit. Pembangunan infrastruktur hijau ini dapat menekan limpasan permukaan pada saluran eksisting secara signifikan sekaligus memulihkan ketahanan hidrologis kawasan dengan meregenerasi air tanah secara berkelanjutan.

Kata kunci: *Sumur resapan, urbanisasi, konservasi air, limpasan permukaan, permukiman*

Pendahuluan

Pertumbuhan dan kepadatan penduduk yang terus meningkat secara global memicu laju urbanisasi yang pesat (Li *et al.*, 2025; R. Zhao *et al.*, 2025). Fenomena ini secara ekstrem mengubah lahan terbuka hijau menjadi kawasan terbangun yang didominasi oleh permukaan kedap air seperti jalan aspal, beton, dan atap bangunan (Bulltail, 2024; Qin, 2020). Perubahan tata guna lahan ini sangat mengganggu siklus hidrologi alami. Hal ini terjadi karena menghambat laju infiltrasi air hujan ke dalam tanah dan secara signifikan meningkatkan volume serta kecepatan limpasan permukaan (*runoff*) (Singh *et al.*, 2020).

Kondisi ini menimbulkan dua krisis hidrologi utama di kawasan perkotaan, yaitu ancaman genangan atau banjir saat curah hujan tinggi, yang sering kali berdampingan dengan krisis ketersediaan air tanah saat musim kemarau (Bigurra-Alzati *et al.*, 2020; Muttill *et al.*, 2023; J. Zhao *et al.*, 2024). Sebagai contoh nyata, di daerah yang mengalami alih fungsi lahan secara ekstrem dari lahan pertanian menjadi pemukiman padat, genangan air terjadi akibat kapasitas sistem drainase konvensional yang tidak lagi memadai untuk menampung kenaikan debit air limpasan. Di sisi lain, karena air hujan langsung terbuang ke saluran pembuangan dan tidak memiliki kesempatan untuk meresap ke dalam tanah, terjadi penipisan cadangan air tanah yang merupakan sumber utama kebutuhan domestik bagi banyak masyarakat perkotaan (Gebreslassie *et al.*, 2025). Proses konversi lahan tidak hanya mengurangi luas ruang terbuka tetapi juga mengganggu keseimbangan hidrologi yang esensial untuk kualitas lingkungan (Mark Louie T. Ajoc *et al.*, 2024; Suprayogi *et al.*, 2019), yang berpotensi mengakibatkan banjir lokal maupun genangan, terutama di area dengan sistem drainase yang tidak memadai (De Holanda *et al.*, 2020; Mark Louie T. Ajoc *et al.*, 2024; Ramos & Besharat, 2021). (Gebreslassie *et al.*, 2025).

Dalam upaya mitigasi dampak buruk urbanisasi tersebut, sehingga pendekatan infrastruktur hijau menjadi sangat penting. Salah satu implementasi yang direkomendasikan secara luas adalah pembangunan sumur resapan (Bigurra-Alzati *et al.*, 2020). Secara prinsip, sumur resapan bekerja dengan cara mencegat, menampung, dan mendistribusikan air hujan dari permukaan menuju lapisan tanah dalam (*akuifer*) melalui proses perembesan secara perlahan. Implementasi fasilitas ini memberikan manfaat ganda yang signifikan yaitu dalam mengurangi risiko banjir dan genangan air dengan menekan aliran permukaan, sekaligus mengkonservasi sumber daya air dengan meregenerasi cadangan air tanah yang vital (Pour *et*

al., 2020; Ramos & Besharat, 2021; Wang *et al.*, 2018). Netzer *et al.* (2024) bahkan menunjukkan melalui pengujian lapangan bahwa sumur resapan yang menampung air hujan dari atap bangunan berpotensi mengurangi aliran ke sistem drainase perkotaan hingga sekitar 40%.

Meskipun sistem resapan terbukti efektif secara hidrologis, penerapannya di kawasan perkotaan sering kali dihadapkan pada kendala serius, seperti keterbatasan ketersediaan lahan terbuka yang semakin menyempit dan tingginya biaya konstruksi (Singh *et al.*, 2020). Lebih jauh lagi, fasilitas resapan konvensional rentan mengalami luapan (*overflow*) saat dihadapkan pada curah hujan ekstrem dengan durasi yang lama (Bigurra-Alzati *et al.*, 2020; Qin, 2020; Sapan *et al.*, 2022). Shahzad *et al.* (2022) juga menemukan bahwa sumur resapan yang tersebar hanya mampu mencegat sebagian kecil limpasan apabila volume tampungan tiap unit terlalu kecil dibandingkan luas area kedap air yang dilayaninya. Keterbatasan dan tantangan ini mengindikasikan bahwa hanya membangun sumur resapan secara konvensional tidaklah cukup.

Maka, diperlukan sebuah strategi optimalisasi yang mempertimbangkan kondisi spesifik lokasi. Optimalisasi yang mempertimbangkan tata letak yang efisien, kapasitas tampung yang memadai, serta kombinasi jumlah dan dimensi sumur yang paling efektif dan hemat biaya agar fasilitas ini mampu menurunkan debit puncak (*peak flow*) limpasan banjir secara maksimal, bahkan di lahan yang terbatas. Oleh karena itu, penelitian yang mendalam mengenai optimalisasi konservasi air melalui sumur resapan di kawasan spesifik menjadi sangat penting untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan, baik bagi lingkungan maupun masyarakat yang terdampak oleh dampak negatif urbanisasi. Pengelolaan air yang efektif di area perkotaan yang menghadapi tantangan urbanisasi menjadi semakin penting untuk mencapai keseimbangan antara pembangunan urban dan keberlanjutan lingkungan (Zhao *et al.*, 2024).

Pada penelitian-penelitian terdahulu umumnya mengkaji efektivitas infrastruktur resapan secara konseptual atau pada skala fasilitas tunggal (Pour *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020; Ashabie & Masjud, 2022), untuk memperoleh konfigurasi jumlah, dimensi, kapasitas tampung, dan waktu pengisian sumur berdasarkan kondisi aktual lokasi studi. Pendekatan pada penelitian ini berbasis parameter lokasi untuk mendukung penerapan infrastruktur hijau pada kawasan permukiman yang mengalami peningkatan limpasan akibat urbanisasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan strategi konservasi air guna

mitigasi dampak genangan melalui implementasi sumur resapan dengan studi kasus di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri. Secara spesifik, penelitian difokuskan untuk menganalisis debit limpasan banjir kawasan yang perlu ditampung dan dioptimalkan dengan desain hidrolika meliputi penentuan kapasitas, dimensi, jumlah, dan waktu pengisian sumur. Optimalisasi sumur resapan dilakukan dengan mengintegrasikan karakteristik spesifik kawasan permukiman dengan perubahan tata guna lahan akibat urbanisasi, parameter infiltrasi tanah hasil pengujian lapangan, analisis hujan rancangan, dan evaluasi kapasitas hidrolika sumur resapan.

Metode

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan metode studi kasus yang fokus pada konservasi air dengan sumur resapan.

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri yang berlokasi di Kecamatan Sukaraja, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada identifikasi masalah di lapangan di mana kawasan tersebut telah mengalami alih fungsi lahan drastis dari lahan pertanian menjadi kawasan permukiman padat, yang memicu masalah genangan limpasan permukaan saat musim hujan akibat berkurangnya area resapan air.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pemetaan tata letak dan data teknis kawasan perumahan dianalisis secara spasial menggunakan bantuan *Google Earth*. Keseluruhan rangkaian penelitian, mulai dari pengambilan sampel hingga analisis data hidrologi-hidrolika, dilaksanakan selama periode 4 (empat) bulan, dengan peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Jenis dan sumber data yang digunakan

Penelitian ini menggunakan beberapa data untuk mendukung analisis optimalisasi konservasi air.

Data curah hujan harian maksimum diambil dari tiga stasiun meteorologi terdekat yang representatif terhadap wilayah studi yaitu Stasiun Cibinong, Stasiun Gadog, dan Stasiun Ranca Bungur. Periode data yang digunakan adalah dari tahun 2014 hingga 2023, yang memberikan rentang waktu yang memadai untuk analisis frekuensi.

Data spasial berupa peta administrasi wilayah Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri, peta tata guna lahan, dan peta topografi akan digunakan untuk memahami kondisi fisik lokasi, area tangkapan hujan, dan kontur lahan dapat dilihat pada Gambar 2. Data ini akan membantu dalam menentukan luas area yang membutuhkan penanganan dan potensi penempatan sumur resapan. Data demografi dan perumahan berupa data informasi mengenai jumlah penduduk, kepadatan penduduk, serta luas dan jenis bangunan di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri digunakan untuk mendukung analisis dampak urbanisasi dan kebutuhan ruang.



Gambar 2. Daerah tangkapan air

Permeabilitas tanah didapatkan dari pengujian laboratorium analisis gradasi butiran dan Batas *Atterberg* dari sampel tanah yang diambil secara langsung dari pengujian *handbor*. Untuk mengetahui kemampuan tanah meloloskan air, Syahrudin *et al.* (2019) memberikan rujukan konkret mengenai metode pengujian permeabilitas tanah secara langsung di lapangan (*in-situ*). Pengujian ini dilakukan dengan membuat lubang silinder, memformulasikan volume air yang masuk, dan menghitung durasi peresapannya dengan Persamaan 1.

$$K = \frac{V}{(A \cdot t)} \quad (1)$$

Ashabie & Masjud (2022) juga memberikan alternatif metode pengujian lapangan menggunakan alat infiltrometer cincin ganda (*double ring infiltrometer*). Sementara itu, Ruslinda *et al.* (2021) menyajikan acuan korelasi antara tekstur tanah (misalnya *clay loam* atau lempung berliat) dengan laju infiltrasi air, yang sangat berguna jika metode laboratorium (seperti pengujian gradasi

butir/Atterberg) diterapkan untuk karakterisasi tanah.

Analisis hidrologi

Analisis curah hujan kawasan dilakukan dengan metode Poligon Thiessen dan menggunakan data curah hujan dari tiga stasiun. Persamaan curah hujan kawasan dengan Poligon Thiessen seperti pada Persamaan 2.

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Dimana P adalah curah hujan rata-rata wilayah (mm), P_i adalah curah hujan di stasiun 1, stasiun 2, dan seterusnya (mm), dan A adalah luas area poligon yang mewakili stasiun 1, stasiun 2, dan seterusnya (m^2).

Untuk memperkirakan probabilitas suatu kejadian hidrologi berdasarkan data historis sebagai acuan dalam analisis hidrologi selanjutnya dilakukan analisis frekuensi. Hal ini untuk mengantisipasi potensi yang akan terjadi di masa yang akan datang. Dengan asumsi bahwa sifat-sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat-sifat statistik kejadian hujan di masa lalu (Suripin, 2004). Analisis frekuensi digunakan untuk menganalisis kejadian curah hujan tinggi seperti hujan atau banjir rancangan maupun kekeringan.

Parameter-parameter statistik yang diperlukan dalam analisis curah hujan untuk menentukan distribusi probabilitas teoritis yang sesuai adalah nilai rata-rata ($\bar{X}$) menggunakan Persamaan 3, standar deviasi (S_d) menggunakan Persamaan 4, koefisien kemencengan (C_s) dengan Persamaan 5, koefisien variasi (C_v) dengan Persamaan 6 dan koefisien kurtosis (C_k) dengan Persamaan 7.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (4)$$

$$C_s = \frac{N \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(N-1)(N-2) \bar{X} S_d^3} \quad (5)$$

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \quad (6)$$

$$C_k = \frac{N^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(N-1)(N-2)(N-3) \bar{X} S_d^4} \quad (7)$$

Dimana n adalah jumlah data curah hujan, X_i adalah curah hujan 1,2,3,...,i, (mm) dan N adalah Jumlah data curah hujan.

Analisis ini untuk menentukan curah hujan rancangan pada berbagai periode ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai antara distribusi curah hujan teoritis dan distribusi curah hujan empiris. Dalam penelitian ini, dihitung curah hujan harian rancangan dengan periode ulang 2, 5, 20, 50, dan

100 tahun. Menurut (Triatmodjo, 2008), fungsi distribusi kontinu (teoritis) dengan beberapa bentuk, yang sering digunakan dalam analisis frekuensi untuk hidrologi, seperti distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, Log Pearson III. Dalam studi ini, uji kecocokan distribusi Chi-Square dan Smirnov Kolmogorov dilakukan untuk mengevaluasi seberapa baik setiap distribusi statistik cocok dengan data historis curah hujan.

Ketentuan teknis yang digunakan mengacu SNI 8456:2017 tentang Sumur dan Parit Resapan Air Hujan, 2017, dengan modifikasi sumur resapan guna mengendalikan kondisi pada saat curah hujan ekstrim. Analisis hidrologi dan curah hujan rencana pada Ashabie & Masjud (2022) menggunakan tahapan analisis frekuensi curah hujan yang identik dengan yang dibutuhkan dalam analisis sumur resapan, yaitu evaluasi distribusi probabilitas seperti Gumbel, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III. Untuk memverifikasi keabsahan distribusi data curah hujan tersebut, digunakan metode uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov. Selanjutnya, untuk mengonversi curah hujan menjadi debit limpasan permukaan rancangan, membuktikan relevansi penggunaan Metode Rasional. Analisis debit rancangan menggunakan Persamaan 8.

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A \quad (8)$$

Dimana, Q adalah debit rancangan ($m^3/detik$) dengan C sebagai koefisien limpasan yang ditetapkan sebesar 0,95. A adalah luas bidang tadah yang mempunyai kemiringan seperti atap rumah ditetapkan sebagai luas bidang proyeksi, dan I adalah intensitas curah hujan (mm/jam) ditentukan dengan analisis *Intensity Duration Frequency* (IDF) dari daerah lokasi pembangunan dengan durasi hujan 2 jam dan periode ulang 2 tahunan menggunakan Persamaan 9.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (9)$$

Analisis hidrolika

Syahrudin *et al.* (2019) menjabarkan formula bahwa kebutuhan luas bidang resapan (A) dapat dihitung dari intensitas curah hujan dikalikan dengan luas lahan, lalu dibagi dengan koefisien permeabilitas tanah (K) melalui Persamaan 10.

$$A = \frac{(I \times L)}{K} \quad (10)$$

Lebih spesifik, untuk menentukan kuantitas unit, Ashabie & Masjud (2022) menyediakan persamaan matematis untuk menghitung jumlah kebutuhan lubang resapan, yang didapatkan dengan membagi total debit limpasan (intensitas hujan dikali luasan area kedap air) dengan kapasitas laju infiltrasi per

unit lubang resapan. Tinggi muka air dalam sumur resapan air hujan dapat ditentukan dengan Persamaan 12, yang mana faktor geometri (F) diperoleh dari Persamaan 11. Selanjutnya menghitung tinggi muka sumur resapan air hujan.

$$F = 2\pi r \quad (11)$$

$$H = \frac{Q}{FK} \left(1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}} \right) \quad (12)$$

Jumlah sumur resapan (n) yang dibutuhkan pada perumahan ditentukan dengan Persamaan 13, dengan debit resapan air hujan (Q_{resap}) dari Persamaan 14. Debit yang ditampung dalam sumur resapan air hujan ($Q_{\text{kapasitas}}$) dengan Persamaan 15 dan kapasitas sumur resapan (V) ditentukan dengan Persamaan 16. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian sumur resapan air (T) menggunakan Persamaan 17.

$$n = \frac{H}{H_{\text{rencana}}} \quad (13)$$

$$Q_{\text{resap}} = FxKxH \quad (14)$$

$$Q_{\text{kapasitas}} = Q_{\text{atap}} - Q_{\text{resap}} \quad (15)$$

$$V = \text{luas alas} \times H \quad (16)$$

$$T = \frac{V}{Q_{\text{kapasitas}}} \quad (17)$$

Jumlah sumur resapan yang dibutuhkan dihitung dengan membagi total volume air yang perlu diserap per-satuan waktu dengan kapasitas satu unit sumur resapan. Namun, pendekatan yang lebih umum menentukan jumlah sumur berdasarkan kebutuhan penyerapan aliran yang datang. Satu sumur resapan dapat menangani sejumlah aliran tertentu, atau menyerap limpasan dari sebagian luas area tertentu, maka dapat diperoleh jumlahnya.

Hasil dan Pembahasan

Analisis hidrologi

Hasil analisis statistik deskriptif untuk data curah hujan di setiap stasiun menunjukkan variasi

karakteristik hidrologis. Pada Stasiun Cibinong terdapat rata-rata curah hujan harian tercatat sebesar 103,80 mm, dengan curah hujan maksimum harian selama periode pengamatan adalah 146 mm, yang terjadi pada tanggal 25 April 2022 dan nilai standar deviasi sebesar 0,099 menunjukkan tingkat sebaran data.

Di Stasiun Gadog, menunjukkan rata-rata curah hujan harian sebesar 122,55 mm, curah hujan maksimum harian tercatat 149,50 mm, dan standar deviasi tercatat sebesar 0,099. Sedangkan di Stasiun Ranca Bungur terdapat rata-rata curah hujan harian di stasiun ini adalah 100,971 mm, dengan curah hujan maksimum harian mencapai 290 mm, dan standar deviasi yang teramati adalah 0,099. Secara umum, ketiga stasiun menunjukkan pola curah hujan musiman yang khas, dengan puncak curah hujan terjadi pada bulan-bulan tertentu dalam setahun. Analisis lebih lanjut adalah untuk menentukan curah hujan rencana berdasarkan distribusi frekuensi.

Analisis frekuensi curah hujan dilakukan untuk menentukan curah hujan rencana yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan debit rancangan sumur resapan. Periode ulang yang dipilih untuk analisis ini adalah 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Ke-empat metode distribusi frekuensi yang diterapkan meliputi Normal, Log Normal, Log Pearson Tipe III, dan Gumbel. Curah hujan rencana untuk setiap periode ulang dan metode distribusi disajikan dalam Tabel 1.

Hasil analisis frekuensi curah hujan menunjukkan adanya perbedaan nilai curah hujan rencana antar metode distribusi yang digunakan. Perbedaan ini menjadi penting karena dapat mempengaruhi besaran debit rancangan yang menjadi dasar analisis sumur resapan. Pemilihan distribusi yang paling sesuai adalah metode Log Pearson Tipe III. Pemilihan ini didasarkan pada uji kecocokan statistik yang menunjukkan bahwa distribusi tersebut paling baik dalam merepresentasikan karakteristik data historis curah hujan.

Tabel 1. Perbandingan curah hujan rencana hasil analisis frekuensi dan probabilitas

Periode ulang (tahun)	Distribusi normal (mm)	Distribusi log normal (mm)	Distribusi Log Pearson Type III (mm)	Distribusi Gumbel (mm)
2	112,105	108,245	112,004	107,427
5	130,246	129,429	128,425	136,402
10	142,006	152,347	139,235	156,390
20	150,450	155,230	150,420	177,450
50	160,230	171,125	155,205	200,873
100	180,507	183,345	170,543	221,236

Distribusi Log Pearson Tipe III menghasilkan curah hujan rencana yang lebih tinggi dibandingkan metode lain untuk periode ulang 2 tahun, maka debit rancangan (Q) yang dihitung juga akan lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk menghadapi kejadian hujan ekstrem yang lebih sering atau lebih intens, dibutuhkan kapasitas penyerapan yang lebih besar pula.

Pemilihan periode ulang 2 tahun juga penting, karena menentukan tingkat keamanan desain terhadap kejadian banjir yang jarang terjadi namun berpotensi merusak. Konsistensi dalam penggunaan metode dan periode ulang sangat penting untuk optimalisasi konservasi air.

Dalam studi ini, uji kecocokan distribusi Chi-Square dan Smirnov Kolmogorov dilakukan untuk mengevaluasi seberapa baik setiap distribusi statistik cocok dengan data historis curah hujan. Hasil uji menunjukkan bahwa distribusi Log Pearson Tipe III memberikan kecocokan terbaik dengan data, ditunjukkan oleh nilai $5,000 < 5,991$ [Chi-Square hitung < Chi-Square tabel]. Kemudian dilakukan uji kecocokan Smirnov Kolmogorov - $0,04 < 0,41$ dapat diterima, sehingga distribusi ini dianggap paling representatif dalam memodelkan kejadian curah hujan di wilayah studi. Maka, pada periode ulang 2 tahun digunakan curah hujan rencana sebesar 109,107 mm/hari.

Analisis tata guna lahan di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri, didapat koefisien limpasan sebesar 0,71 untuk kawasan perumahan yang sebagian besar terbangun. Luas area tangkapan hujan yang diidentifikasi dialirkan ke sistem sumur resapan adalah sebesar 6 ha. Intensitas curah hujan untuk periode ulang 2 tahun dihitung berdasarkan curah hujan rencana 109,107 mm/hari, dengan durasi hujan 2 jam, menghasilkan intensitas sebesar 23,88 mm/jam. Dengan demikian, debit rancangan kawasan yang diperoleh adalah $0,284 \text{ m}^3/\text{detik}$.

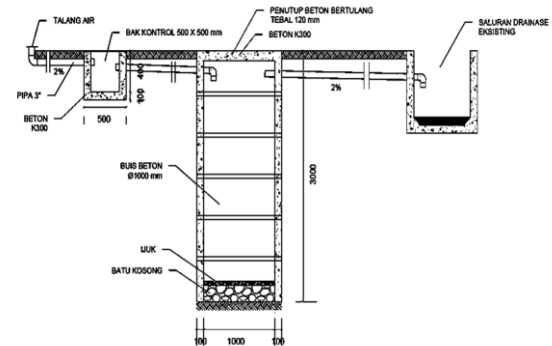
Analisis hidrolika

Pada bagian ini disajikan hasil analisis hidrolika kajian sumur resapan yang meliputi kapasitas sumur resapan, tinggi muka air, estimasi reduksi air limpasan, dan waktu pengisian sumur resapan.

Kapasitas sumur resapan

Merujuk pada SNI 8456:2017 dan kebutuhan untuk menampung limpasan air, dimensi sumur resapan yang optimum, analisis kapasitas sumur resapan dilakukan dengan simulasi tinggi sumur resapan (H_{SRA}) yaitu $H_{SRA} < H_{MAT}$ (H muka air tanah). Kedalaman muka air tanah normal pada lokasi penelitian yaitu 4,05 meter, sehingga tinggi sumur

resapan yang sesuai dengan debit atap hasil penelitian 3 meter dan diameter 1 meter. Dengan dimensi tersebut, kapasitas volume satu unit sumur resapan dihitung menggunakan rumus volume tabung. Ilustrasi sumur resapan dapat dilihat pada Gambar 3. Jadi, kapasitas satu unit sumur resapan adalah $2,36 \text{ m}^3$.



Gambar 3. Potongan sumur resapan

Tinggi muka air

Total limpasan air hujan yang ditampung sumur resapan dianalisis berdasarkan luas area tangkapan hujan yaitu 6 hektar dan koefisien limpasan 0,712 yang telah ditentukan sebelumnya, serta curah hujan rencana. Untuk memudahkan perhitungan, digunakan debit rancangan $0,284 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang merepresentasikan laju aliran air yang masuk.

Estimasi reduksi air limpasan

Pendekatan yang dilakukan untuk mendapatkan estimasi reduksi limpasan dilakukan dengan pengujian lapangan berupa pengamatan laju infiltrasi dengan menggunakan alat infiltrometer cincin ganda. Hasil pengujian adalah kapasitas infiltrasi tanah 8 cm/jam terjadi mulai menit ke-60 sampai dengan menit ke-120.

Kebutuhan total limpasan air hujan untuk periode rencana 2 tahun dengan kapasitas satu sumur sebesar $2,36 \text{ m}^3$ dan waktu resapan yang dibutuhkan 2 jam 20 menit, menunjukkan bahwa penerapan sumur resapan dapat menjadi alternatif yang efektif dalam mendukung konservasi air di daerah urbanisasi. Hal ini karena kawasan urban pada umumnya mempunyai permukaan kedap air, seperti bangunan, jalan, maupun perkerasan lain yang menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air hujan secara alami.

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan pengelolaan limpasan air hujan tersebut, jumlah sumur resapan yang dibutuhkan untuk Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri diperkirakan sebanyak 360 buah. Jumlah tersebut dihitung berdasarkan kapasitas satu unit sumur $2,36 \text{ m}^3$

untuk menampung dan meresapkan limpasan air hujan dari luas area tangkapan hujan sebesar 6 hektar. Penyebaran sumur resapan yang merata diharapkan dapat mengoptimalkan pengurangan limpasan permukaan serta meningkatkan kemampuan kawasan dalam meresapkan air hujan ke dalam tanah. Dengan demikian, penyebaran 360 unit sumur resapan menjadi bagian dari Upaya konservasi air yang dapat mengurangi beban sistem drainase dan potensi genangan dikawasan. Sebaran sumur resapan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

Waktu pengisian sumur resapan

Waktu pengisian satu unit sumur resapan dapat dihitung dengan membagi kapasitas sumur sebesar 856,800 m³ dengan laju aliran air yang masuk ke dalam sumur sebesar 0,102 m³/detik didapatkan waktu yang dibutuhkan pengisian sumur resapan 2 jam 20 menit.

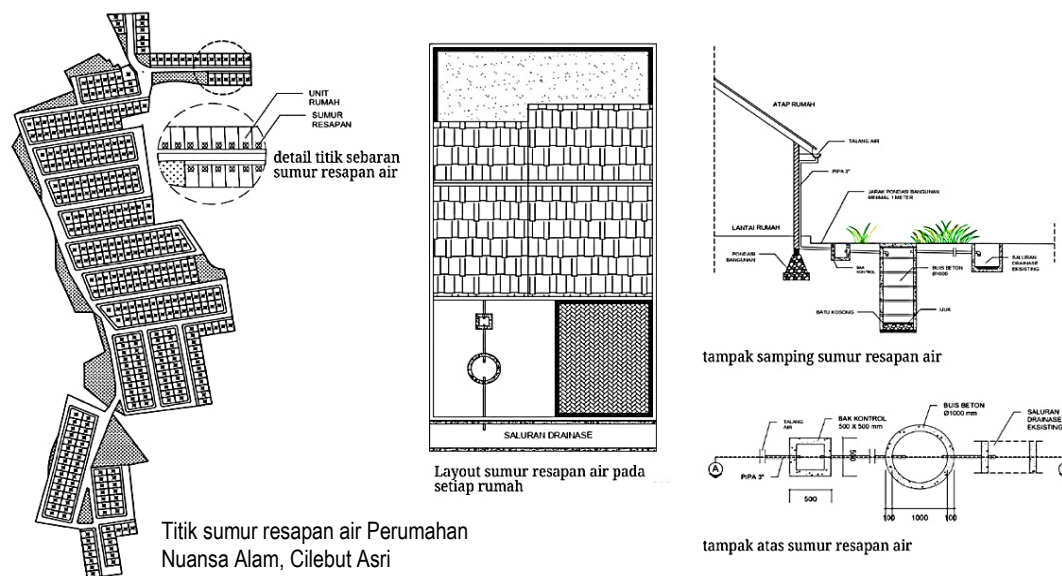
Evaluasi kinerja sumur resapan

Bangunan konservasi air berupa sumur resapan di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri dengan jumlah 360 unit, diameter 1 meter dan kedalaman 3 meter, serta kapasitas 2,36 m³ per unit, merupakan respons terhadap kebutuhan pengelolaan limpasan air hujan. Jumlah sumur resapan ini dirancang untuk mampu menyerap sebagian besar aliran permukaan yang timbul akibat kejadian hujan dengan periode ulang 2 tahun. Waktu pengisian satu sumur resapan 2 jam 20 menit mengindikasikan bahwa sumur air memiliki kinerja yang sangat baik dalam kegiatan konservasi air karena memiliki kemampuan infiltrasi yang cukup baik untuk menangani laju aliran air yang dialirkan.

Evaluasi terhadap kesesuaian dimensi dan kapasitas ini penting. Diameter dan kedalaman yang dipilih telah mempertimbangkan kemudahan konstruksi dan efektivitas penyerapan air sesuai standar. Kapasitas 2,36 m³ mampu menampung volume limpasan dari area tangkapan yang ditentukan per sumur. Jika debit rancangan yang dihitung lebih besar dari total kapasitas penyerapan seluruh sumur, maka perlu dilakukan penyesuaian jumlah atau dimensi sumur. Keterkaitan antara debit rancangan, jumlah sumur, dan waktu pengisian menunjukkan sinergi dalam desain. Jika waktu pengisian terlalu singkat, ini bisa berarti sumur resapan belum optimal dalam menampung limpasan. Sebaliknya, jika terlalu lama, bisa jadi kapasitasnya belum sesuai atau laju aliran terlalu tinggi. Selain itu, kinerja fasilitas resapan juga dipengaruhi oleh kadar air tanah. Tribhuwana *et al.* (2025) menunjukkan bahwa debit infiltrasi pada tanah tidak jenuh sekitar 2,7 kali lebih besar dibandingkan pada tanah jenuh, sehingga kondisi tanah yang telah jenuh akibat hujan beruntun perlu diperhitungkan dalam evaluasi kapasitas sumur resapan.

Keterkaitan hasil dengan dampak urbanisasi

Hasil analisis sumur resapan ini secara langsung merespon krisis hidrologi akibat adanya alih fungsi 6 hektar lahan pertanian menjadi kawasan permukiman padat di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap strategi optimalisasi yang mengintegrasikan parameter spesifik lokasi ke dalam kerangka SNI 8456:2017. Sehingga, transisi dari infrastruktur drainase konvensional menuju infrastruktur hijau dapat dilakukan secara presisi untuk memitigasi lonjakan debit limpasan.



Gambar 4. Sebaran sumur resapan

Strategi ini dikatakan optimal berdasarkan tiga indikator utama yang melampaui desain standar. Sinergi geologis dan hidrolika yaitu dengan desain tidak hanya menggunakan angka asumsi, melainkan didasarkan pada laju infiltrasi aktual hasil uji lapangan sebesar 8 cm/jam. Optimasi dimensi kedalaman 3 meter dipilih secara saksama untuk memaksimalkan kapasitas tampung sebesar 2,36 m³ namun tetap menjaga jarak aman (1,05 meter) di atas tinggi muka air tanah lokasi yang berada pada kedalaman 4,05 meter.

Keseimbangan kapasitas dan debit puncak, dengan debit rancangan kawasan mencapai 0,284 m³/detik, penentuan 360 unit sumur resapan merupakan jumlah paling efektif untuk mereduksi volume limpasan harian sebesar 1.079,054 m³ dengan tidak membebani lahan urban yang terbatas. Efisiensi waktu peresapan, yaitu waktu pengisian selama 2 jam 20 menit menunjukkan kinerja sistem yang optimal karena kemampuan infiltrasi tanah mampu mengimbangi laju aliran yang masuk, sehingga meminimalkan risiko luapan (*overflow*) pada saat terjadi hujan ekstrem dengan periode ulang 2 tahun.

Hasil penelitian ini memperkuat temuan penelitian yang sebelumnya mengenai pentingnya penerapan rancangan sumur resapan yang dapat mengurangi risiko genangan perkotaan. Pour *et al.* (2020) menjelaskan bahwa pendekatan *low impact development* mampu mengurangi dampak banjir perkotaan melalui pengendalian limpasan pada sumbernya, sedangkan Singh *et al.* (2020) menekankan pentingnya optimasi infrastruktur berbasis alam dengan mempertimbangkan keterbatasan ruang. Ben-Daoud *et al.* (2022) juga membuktikan melalui pemodelan PCSWMM bahwa kombinasi perkerasan permeabel dan tangki penampung air hujan di kawasan perkotaan mampu mereduksi limpasan permukaan hingga 57%. Pada penelitian ini, prinsip tersebut diterapkan melalui penentuan 360 unit sumur resapan dengan mempertimbangkan debit rancangan kawasan 0,284 m³/detik, kapasitas tampung 2,36 m³/unit, dan waktu pengisian 2 jam 20 menit. Hasil tersebut juga sejalan dengan Ashabie & Masjud (2022) yang menunjukkan bahwa karakteristik infiltrasi tanah dan analisis hidrologi merupakan parameter penting dalam menentukan efektivitas bangunan resapan. Temuan serupa dilaporkan Suprpti *et al.* (2024) pada kawasan permukiman di Bogor, di mana penerapan 652 unit sumur resapan berdiameter 1,4 m dan kedalaman 2,5 m mampu mereduksi limpasan sebesar 56,74%. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya menyajikan nilai desain, tetapi juga menunjukkan keterkaitan antara kondisi lapangan, standar teknis SNI 8456:2017, dan kajian literatur sebagai dasar pengembangan konservasi air perkotaan.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan optimalisasi strategi konservasi air guna memitigasi dampak genangan di Perumahan Nuansa Alam Cilebut Asri melalui implementasi sumur resapan yang terukur. Berdasarkan analisis hidrologi dan hidrolika, ditemukan bahwa penggunaan 360 unit sumur resapan berbahan buis beton dapat mereduksi debit rancangan kawasan sebesar 0,284 m³/detik. Desain teknis yang dihasilkan melalui penelitian ini menetapkan dimensi sumur dengan diameter 1 meter dan kedalaman 3 meter, yang menghasilkan kapasitas tampung sebesar 2,36 m³ per unit.

Efektivitas optimalisasi ini dibuktikan dengan waktu pengisian sumur selama 2 jam 20 menit, yang menunjukkan bahwa sistem mampu meresapkan air secara efisien ke dalam lapisan akuifer tanah sebelum terjadi luapan saat curah hujan ekstrem dengan periode ulang 2 tahun. Implementasi infrastruktur hijau ini secara nyata berpotensi mengurangi dampak degradasi hidrologis akibat perubahan tata guna lahan. Untuk pengembangan selanjutnya, evaluasi kapasitas tampung limpasan secara spasial dapat ditingkatkan melalui simulasi dinamika hidrologi menggunakan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM) guna memantau efektivitas distribusi air di skala perumahan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Gunadarma serta pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ashabie, A. S., & Masjud, Y. I. (2022). The study of Biopore Infiltration Holes (BIH) implementation to reduce waterlogging in President University campus area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1111, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1111/1/012060>
- Ben-Daoud, A., Ben-Daoud, M., Moroşanu, G. A., & M'Rabet, S. (2022). The use of low impact development technologies in the attenuation of flood flows in an urban area: Settat city (Morocco) as a case. *Environmental Challenges*, 6, 100403.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100403>
- Bigurra-Alzati, C. A., Ortiz-Gómez, R., Vázquez-Rodríguez, G. A., López-León, L. D., & Lizárraga-Mendiola, L. (2020). Water Conservation and Green Infrastructure Adaptations to Reduce Water

- Scarcity for Residential Areas with Semi-Arid Climate: Mineral de la Reforma, Mexico. *Water*, 1 (1), 45. <https://doi.org/10.3390/w13010045>
- Bulltail, G. (2024). Water resource management and land tenure on allotted and tribal lands. *Environmental Research Letters*, 19(7), 074052. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad5574>
- De Holanda, M. A. C. R., De Oliveira, D. B. C., Soares, W. de A., & Da Silva, S. R. (2020). Analysis of the Viability of Implementing Sustainable Proposals to Reduce Tunnel Flooding in Recife, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 1904–1913. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1904-1913>
- Gebreslassie, H., Berhane, G., Gebreyohannes, T., Hagos, M., Hussien, A., & Walraevens, K. (2025). Water Harvesting and Groundwater Recharge: A Comprehensive Review and Synthesis of Current Practices. *Water*, 17(7), 976. <https://doi.org/10.3390/w17070976>
- Li, K., Qian, H., Li, S., Cao, Z., Tian, P., Shi, X., Chen, J., & Gao, Y. (2025). Quantifying the Driving Forces of Water Conservation Using Geodetector with Optimized Parameters: A Case Study of the Yiluo River Basin. *Land*, 14(2), 274. <https://doi.org/10.3390/land14020274>
- Mark Louie T. Ajoc, Brian M. Seno, & Arnaldo C. Gagula. (2024). Assessing the Efficacy of Newly-Constructed Drainage Canals in Butuan City Proper, Philippines through Field Survey and Hydrologic Modelling Approach. *Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES)*, 10, 831–837. <https://doi.org/10.5109/7323357>
- Muttill, N., Nasrin, T., & Sharma, A. K. (2023). Impacts of Extreme Rainfalls on Sewer Overflows and WSUD-Based Mitigation Strategies: A Review. *Water*, 15(3), 429. <https://doi.org/10.3390/w15030429>
- Netzer, L., Kurtzman, D., Ben-Hur, M., Livshitz, Y., Katzir, R., & Nachshon, U. (2024). Novel approach to roof rainwater harvesting and aquifer recharge in an urban environment: Dry and wet infiltration wells comparison. *Water Research*, 252, 121183. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121183>
- Pour, S. H., Wahab, A. K. A., Shahid, S., Asaduzzaman, M., & Dewan, A. (2020). Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: Current trends, issues and challenges. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102373. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373>
- Qin, Y. (2020). Urban Flooding Mitigation Techniques: A Systematic Review and Future Studies. *Water*, 12(12), 3579. <https://doi.org/10.3390/w12123579>
- Ramos, H. M., & Besharat, M. (2021). Urban Flood Risk and Economic Viability Analyses of a Smart Sustainable Drainage System. *Sustainability*, 13(24), 13889. <https://doi.org/10.3390/su132413889>
- Ruslinda, Y., Aziz, R., Arum, L. S., & Sari, N. (2021). The Effect of Activator Addition to the Compost with Biopore Infiltration Hole (BIH) Method. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(1), 53–59. <https://doi.org/10.14710/jil.19.1.53-59>
- Sapan, E. G. A., Sujono, J., & Karlina, K. (2022). Extreme Rainfall Characteristics Analysis Using Climate Models in the Mount Merapi Area. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 28(1), 99–108. <https://doi.org/10.14710/mkts.v28i1.36332>
- Shahzad, H., Myers, B., Hewa, G., Johnson, T., Boland, J., & Mujtaba, H. (2022). Characterizing the Stormwater Runoff Quality and Evaluating the Performance of Curbside Infiltration Systems to Improve Stormwater Quality of an Urban Catchment. *Water*, 14(1), 14. <https://doi.org/10.3390/w14010014>
- Singh, A., Sarma, A. K., & Hack, J. (2020). Cost-Effective Optimization of Nature-Based Solutions for Reducing Urban Floods Considering Limited Space Availability. *Environmental Processes*, 7(1), 297–319. <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00420-8>
- SNI 8456:2017 Tentang Sumur Dan Parit Resapan Air Hujan, Badan Standardisasi Nasional (2017).
- Suprapti, S., Hariati, F., Hidayat, A., Nuryanto, N., & Syaja'ah, S. K. (2024). Efektivitas Teknologi LID Model Sumur Resapan untuk Mereduksi Runoff di Perumahan Bumi Citra Asri, Bogor. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(1), 153–162. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i1.14983>
- Suprayogi, S., Sudarmadji, S., & Malawani, M. N. (2019). Urban sediment in infiltration wells: A lesson from the northern area of greater Yogyakarta city. *Indonesian Journal of Geography*, 51(3), 295. <https://doi.org/10.22146/ijg.33721>

Suripin. (2004). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Andi.

Syahrudin, M. H., Amiruddin, Halide, H., Sakka, & Makhrani. (2019, August). Groundwater Conservation with Hole Infiltration of Biopore Cube. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 279, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/279/1/012021>

Triatmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan, Beta Offset. Yogyakarta. Hal, 195-273.

Tribhuwana, A., Wahyudi, S. I., Ni'am, M. F., & Adi, H. P. (2025). Kinerja Model Kotak Infiltrasi pada Kondisi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh untuk Mengurangi Genangan di Jalan Perkotaan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 31(2), 318–325.
<https://doi.org/10.14710/mkts.v31i2.70837>
Wang, Y., Chen, A. S., Fu, G., Djordjević, S., Zhang, C., & Savić, D. A. (2018). An integrated

framework for high-resolution urban flood modelling considering multiple information sources and urban features. *Environmental Modelling & Software*, 107, 85–95.

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.06.010>

Zhao, J., Ke, E., Wang, B., & Zhao, Y. (2024). An optimization model for the impervious surface spatial layout considering differences in hydrological unit conditions for urban waterlogging prevention in urban renewal. *Ecological Indicators*, 158, 111546.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111546>

Zhao, R., Kan, H., Xu, H., Chen, C., Zhang, G., Pang, Z., & Zhang, W. (2025). The Effects of Multi-Scenario Land Use Change on the Water Conservation in the Agro-Pastoral Ecotone of Northern China: A Case Study of Bashang Region, Zhangjiakou City. *Agriculture*, 15(9), 1008.
<https://doi.org/10.3390/agriculture15091008>