

STUDI PERENCANAAN SISTEM DRAINASE BERBASIS ECO DRAINAGE PADA PADA CLUSTER BARU VILLA PESANGGRAHAN KUSUMA KOTA BATU

Wijang Syukuri Kuncoro^{*1}, Azizah Rokhmawati² dan Budi Santoso³

¹Mahasiswa, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
email : wijang.kuncoro@gmail.com

² Dosen, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
email : azizah.rachmawati@unisma.ac.id

³ Dosen, Teknik Sipil, Universitas Islam Malang
email : budi.santoso@unisma.ac.id

ABSTRAK

The development of exclusive residential areas in Batu City increases surface runoff due to reduced infiltration areas, while conventional drainage cannot maintain hydrological balance. This study applies eco-drainage with the Zero Delta Q principle, ensuring development does not raise runoff discharge. Infiltration wells are selected to reduce runoff and enhance groundwater recharge. Methods include rainfall data analysis, distribution tests, and runoff discharge calculation using the rational method. Results show rainfall intensity (R10) of 67.17–252.89 mm, producing runoff discharge of 0.0020–0.0260 m³/s. With soil permeability 0.0036 m/s, depth 2 m, and diameter 1 m, each well infiltrates 0.01980 m³/s. A total of 26 wells effectively reduce runoff, supporting sustainable residential development

Kata Kunci : *eco drainage, infiltration wells, runoff, Zero Delta Q, hydrology*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kota wisata, seperti Kota Batu, ditandai oleh peningkatan kunjungan wisatawan domestik dan mancanegara yang mendorong pertumbuhan sektor pariwisata sebagai motor utama perekonomian daerah. Tren ini tidak hanya meningkatkan pendapatan asli daerah, tetapi juga memicu pertumbuhan pesat pada sektor hunian dan properti, menjadikannya lokasi investasi yang menjanjikan [1]. Selain itu, dinamika pascapandemi menunjukkan pemulihan cepat pada sektor pariwisata yang mendorong permintaan akan hunian eksklusif, seperti vila, yang menawarkan kenyamanan sekaligus nilai investasi jangka panjang [1]. Permintaan vila eksklusif di Kota Batu terus meningkat setiap tahun, seiring dengan kenaikan nilai properti sebesar 8–15% per tahun [2]. Vila dinilai memiliki peluang ekonomi menjanjikan, baik sebagai hunian pribadi maupun aset sewa. Tarif sewa vila di kawasan ini berkisar antara Rp2,5 juta hingga Rp5 juta per hari [2]. Menyikapi

potensi tersebut, direncanakan pembangunan kompleks vila eksklusif Pesanggrahan Kusuma di pusat Kota Batu. Vila yang dibangun akan memiliki tipe beragam, mulai dari tipe 57 hingga tipe 168.

Pesatnya pembangunan, terutama di kawasan urban, membawa dampak signifikan terhadap peningkatan kebutuhan air bersih. Aktivitas pembangunan yang mencakup pertumbuhan permukiman, kawasan industri, serta infrastruktur publik menyebabkan lonjakan konsumsi air, baik untuk kebutuhan domestik maupun non-domestik [3].

Sistem drainase konvensional sering digunakan, namun kurang efektif karena mempercepat aliran air ke sungai tanpa memberi waktu untuk meresap ke tanah. Sebagai solusi, diperlukan sistem *eco drainage* yang mendukung pengendalian limpasan sekaligus konservasi air. Sistem ini meningkatkan daya serap tanah dan mengurangi risiko banjir. Konsep utamanya adalah *Zero Delta Q*, yaitu pembangunan tidak

menambah debit air ke saluran atau sungai. Dengan demikian, pembangunan tetap ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Konsep *Zero Delta Q* sangat relevan dalam perencanaan *eco drainage* karena mencegah peningkatan debit aliran air ke sungai akibat pembangunan [4]. Kebijakan ini diatur dalam PP No. 13 Tahun 2017 yang mengharuskan setiap pembangunan tidak menambah debit ke sistem drainase alami. Implementasinya menuntut desain kawasan yang menjaga keseimbangan hidrologis alami [5]. Sistem ini mengoptimalkan fungsi tanah dalam meresapkan air hujan. Dengan demikian, limpasan dapat dikendalikan dan potensi genangan pun berkurang.

Perhitungan Salah satu sistem *eco drainage* yang efektif mengurangi limpasan permukaan adalah sumur resapan. Sumur ini berfungsi menampung air hujan agar meresap ke tanah, biasanya berbentuk lingkaran atau segi empat. Berdasarkan Permen LH No. 12 Tahun 2009, sumur dapat dibuat dari batako, bata merah, atau buis beton [6]. Bentuk lingkaran lebih tahan terhadap tekanan tanah dibandingkan bentuk persegi [7]. Menurut SNI 06-2459-2002, sumur ideal dibangun dari bata merah tanpa plester, agar air dapat meresap secara horizontal [8].

Penerapan sumur resapan di kawasan permukiman efektif untuk meningkatkan ketersediaan air tanah dan mengurangi limpasan permukaan [9]. Air hujan yang ditampung dalam sumur diberi waktu untuk meresap perlahan ke tanah, membantu menjaga keseimbangan siklus air [6]. Proses ini mengurangi risiko genangan dan banjir, sekaligus mendukung keberlanjutan sumber daya air tanah. Semakin banyak air yang terserap, semakin sedikit limpasan yang terjadi. Dengan demikian, sumur resapan berperan penting dalam menjaga ekosistem dan ketersediaan air bersih di masa depan [10].

Perencanaan sistem *eco drainage* dengan sumur resapan merupakan elemen penting dalam penerapan prinsip *Zero Delta Q*. Teknologi ini mampu mengurangi limpasan hingga 46–58% [6], meskipun untuk mencapai *Zero Delta Q* secara penuh masih dibutuhkan tambahan seperti kolam retensi dan bioretensi, khususnya di kawasan permukiman. Pada

Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu, sistem ini dirancang dengan penambahan floor drain agar limpasan dapat dialirkan ke sumur resapan, sehingga tercipta lingkungan yang aman dan adaptif terhadap perubahan hidrologi perkotaan. Penelitian ini bertujuan mengetahui intensitas hujan rencana (I10th), debit banjir (Q10th), debit maksimal buangan limbah rumah tangga, serta menentukan dimensi dan jumlah sumur resapan yang diperlukan dengan skema reduksi limpasan 70% ke sumur resapan dan 30% ke saluran kota.

Adapun manfaat penelitian diharapkan mencakup aspek akademis, praktis, dan lingkungan, dengan memberikan wawasan komprehensif tentang *eco drainage* sebagai acuan solusi berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya air dan infrastruktur lingkungan.

1.1. Identifikasi Masalah

Berdasarkan paparan latar belakang di atas, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan utama yang perlu dianalisis lebih lanjut, yaitu:

1. Kota Batu mengalami pertumbuhan pesat dalam sektor properti dan pariwisata, yang meningkatkan kebutuhan akan hunian eksklusif seperti villa. Namun, perkembangan ini juga berdampak pada perubahan tata guna lahan yang dapat mengurangi daerah resapan air terlebih lagi dengan tinggi hujan yang tidak dapat di prediksi.
2. Peningkatan pembangunan menyebabkan perubahan fungsi lahan dari area terbuka yang mampu menyerap air menjadi kawasan terbangun yang kedap air, sehingga meningkatkan limpasan permukaan (*runoff*) dan berpotensi menyebabkan genangan atau banjir.
3. Sistem drainase konvensional yang hanya mengalirkan air hujan ke sungai kurang efektif karena mengurangi infiltrasi, yang dapat menurunkan cadangan air tanah dan meningkatkan risiko kekeringan. Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem *eco drainage* berbasis konsep *Zero Delta Q* untuk mengendalikan limpasan permukaan serta mendukung konservasi air guna menjaga keseimbangan hidrologi.
4. Salah satu solusi yang dapat diterapkan

adalah penggunaan sumur resapan, yang berperan dalam meningkatkan infiltrasi dan mengurangi beban drainase, sehingga menciptakan sistem pengelolaan air yang lebih berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada identifikasi masalah yang ada, maka di rumuskan sebagai berikut:

- 1. Berapa intensitas hujan rencana (I10th) mm/jam pada kawasan Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu.
- 2. Berapa besarnya debit banjir (Q10th) mm/jam pada kawasan Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu.
- 3. Berapa debit maksimal dari buangan limbah rumah tangga (Q limbah rumah tangga) jika keseluruhan rumah terisi secara penuh.
- 4. Berapa dimensi dan jumlah dari sumur resapan yang dibutuhkan jika total debit limpasan direduksi 70% ke sumur resapan dan 30% ke saluran drainase kota atau sungai kota.

1.3. Batasan Masalah

- 1. Wilayah studi yang ditinjau adalah kawasan Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu.
- 2. Luas studi kasus adalah 70.581 m2 dengan jumlah rencana villa sebanyak 227 unit.
- 3. Data curah hujan diambil dari stasiun terdekat yakni dari Stasiun Ngaglik Kota Batu dengan rentan data 10 tahun dari tahun 2015 sampai dengan 2024.
- 4. Penelitian ini tidak mencakup analisis struktur sumur resapan maupun struktur dari saluran drainase.
- 5. Perhitungan daya dukung dan tekanan tanah terhadap sumur resapan tidak dianalisis dalam penelitian ini.
- 6. Kualitas air dalam sumur resapan tidak diuji, karena penelitian difokuskan pada efektivitas infiltrasi dan pengurangan limpasan.
- 7. Estimasi biaya tidak termasuk dalam analisis, sehingga penelitian berfokus pada aspek teknis dan hidrologi.

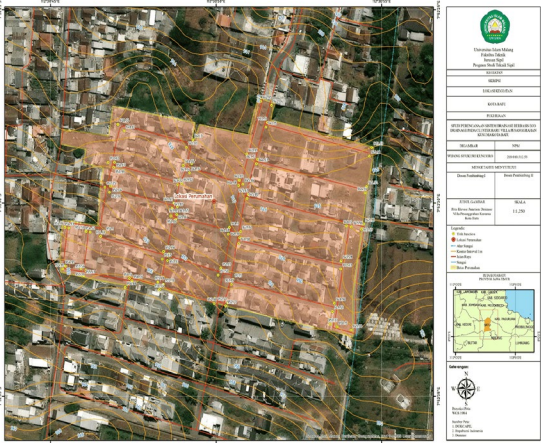
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode

deskriptif kuantitatif, yang bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis fenomena berdasarkan data numerik secara sistematis. Proses penelitian ini mencakup beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data, analisis data, serta interpretasi hasil analisis.

2.1. Lokasi Penelitian

Villa Pesanggrahan Kusuma adalah akomodasi yang terletak di Kota Batu, Jawa Timur, tepatnya di Jalan Suropati No. 119, dalam kompleks Perumahan Kusuma Pesanggrahan (Gambar 1-2). Lokasi ini strategis, dekat dengan berbagai destinasi wisata populer seperti Museum Angkut dan Alun-Alun Kota Batu. Kawasan Villa Pesanggrahan Kusuma memiliki luas kurang lebih 70.581 m2.



Gambar 1. Lokasi Perumahan (Sumber: Data Pribadi)



Gambar 2. Detail Lokasi Perumahan (Sumber: Data Pribadi)

2.2. Data Dan Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer

dan sekunder sebagai dasar analisis. Data primer diperoleh melalui survei lapangan kondisi eksisting, sedangkan data sekunder dihimpun dari instansi terkait untuk memperkuat validitas hasil. Data sekunder meliputi kondisi lingkungan villa serta data hujan dari Stasiun Ngaglik Kota Batu periode 2015 (Tabel 1), yang berfungsi melengkapi data primer sekaligus memperkaya pemahaman fenomena yang diteliti.

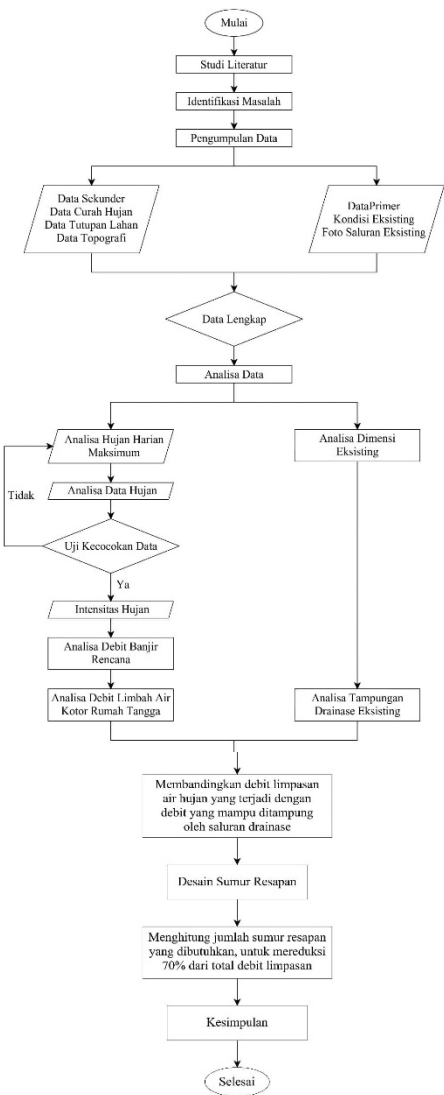
Tabel 1. Data Hujan

No	Tahun	Rmax	Ri
		(mm)	(mm)
1	2015	74	77
2	2016	55	74
3	2017	55	65
4	2018	35	62
5	2019	77	56
6	2020	65	55
7	2021	56	55
8	2022	48	48
9	2023	37	37
10	2024	62	35
Jumlah		Σ	564
Banyak Data		n	10
Rata-rata		$\bar{R}$	56,4

Tabel 2. Data Permeabilitas Tanah

Kriteria	Nilai Permeabilitas Regosol Coklat
Jenis tanah	Pasir halus hingga kerikil halus
Koefisien permeabilitas	Sekitar 10^{-4} - 10^{-2} mm/detik
Kelas permeabilitas	Sedang hingga Agak Cepat
Permeabilitas (cm/jam)	0.036 – 360 cm/jam
Nilai Permeabilitas (cm/jam)	0.0036 cm/jam
Letak muka Air Tanah	3 meter dari permukaan tanah

2.3. Diagram Alir Penelitian



2.4. Pengolahan Data

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan sistematis mulai dari kajian literatur tentang drainase berwawasan lingkungan dan peran sumur resapan, pengumpulan data curah hujan, siteplan, dan peta, hingga analisis distribusi curah hujan serta penentuan intensitas hujan untuk berbagai periode ulang. Selanjutnya dilakukan perhitungan debit aliran, dimensi drainase, serta perbandingan antara debit limpasan dengan kapasitas saluran. Penelitian juga mencakup penentuan lokasi serta perhitungan sumur resapan, dan diakhiri dengan penyusunan kesimpulan sebagai hasil akhir analisis.

1. Analisa Distribusi Log-Pearson III
Distribusi Log-Pearson III diperoleh dengan mengubah distribusi Pearson III

menggunakan transformasi logaritma pada variabelnya.

Bentuk logaritma : $X = \log X$

Rata-rata : $\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$

Simpangan baku : $S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n - 1} \right]^{0,5}$

Koefisien kemencengan : $Cs = \left[\frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)s^3} \right]^3$

Koefisien kurtosis : $Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)(S)^4}$

Logaritma hujan periode tertentu : $\log X_T = \log \bar{X} + K \cdot s$

Dimana:

- X_T : Nilai logaritmik dari x dengan periode ulang
- X : Nilai rata-rata
- S : Simpangan baku
- K : Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang
- Cs : Koefisien kemencengan

2. Uji Kecocokan Data dengan RPAS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Uji konsistensi data tunggal menggunakan RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) karena metode ini hanya memerlukan satu deret data tanpa butuh stasiun pembanding. RAPS bekerja dengan menghitung penyimpangan kumulatif data terhadap rata-rata sehingga mampu mendeteksi adanya perubahan pola statistik, seperti pergeseran rata-rata atau varians, yang menunjukkan inkonsistensi akibat kesalahan pencatatan, perubahan alat, maupun faktor non-klimatis. Oleh karena itu, RAPS sangat tepat digunakan untuk memastikan kualitas data tunggal, misalnya curah hujan atau debit sungai, sebelum dipakai dalam analisis hidrologi lebih lanjut.

3. Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan jumlah curah hujan yang jatuh dalam suatu wilayah dalam

satu satuan waktu tertentu.

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

t_c : $0,00025 \left(\frac{l}{\sqrt{s}} \right)^{0,8}$

Dimana:

- I : intensitas hujan (mm/jam)
- T_c : Lamanya curah hujan (jam)
- R_{24} : Simpangan baku
- l : Panjang catchment area
- s : kemiringan medan, dimana $s=H/l$
- H : beda elevasi antara titik terjauh dengan outlet

4. Debit Limpasan

Q_0 : $0,2778CIA$

Dimana:

- Q_0 : Laju aliran permukaan (debit puncak (m³/dtk)
- C : Intensitas hujan (mm/jam)
- I : luas daerah tangkapan (km²)
- A : koefisien aliran permukaan ($0 \leq C \leq 1$)

5. Kapasitas Saluran

Q : $A \times V$

Dimana:

- Q : debit yang mampu ditampung (m³/detik)
- A : luas penampang saluran (m²)
- V : kecepatan aliran (m/detik)

6. Perhitungan Sumur Resapan

H : $\frac{Q}{FK}$

Dimana:

- H : tinggi muka air dalam sumur
- Q : faktor geometrik
- F : debit air masuk (m³/dtk)
- K : koefisien permeabilitas tanah (m/dtk),

3. ANALISA PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Stasiun Ngaglik Kota Batu periode 2015–2024 (Tabel 1). Data tersebut melengkapi data primer sekaligus memberikan gambaran mengenai variasi curah

hujan tahunan. Nilai Rmax dan Ri menunjukkan fluktuasi tiap tahun, misalnya pada 2015 sebesar 74 mm dan 77 mm, sedangkan pada 2019 mencapai 77 mm dan 56 mm. Variasi ini mencerminkan dinamika iklim lokal yang memengaruhi intensitas serta distribusi hujan di wilayah penelitian

3.1. Analisa Frekuensi Hujan dan Probabilitas
 Sebelum menentukan jenis distribusi yang paling sesuai untuk analisis data hujan, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai koefisien kemencengan (Cs) dan koefisien keruncingan (Ck).

Berdasarkan hasil perhitungan maka di dapat parameter statistik adalah sebagai berikut:
 Rata-rata ($\bar{X}$) = 56.4 mm

Standar Deviasi (SD) = 13.94
 Koefisien Variasi (Cv) = 0.247
 Koefisien Skewness (Cs) = -0.138
 Koefisien Kurtosis (Ck) = 3.359

3.2. Analisa Statistik Log Pearson Tipe III

Berdasarkan evaluasi terhadap empat jenis distribusi statistik yang dihitung dari hasil kemencengan (Cs) dan keruncingan (Ck). Distribusi Log-Pearson III dianggap paling cocok untuk analisis data hujan dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil perhitungan maka di dapat parameter statistik adalah sebagai berikut:

Rata-rata ($\bar{X}$) = 1.74 mm
 Standar Deviasi (SD) = 0.1143
 Koefisien Variasi (Cv) = 0.0658
 Koefisien Skewness (Cs) = -0.5929
 Koefisien Kurtosis (Ck) = 3.5873

Tabel 3. Analisa Frekuensi hujan dan probabilitas

No	Tahun	Data hujan	X	$x-\bar{X}$	$(x-\bar{X})^2$	$(x-\bar{X})^3$	$(x-\bar{X})^4$
		(mm)	(mm)				
1	2015	74	77	20,60	424,36	8742	180081
2	2016	55	74	17,60	309,76	5452	95951
3	2017	55	65	8,60	73,96	636	5470
4	2018	35	62	5,60	31,36	176	983
5	2019	77	56	-0,40	0,16	0	0
6	2020	65	55	-1,40	1,96	-3	4
7	2021	56	55	-1,40	1,96	-3	4
8	2022	48	48	-8,40	70,56	-593	4979
9	2023	37	37	-19,40	376,36	-7301	141647
10	2024	62	35	-21,40	457,96	-9800	209727

Tabel 4. Analisa Distribusi Log-Pearson III

No	Tahun	Xmax	Xi	Log X	Log (X- $\bar{X}$)	$(x-\bar{X})^2$	$(x-\bar{X})^3$	$(x-\bar{X})^4$
		(mm)	(mm)					
1	2015	74	77	1,8865	0,1481	0,0219	0,0033	0,0005
2	2016	55	74	1,8692	0,1309	0,0171	0,0022	0,0003
3	2017	55	65	1,8129	0,0746	0,0056	0,0004	0,0000
4	2018	35	62	1,7924	0,0540	0,0029	0,0002	0,0000
5	2019	77	56	1,7482	0,0098	0,0001	0,0000	0,0000
6	2020	65	55	1,7404	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000
7	2021	56	55	1,7404	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000
8	2022	48	48	1,6812	-0,0571	0,0033	-0,0002	0,0000
9	2023	37	37	1,5682	-0,1701	0,0289	-0,0049	0,0008
10	2024	62	35	1,5441	-0,1943	0,0377	-0,0073	0,0014
Jumlah			564	17,3835	0,0000	0,1176	-0,0064	0,0031

Nilai koefisien kemencengan (Cs) berperan penting dalam menentukan faktor frekuensi (K) pada distribusi Log-Pearson III, yang menjadi komponen utama perhitungan hujan rencana. Cs menunjukkan bentuk sebaran data dan memengaruhi ketepatan estimasi curah hujan ekstrem untuk periode ulang tertentu. Dengan menyesuaikan nilai K terhadap Cs dari data lokal, perhitungan hujan rencana menjadi lebih representatif dan realistis, sehingga sangat penting bagi perencanaan infrastruktur hidrologi seperti drainase, bendungan, dan pengendalian banjir.

3.3. Perhitungan Nilai Faktor Frekuensi (K)

Faktor frekuensi (K) pada distribusi Gamma dan Log-Pearson III digunakan untuk memperkirakan curah hujan rencana dengan menyesuaikan rata-rata dan simpangan baku terhadap distribusi data yang tidak simetris. Berdasarkan tabel Haan (1977), nilai K ditentukan sesuai koefisien skewness (Cs). Karena Cs sebesar -0,593 berada di antara -0,5 dan -0,6, maka dilakukan interpolasi linear, sehingga diperoleh nilai K seperti pada Tabel berikut.

Tabel 5. Nilai Faktor Frekuensi (K)							
Forecast	2	5	10	15	25	50	100
-0.500	0.083	0.856	1.216	1.385	1.567	1.777	1.955
-0.600	0.099	0.857	1.200	1.359	1.528	1.720	1.880
-0.593	0.098	0.857	1.201	1.360	1.531	1.724	1.885

3.4. Hujan Rencana

Berdasarkan hasil analisis distribusi yang paling Log-Pearson Tipe III maka perhitungan hujan rencana dilakukan menggunakan nilai

koefisien frekuensi (K) hasil interpolasi dari Tabel Coefficient of Skewness Log-Pearson Type III. Sebagai contoh, perhitungan hujan rencana (XT) untuk periode ulang 2 tahun.

$$XT = \text{Log } \bar{X} + K.S$$

$$XT = 1.74 + (0.098) \times (0.114)$$

$$XT = 1.750$$

Berikut adalah hasil dari perhitungan hujan rencana dengan distribusi log pearson III.

Tabel 6. Hujan Rencana							
Parameter	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	15	25	50	100
log $\bar{X}$	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
K	0,098	0,857	1,201	1,360	1,531	1,724	1,885
XT	1,750	1,836	1,876	1,894	1,913	1,935	1,954
R24 (mm)	56,17	68,60	75,10	78,32	81,91	86,19	89,92

3.5. Uji RAPS Perhitungan

Sebelum digunakan, data tersebut diuji konsistensinya dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) untuk memastikan kesesuaian data pada stasiun hujan yang bersangkutan. Pengujian dilakukan melalui perhitungan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata, kemudian dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat, serta dikoreksi menggunakan nilai statistik Q dan R dengan tingkat kepercayaan 95%. Apabila hasilnya masih berada dalam batas statistik, maka data curah hujan dinyatakan konsisten dan dapat dipakai pada analisis selanjutnya. Data hujan yang digunakan untuk analisis akan dilakukan uji konsistensi data terlebih dahulu yakni uji kesesuaian data pada stasiun curah hujan yang akan digunakan dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS).

Tabel 7. Uji Konsistensi Data Curah Hujan Dengan Metode RAPS									
No	Tahun	Rmax	Ri	Sk*	Sk*^2	Dy*^2	Dy	Sk**	Sk**
		(mm)	(mm)						
1	2015	74	77	-20,6	424,36	42,436	13,22	-1,56	1,56
2	2016	55	74	-17,6	309,76	30,976	13,22	-1,33	1,33
3	2017	55	65	-8,6	73,96	7,396	13,22	-0,65	0,65
4	2018	35	62	-5,6	31,36	3,136	13,22	-0,42	0,42
5	2019	77	56	0,4	0,16	0,016	13,22	0,03	0,03
6	2020	65	55	1,4	1,96	0,196	13,22	0,11	0,11
7	2021	56	55	1,4	1,96	0,196	13,22	0,11	0,11
8	2022	48	48	8,4	70,56	7,056	13,22	0,64	0,64
9	2023	37	37	19,4	376,36	37,636	13,22	1,47	1,47
10	2024	62	35	21,4	457,96	45,796	13,22	1,62	1,62
Jumlah		Σ	564			174,84			

Keterangan :

Sk* = Simpangan mutlak
Sk** = Nilai konsistensi data
n = Jumlah data
Dy = Simpangan rata-rata
Q = Nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$
R = Nilai statistik range
n = 10
Dy = 13,22
SK**Maks = 1,618
SK**Min = -1,557
Q = Sk** Maks = 1,618
R = SK**Maks - SK**Min = 3,176
 $[(Q/n)^{0,5}] = 1,618 - 10^{0,5} = 0,402 < 1,14 \text{ OK !!}$
 $[(R/n)^{0,5}] = 3,176 - 10^{0,5} = 0,563 < 1,28 \text{ OK !!}$

3.6. Catchmen Area

Catchment area atau daerah tangkapan air dalam konteks drainase perumahan merupakan wilayah daratan di dalam kawasan perumahan yang berfungsi sebagai penampung air hujan, baik yang jatuh di atap bangunan, jalan, maupun lahan terbuka. Pada penelitian ini *catchmen are* terbagi menjadi 2 tipe yakni bangunan perumahan dan jalan paving

3.7. Koefisien pengaliran

Koefisien aliran permukaan (C) menunjukkan proporsi air hujan yang langsung mengalir di permukaan tanpa meresap. Besarnya dipengaruhi oleh jenis permukaan, seperti aspal, beton, tanah, atau lahan bervegetasi. Pada penelitian ini digunakan nilai C untuk jalan paving sebesar 0,6 dan perumahan 0,68, dengan variasi hasil perhitungan berkisar antara 0,6 hingga 0,68.

3.8. Panjang *catchment area*

Panjang *catchment area* adalah jarak terjauh air menuju outlet dan digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi. Semakin panjang, aliran semakin lama sehingga memengaruhi desain drainase. Pada perumahan, lebar jalan 4,5 m dan atap bersudut 35°, dengan luas tangkapan dihitung dari total bangunan dan jalan.

3.9. Kemiringan lahan

Dalam sistem drainase, kemiringan medan (S) memengaruhi kecepatan aliran air. Pada jalan

biasanya digunakan kemiringan 0,02 (2%) yang landai namun efektif, sedangkan pada atap rumah dengan sudut 35°, nilai S sekitar 0,7 sehingga aliran air jauh lebih cepat menuju saluran pembuangan.

3.10. Hambatan Lahan

Nilai hambatan lahan ditunjukkan oleh koefisien kekasaran Manning (n), yang menggambarkan besarnya hambatan aliran akibat kondisi permukaan. Semakin besar nilai n, semakin lambat aliran air. Dalam penelitian ini, nilai hambatan lahan (nd) digunakan sebesar 0,2.

3.11. Menghitung waktu konsentrasi (tc)

Waktu konsentrasi (tc) adalah lamanya air hujan dari titik terjauh daerah tangkapan mencapai outlet. Nilai tc menunjukkan kecepatan air dari seluruh area terkumpul ke satu titik aliran. Untuk menghitungnya, diperlukan waktu aliran permukaan menuju inlet (to) dan waktu aliran sepanjang saluran (tf).

$$\begin{aligned} t_o &= 1.44 \times \left(n_d \times \frac{1}{\sqrt{s}} \right)^{0.467} \\ &= 1.44 \times \left(0.2 \times \frac{1}{\sqrt{0.02}} \right)^{0.467} \\ &= 1.17 \text{ menit} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung nilai tf perlu untuk mengetahui panjang saluran dan kecepatan saluran, untuk kecepatan saluran yang digunakan adalah 0.3 m/s. Sebagai contoh akan dihitung pada saluran pada Jalan A Salurann A1-A3

$$t_f = \frac{L}{V} = \frac{15.16}{0.6 \times 60} = 0.42 \text{ menit}$$

sehingga nilai tc adalah penjumlahan nilai to dan tf sehingga 1.17 menit + 0.42 menit menjadi 1.59 menit atau 0.026 jam.

3.12. Intensitas hujan

Perhitungan intensitas hujan dihitung dengan Metode Mononobe dengan R24 yang di pakai adalah kala ulang 10 tahun.

$$\begin{aligned} I_{10} &= \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \\ I_{10} &= \frac{75.103}{24} \left(\frac{24}{0.026} \right)^{\frac{2}{3}} \\ I &= 293.28 \text{ mm/jam} \end{aligned}$$

3.13. Perhitungan Limpasan Permukaan

Setelah nilai koefisien aliran dan intensitas

hujan diperoleh, tahap selanjutnya adalah menghitung debit limpasan permukaan yang terjadi di kawasan Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu. Penghitungan debit puncak dilakukan dengan menggunakan Metode Rasional

$$Q_{hidrologi} = 0,2778.C.I.A$$

$$Q_{hidrologi} = 0,2778.C.I.A$$

$$Q_{hidrologi} = 0,2778(0.60)(293.28\text{mm/jam})$$

$$(0.00009\text{km}^2)$$

$$Q_{hidrologi} = 0.0043 \text{ m}^3/\text{det}$$

3.14. Perhitungan Limbah Air Kotor

Perhitungan limbah air kotor pada kawasan contoh yaitu 7 unit rumah di Jalan B Saluran A3-B4 dilakukan berdasarkan standar SNI. Dengan asumsi tiap rumah dihuni 5 orang, jumlah penghuni total adalah 35 orang. Berdasarkan kebutuhan air domestik untuk rumah tinggal sebesar 120 liter/hari/orang, diperoleh kebutuhan air domestik sebesar 4.200 liter/hari. Ditambah kebutuhan non-domestik sebesar 15% (630 liter/hari), total kebutuhan air bersih mencapai 4.830 liter/hari. Selanjutnya diperhitungkan kebocoran air sebesar 15% atau 1.207,5 liter/hari. Dari jumlah tersebut, 80% dianggap menjadi air limbah sehingga diperoleh limbah cair sekitar 4.830 liter/hari. Jika dihitung dalam debit, volume limbah tersebut setara dengan 0,0000560 m³/detik.

3.15. Debit Gabungan

Debit gabungan air limbah atau air kotor dengan debit hidrologi merupakan jumlah aliran yang berasal dari kombinasi buangan domestik, non-domestik, dan limpasan permukaan akibat hujan yang masuk ke dalam suatu sistem drainase atau saluran pembuangan.

3.16. Perencanaan Drainase

Perencanaan drainase meliputi analisis hidrolika yang bertujuan untuk menentukan kapasitas penampang dalam menampung debit yang direncanakan. Analisis hidrolika ini merupakan evaluasi terhadap penampang saluran drainase yang akan dirancang. Drainase pada Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu direncanakan menggunakan saluran U-ditch dengan ukuran 50 cm x 50 cm x 120 cm

dalam lebar, tinggi, dan panjang.

1 Dimensi Saluran

2 Panjang (P)=120 cm=1.2 m

3 Lebar (B)= 50 cm =0.5 m

c. Tinggi (H) = 50 cm = 0.5 m

4 Luas (A)

Luas (A) = B x H

= 0.5 x 0.5

= 0.25 m²

5 Keliling basah (P)

Keliling basah(P) = B + 2H

= 0.5 + 2 (0.5)

= 1.5 m

6 Jari-jari hidraulis (R)

Jari-jari hidraulis (R) = A / P

= 0.25/1.5

= 0.17 m

Perhitungan kapasitas saluran drainase yang sudah ada dilakukan dengan cara mengukur dimensi fisik dari saluran tersebut. Setiap saluran dianalisis untuk mengetahui besarnya kecepatan aliran (V) dan debit aliran (Q) yang dapat ditampung. Sebagai contoh, perhitungan nilai V dan Q pada saluran Jalan A bagian Kanan disajikan menggunakan persamaan 2.28 dan 2.29. Koefisien Manning (n) ditentukan oleh tipe saluran dan jenis bahan sesuai dengan tabel 2.9 pada Bab 2. Untuk drainase eksisting harga normal koefisien manning adalah 0.011 untuk tipe saluran beton / gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran dengan kemiringan 5%.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,011} (0.17^{2/3}) (0.005^{1/2})$$

$$= 1.947 \text{ m/detik}$$

$$Q = A.V$$

$$= 0.25 \text{ m}^2 (1.947 \text{ m/detik})$$

$$= 0.487 \text{ m}^3/\text{detik}$$

3.17. Evaluasi Debit

Evaluasi debit dengan membandingkan antara Q hidrologi dan Q hidrolika memiliki fungsi yang sangat penting dalam perencanaan dan analisis sistem drainase. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui apakah saluran yang direncanakan atau yang sudah ada mampu menampung debit air yang dihasilkan dari analisis hidrologi. Q hidrologi merupakan debit rencana yang dihitung berdasarkan data curah hujan dan karakteristik daerah tangkapan air,

sedangkan Q hidrolika adalah debit maksimum yang dapat dialirkan oleh saluran berdasarkan dimensi dan karakteristik fisiknya.

Jika nilai Q hidrolika lebih besar atau sama dengan Q hidrologi, maka saluran dianggap memadai dan mampu mengalirkan air secara efektif tanpa menyebabkan genangan atau banjir. Sebaliknya, jika Q hidrolika lebih kecil dari Q hidrologi, maka kapasitas saluran tidak mencukupi dan perlu dilakukan evaluasi ulang terhadap desain saluran, baik dengan cara memperbesar dimensi saluran, memperbaiki kemiringan, maupun melakukan solusi teknis lainnya. Oleh karena itu, perbandingan ini menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa sistem drainase yang dirancang bekerja secara optimal, efisien, dan mampu menghadapi debit puncak akibat hujan sesuai dengan periode ulang yang telah ditentukan.

Berdasarkan hasil evaluasi debit yang diperoleh dari perbandingan antara analisis hidrologi dan hidrolika, terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai debit yang cukup signifikan pada beberapa periode ulang. Debit hasil perhitungan hidrologi umumnya lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis hidrolika. Hal ini menunjukkan bahwa metode hidrologi cenderung menghasilkan estimasi debit maksimum yang lebih konservatif untuk keperluan perencanaan, sedangkan hasil hidrolika lebih merepresentasikan kondisi aktual di lapangan berdasarkan kapasitas penampang saluran. Perbedaan ini juga dapat diakibatkan oleh keterbatasan data curah hujan maupun asumsi dalam model hidrologi yang digunakan. Dengan demikian, hasil evaluasi ini memberikan gambaran bahwa debit perhitungan hidrologi dapat dijadikan acuan dalam penentuan desain bangunan pengendali banjir, sementara hasil hidrolika digunakan untuk memverifikasi kemampuan saluran dalam menampung debit yang terjadi.

Untuk mengoptimalkan pengendalian limpasan air dan mengurangi beban debit yang masuk ke saluran, direncanakan penerapan sumur resapan dengan kapasitas penyerapan sebesar 70% dari debit yang masuk. Dengan adanya sumur resapan ini, sebagian besar air hujan akan langsung meresap ke dalam tanah sehingga dapat menurunkan potensi genangan

maupun limpasan permukaan yang berlebih. Perencanaan ini tidak hanya berfungsi sebagai upaya pengendalian banjir, tetapi juga memberikan manfaat tambahan berupa peningkatan cadangan air tanah. Dengan demikian, debit yang tersisa dan harus dialirkan melalui saluran utama hanya sekitar 30% dari total debit awal, sehingga kapasitas saluran menjadi lebih mencukupi dan risiko luapan dapat diminimalkan.

3.18. Perhitungan Sumur Resapan

Perhitungan sumur resapan merupakan langkah teknis yang sangat penting dalam merancang sistem penyerapan air hujan secara langsung ke dalam tanah, sehingga dapat mengurangi limpasan permukaan, meminimalkan potensi banjir lokal, sekaligus memperkuat cadangan air tanah. Dalam konteks tanah Regosol Coklat, karakteristik geospasial menunjukkan bahwa jenis tanah ini tersusun dari pasir halus hingga kerikil halus dengan struktur berpori yang mampu meresapkan air dengan baik. Koefisien permeabilitasnya berada pada kisaran 10^{-6} – 10^{-2} mm/detik atau termasuk kelas sedang hingga agak cepat, dengan laju permeabilitas yang cukup luas antara 0,036–360 cm/jam. Meskipun demikian, nilai aktual yang digunakan dalam perhitungan adalah 0,0036 cm/jam, yang menjadi dasar perencanaan teknis. Selain itu, muka air tanah yang terletak pada kedalaman sekitar 3 meter dari permukaan memberi ruang yang memadai bagi air untuk meresap sebelum mencapai lapisan jenuh. Dengan kondisi ini, penggunaan sumur resapan di wilayah dengan tanah Regosol Coklat dinilai layak dan efektif sebagai bagian dari pengelolaan air yang berkelanjutan serta upaya menjaga keseimbangan siklus hidrologi.

Pada sumur resapan direncanakan berbentuk lingkaran berdiameter 100 cm atau 1 m dan memiliki kedalaman 2 meter dikarenakan tinggi muka air tanah. Nilai R dapat dilihat dengan menggunakan nilai hasil intensitas hujan periode ulang 10 tahun. Berikut adalah perhitungan sumur resapan.

1. Debit Masuk (Q_{in})

$$\begin{aligned} Q_{in} &= 70\% \times \sum Q_{hidrologi} \\ &= 70\% \times 0.7177 \\ &= 0.5024 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

2. Tinggi / Kedalaman Sumur Resapan (H)
Kedalaman rencana sumur resapan adalah 2 m, hal ini tinggi muka air tanah muka air tanah pada lokasi tersebut berada pada kedalaman 3 meter

3. Debit Resapan (Q_{rspn})

$$Q_{rspn} = F \times K \times H$$

$$= 5.5(r) \times K \times H$$

$$= 5.5(0.50) \times 0.0036 \times 2$$

$$= 0.01980 \text{ m}^3/\text{detik}$$

4. Perhitungan jumlah sumur resapan

$$n = \frac{Q_{in}}{Q_{rspn}}$$

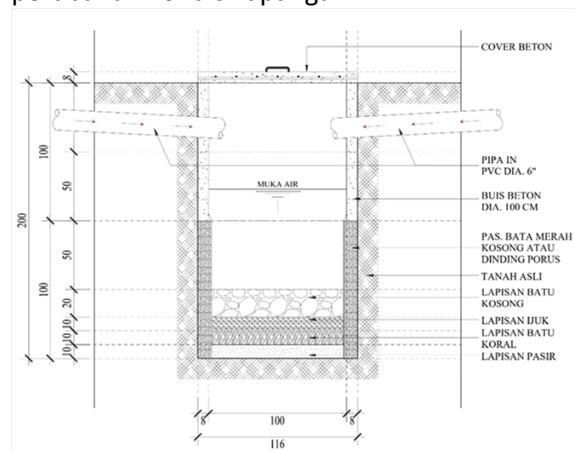
$$n = \frac{0.5024 \text{ m}^3/\text{detik}}{0.01980 \text{ m}^3/\text{detik}}$$

$$n = 25,3737373 \approx 26 \text{ buah}$$

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, debit air yang harus ditampung melalui sumur resapan ditetapkan sebesar 70% dari total debit hidrologi yang terjadi, yaitu $0,5024 \text{ m}^3/\text{detik}$. Angka ini menunjukkan besarnya volume air limpasan yang harus dialirkan ke dalam sistem resapan agar tidak menimbulkan genangan maupun aliran permukaan berlebih. Untuk mengakomodasi debit tersebut, direncanakan pembangunan sumur resapan dengan kedalaman 2 meter, menyesuaikan kondisi muka air tanah di lokasi yang berada pada kedalaman yang sama. Dengan mempertimbangkan parameter tanah berupa koefisien permeabilitas (K) sebesar $0,0036 \text{ m/detik}$ dan luas keliling efektif penyerapan ($F = 5,5 \times r$, dengan jari-jari $r = 0,50 \text{ m}$), maka debit resapan yang mampu ditangani oleh satu sumur dihitung sebesar $0.01980 \text{ m}^3/\text{detik}$. Nilai ini merepresentasikan kapasitas infiltrasi air ke dalam tanah per sumur pada kondisi ideal. Selanjutnya, untuk memenuhi kebutuhan total debit masuk, dilakukan perbandingan antara debit yang harus ditampung (Q_{in}) dengan kapasitas resapan per sumur (Q_{rspn}), sehingga diperoleh jumlah sumur yang diperlukan sebesar 25,37 buah. Karena jumlah sumur tidak dapat berbentuk pecahan, maka hasilnya dibulatkan menjadi 26 sumur resapan dan dapat ditunjukkan Gambar 3 Gambar Rencana Sumur Resapan.

Dengan pengaturan tersebut, sistem sumur resapan tidak hanya berperan dalam mengurangi limpasan permukaan, tetapi juga

mendukung terciptanya keseimbangan siklus hidrologi kawasan. Air hujan yang masuk ke dalam sumur dapat meresap ke tanah dan memperkuat cadangan air bawah tanah, sementara aliran permukaan yang keluar dari kawasan tetap terkendali. Hal ini sejalan dengan penerapan prinsip eco drainage dan konsep Zero Delta Q yang menuntut agar debit limpasan pasca pembangunan tidak melebihi kondisi alami sebelumnya. Lebih lanjut, fleksibilitas perencanaan memungkinkan redistribusi beban jika terdapat gangguan teknis, seperti penurunan kapasitas akibat sedimentasi, sehingga sistem dapat beroperasi secara berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan kondisi lapangan.



Gambar 3. Hasil analisis

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan untuk menjawab rumusan masalah, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Intensitas hujan rencana (mm) pada kawasan Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu bervariasi hujan rencana yang di gunakan adalah R10 dimana memiliki intensitas hujan 67,17 mm sampai dengan 252,89 mm sebagaimana tabel 4.15.
2. Debit limpasan (Q) yang terjadi di kawasan Cluster Baru Villa Pesanggrahan Kusuma Kota Batu sebagaimana intensitasnya yakni bervariasi dengan nilai R10 nilai debit limpasan adalah sebesar $0,0020 \text{ m}^3/\text{detik}$ hingga yang terbesar adalah $0,0260 \text{ m}^3/\text{detik}$
3. Debit maksimum dari buangan limbah rumah tangga (Q limbah rumah tangga) jika

keseluruhan rumah terisi secara penuh adalah sebesar 0,0018 m³/detik

4. Dimensi sumur resapan yang dibutuhkan jika total debit limpasan direduksi 70% ke sumur resapan dan 30% ke saluran drainase kota atau sungai kota adalah diameter 100 cm dengan kedalaman 200 cm dengan jumlah total 26 buah.

4.2 Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian, terdapat beberapa saran penulis untuk penelitian berikutnya maupun kepada instansi terkait yaitu:

1. Kajian Efektivitas Kombinasi Teknologi Eco Drainage.
Penelitian berikutnya dapat menguji kombinasi sumur resapan dengan metode lain seperti biopori, permeable pavement, atau kolam retensi, sehingga dapat diketahui mana yang paling efisien.
2. Penerapan Sistem Eco Drainage Secara Konsisten.
Disarankan agar pengembang kawasan dapat menerapkan sistem eco drainage secara menyeluruh dan konsisten, terutama dalam pembangunan infrastruktur permukiman di daerah dengan topografi curam seperti Kota Batu, guna mengurangi risiko genangan serta menjaga keseimbangan siklus air tanah.
3. Pemeliharaan Berkala Sumur Resapan.
Sumur resapan yang telah direncanakan dan dibangun perlu mendapatkan pemeliharaan rutin agar fungsi peresapan tetap optimal dan tidak terjadi penyumbatan akibat endapan lumpur atau sampah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Wicaksono, I. W. Agustin, and D. M. Utomo, "KARAKTERISTIK DAN PERJALANAN WISATA DI KOTA BATU," *Plan. Urban Reg.*

Environ. J. PURE, 2019.

- [2] B. M. Jannah, A. Afandi, and R. A. P. Puspita Z., "ANALYSIS OF RESIDENTIAL PROPERTY MARKET VALUE USING MARKET AND COST APPROACH," *J. Akunt. Bisnis Dan Hum.*, 2023.
- [3] G. S. Haryani, "KEBUTUHAN AIR DAN KETERSEDIAANNYA DI INDONESIA," *J. Sumber Daya Air*, 2011.
- [4] P. N. Kamila and W. Sejati, "PERENCANAAN DRAINASE DENGAN KONSEP ZERO DELTA RUN OFF PADA PERUMAHAN PERMATA PURI CIBUBUR," *Technomedia J*, p. 2023, 2023.
- [5] F. Mandasari, Diyanti, and F. Y. Supomo, "PENGENDALIAN BANJIR DENGAN KONSEP KEBIJAKAN ZERO DELTA Q MENGGUNAKAN SUMUR RESAPAN," *J. Ilm. Desain Konstr.*, 2024.
- [6] A. Rokhmawati, U. Suhardjono, Andawayanti, and P. T. Juwono, "IN SITU PERMEABILITY AND SHAPE FACTOR OF FLAT-BASE RECHARGE WELLS USING VARIATIONS OF POROUS WALLS. IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 3rd Int. Conf. Water Resour. Dev. Environ. Prot.*, 2020.
- [7] R. Wigati and R. Ichwan, "TEKNOLOGI SUMUR RESAPAN DALAM KAJIAN PEMAPARAN HIDROGRAF BANJIR SUB DAS CIUJUNG," *Fondasi J. Tek. Sipil*, 2017.
- [8] E. W. Irianto, "PEMANFAATAN ZEOLIT PADA SUMUR RESAPAN AIR HUJAN UNTUK MENGURANGI RESIKO PENCEMARAN AIR TANAH AKIBAT LIMPASAN HUJAN UNTUK PENGEMBANGAN," *J. Sumber Daya Air*, vol. 5, no. 1, pp. 75–84, 2009.
- [9] M. A. Syihabi, E. Noerhayati, and A. Rokhmawati, "STUDI EVALUASI SALURAN DRAINASE BERBASIS ECODRAINAGE MENGGUNAKAN SOFTWARE ARCGIS KECAMATAN PACIRAN KABUPATEN LAMONGAN. UNIVERSITAS ISLAM MALANG," 2024.
- [10] F. C, F. A. Y, and S. S. D, "ANALISA DRAINASE SUMUR RESAPAN PADA KAMPUS UNLAM BANJARBARU," vol. 3 No. 1, 2002.