

## Pendekatan Pembangunan Dampak Rendah untuk Sumur Resapan dan Analisis Biaya Investasinya di Wilayah Perkotaan

Oktavia Kurnianingsih<sup>1\*</sup>, Delista Putri Deni<sup>2</sup>,

*Department of Civil Engineering Vocation, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta  
Email: oktaviakurnianingsih@staff.uns.ac.id*

### ABSTRACT

*Flood, economic and environmental problems in the implementation of sustainable drainage systems in developing countries are very complex. The use of infiltration wells as an alternative method to infiltrate groundwater as one of the low-impact developments. Infiltration wells function to accommodate and absorb water into the soil. The high growth of the population led to an increase in development. Development that has an impact on the reduction of catchment areas, this research aims to approach the low-impact development strategy (LID) in urban areas in developing countries. Sustainable drainage development is still limited to the regional budget. Cost analysis was carried out by hydrological modeling for infiltration well planning. Infiltration wells are chosen as sustainable drainage. Infiltration wells can reduce the risk of flooding and drought. Discharge analysis with the Rational Method. The planning of the dimensional infiltration well was calculated using the Sunjoto formula and the basic design using filtration. The infiltration well model is planned with a depth of 1.7 m and a diameter of 1 m. The cost of making an infiltration well is Rp 2,125,500 for one well. This research is expected to help decision-making in sustainable urban water management. Flood and drought mitigation balancers and costs.*

*Keywords: infiltration wells, LID, sustainable drainage, cost*

### ABSTRAK

Permasalahan banjir, ekonomi dan lingkungan dalam penerapan sistem drainase berkelanjutan dinegara berkembang sangat kompleks. Penggunaan sumur resapan sebagai metode alternatif untuk meresapkan air tanah sebagai salah satu pembangunan berdampak rendah. Sumur resapan berfungsi menampung dan meresapkan air kedalam tanah. Pertumbuhan jumlah penduduk yang tinggi menyebabkan peningkatan pembangunan. Pembangunan yang berdampak pada berkurangnya daerah resapan, Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pendekatan strategi pembangunan berdampak rendah (LID) pada kawasan perkotaan dinegara berkembang. Pembangunan drainase berkelanjutan masih terbatas pada anggaran daerah. Analisis biaya dilakukan dengan pemodelan hidrologi untuk perencanaan sumur resapan. Sumur resapan dipilih sebagai drainase berkelanjutan. Sumur resapan dapat mengurangi risiko banjir dan kekeringan. Analisis debit dengan Metode Rasional. Perencanaan sumur resapan dimensi dihitung dengan rumus Sunjoto dan desain dasar menggunakan filtrasi. Model sumur resapan direncanakan dengan kedalaman 1.7 m dan diameter 1 m. Biaya pembuatan sumur resapan Rp 2.125.500 untuk satu sumur. Penelitian ini diharapkan dapat membantu pengambilan keputusan dalam pengelolaan air diperkotaan yang berkelanjutan. Penyeimbang mitigasi banjir dan kekeringan serta biaya.

Kata kunci: sumur resapan, LID, drainase berkelanjutan, biaya

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan berdampak rendah (LID) dapat dengan mudah memafaatkan air hujan (Liu 2022) (Qi et al. 2021). Penerapan prinsip LID dinegara berkembang dengan curah hujan yang tinggi perlu dipertimbangkan (dos Santos, Barbassa, and Vasconcelos 2021). Pemanfaatan air hujan ini untuk mengurangi genangan dan kekurangan air (Prmono and Saputro 2021). Sistem drainase perkotaan memiliki peranan penting dalam ketahanan infrastruktur perkotaan (de Oliveira et al. 2022)(Zhi et al. 2019). Perencanaan sistem drainase perkotaan yang konvensional dan berkelanjutan memerlukan pertimbangan (Lentini et al. 2022). Pertimbangan digunakan dalam beberapa tujuan pengambilan keputusan yang berkelanjutan (Andrés-Doménech et al. 2021). Namun pembangunan berdampak rendah sulit untuk menyelesaikan permasalahan banjir dan biaya. Sistem drainase konvensional tidak mampu menampung air limpasan (Molya, Rintis Hadiani, and Muttaqien 2023) (Safriani, Suciatina, and Fachruddin 2022).

Corresponding Author

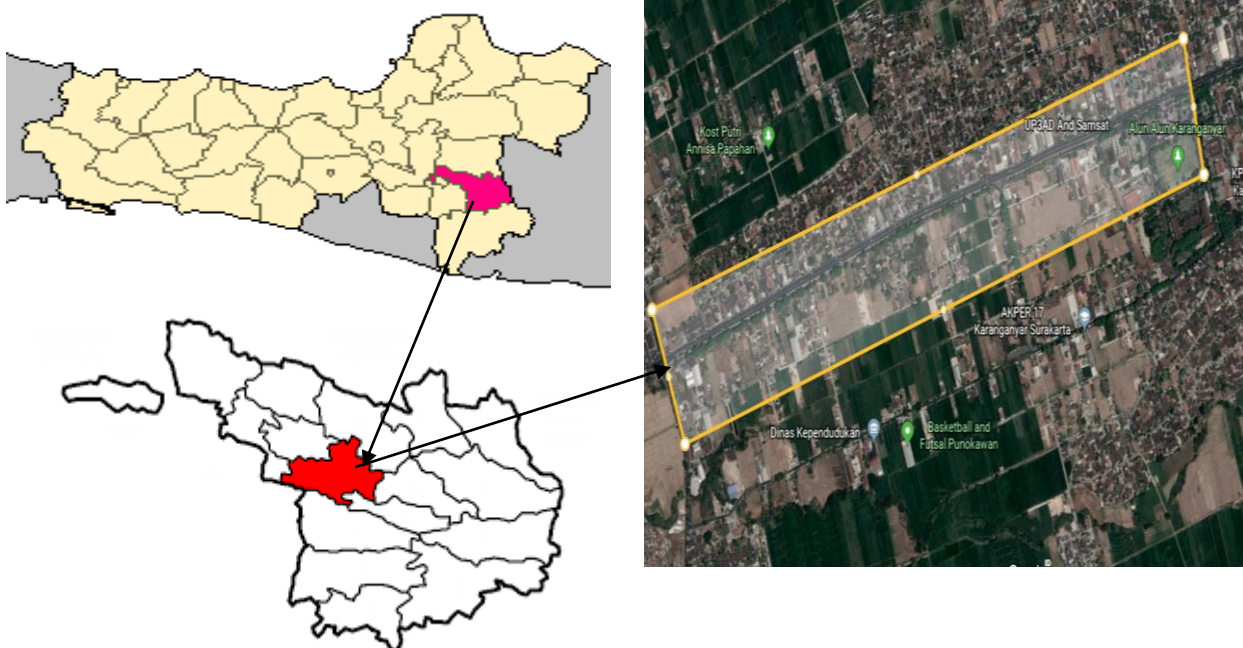
E-mail Address : oktaviakurnianingsih@staff.uns.ac.id

Penggunaan drainase berkelanjutan untuk mengurangi limpasan salah satunya sumur resapan (Fuentes et al. 2020)(Ramli, Mutia, and Fachruddin 2023). Sumur resapan sangat penting mengingat perubahan penggunaan lahan akibat pertumbuhan penduduk (Ekaputra, Irsyad, and Yanti 2020). Pertumbuhan penduduk menyebabkan berkurangnya daerah resapan. Sumur resapan digunakan untuk mengurangi risiko banjir (Abdeldayem et al. 2020). Metode penggunaan sumur resapan salah satu strategi pengelolaan air hujan (Amalya, Ashari, and Isniarno 2022) (Raeesi et al. 2022). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengurangan limpasan dengan menerapkan sumur resapan dan biaya pembuatan sumur resapan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan analisis biaya dan perencanaan sumur resapan di wilayah perkotaan. Analisis mempertimbangkan biaya konstruksi dan manfaat pengurangi risiko banjir di wilayah tersebut. Analisis sumur resapan memerlukan informasi mengenai kondisi wilayah dengan penginderaan (Amalya, Ashari, and Isniarno 2022). Pemodelan sumur resapan menggunakan Metode Sunjoto (Ramadhan 2023). Desain sumur resapan melibatkan penentuan ukuran dan kedalaman sumur yang sesuai serta jenis filtrasi yang digunakan. Hasil penelitian yang diperoleh dapat membantu pengambilan keputusan dengan mengevaluasi biaya dan manfaat dari pembangunan sumur resapan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan menetapkan lokasi pada daerah perkotaan dengan drainase berkelanjutan. Fokus perencanaan sumur resapan direncanakan di Kelurahan Tegalasri Kecamatan Karanganyar, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Terdiri dari kompleks perkantoran, tempat ibadah dan ruang terbuka hijau. Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data curah hujan dari bidang Sumber Daya Air DPUPR Kabupaten Karanganyar. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Kawasan Perkotaan Kabupaten Karanganyar

### Data Hidrologi

Data curah hujan digunakan untuk mengetahui intensitas hujan, distribusi curah hujan. Perencanaan sumur resapan perlu menganalisis curah hujan. Data curah hujan maksimum tahunan di tampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Hujan harian maksimum 20 tahun Stasiun Karanganyar

Tahun	Bulan	Tanggal	Curah hujan (mm)
2004	Desember	2	91,00
2005	Desember	22	91,00
2006	Februari	17	95,00

Tahun	Bulan	Tanggal	Curah hujan (mm)
2007	Desember	18	210,00
2008	Maret	5	185,00
2009	April	11	151,00
2010	Februari	28	125,00
2011	April	7	86,00
2012	Februari	27	130,00
2013	Mei	22	98,00
2014	Maret	9	70,00
2015	April	21	80,00
2016	Juni	12	145
2017	Oktober	13	90
2018	Maret	16	130
2019	Maret	11	72
2020	November	10	145
2021	Desember	7	87
2022	Januari	9	85
2023	Januari	10	86

### **Analisis Hidrologi**

Tahapan yang dilakukan dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian maksimum
2. Analisis konsistensi data hujan Metode RAPS
3. Analisis curah hujan rerata daerah
4. Analisis frekuensi data hujan
5. Analisis intensitas hujan dengan Metode Mononobe
6. Analisis debit banjir dengan Metode Rasional

### **Perencanaan sumur resapan**

Secara teoritis, volume dan efisiensi sumur resapan dapat dihitung berdasarkan keseimbangan air yang masuk ke dalam sumur dan air yang meresap ke dalam tanah (Sunjoto, 1988). Debit rencana sumur resapan yaitu dari atap rumah (Fransiska, Junaidi, and Istijono 2020). Perhitungan debit rencana sumur resapan diperlukan luas atap yang teraliri oleh air hujan. Perhitungan menggunakan Metode Rasional seperti pada persamaan 1 (Muntaha et al. 2022).

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (1)$$

dengan Q = debit banjir maksimum (m<sup>3</sup>/det), C = koefisien pengaliran, I = intensitas curah hujan rata-rata (mm/jam) dan A = luasan daerah pengaliran (Ha).

Dimensi sumur resapan dengan kedalaman sumur resapan dihitung dengan rumus Sujonto, 1989 (Pattiruhu, Sakliressy, and Tiwery 2019). Persamaan 2

$$H = \frac{Q}{FK} \times 1 - e^{-\frac{F.K.T}{\pi R^2}} \quad (2)$$

dengan  $H$  = Kedalaman sumur resapan (m),  $Q$  = Debit rencana ( $m^3/detik$ ),  $t$  = Durasi hujan dominan (detik),  $F$  = Faktor geometric,  $k$  = Nilai permeabilitas ( $m/detik$ ),  $r$  = jari-jari sumur (m). Faktor geometric pada persamaan 3

$$F = 5,5 \times r \tag{3}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Hidrologi

Perhitungan untuk menentukan intensitas hujan untuk berbagai periode ulang. Data hujan maksimum yang digunakan adalah 20 tahun terakhir. Penggunaan data curah hujan dari Tabel 1 curah hujan maksimum pada stasiun hujan Karanganyar. Penentuan periode ulang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan curah hujan dengan periode ulang

Periode Ulang (Tahun)	R rencana (mm)
2	82.97
5	110.19
10	179.18
25	214.11
50	262.69

Tabel 2 menunjukkan perhitungan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun. Curah hujan rencana mengalami peningkatan seiring bertambahnya periode ulang. Periode ulang untuk 2 tahun memiliki R rencana 82.97 mm dan periode ulang 50 tahun memiliki 262.69 mm. Perhitungan analisa intensitas hujan menggunakan metode monobe. Penggunaan metode mononobe dengan intensitas hujan 5 jam. Perhitungan intensitas mononobe disajikan dalam tabel 3

Tabel 3 Perhitunga Intensitas hujan

Durasi Jam	Curah hujan maksimum 24 jam R24				
	2tahun	5tahun	10 tahun	25 tahun	50tahun
	110,19	151,03	179,18	214,11	239,17
1	64,44	88,32	104,79	125,21	139,87
2	37,68	51,65	61,28	73,23	81,80
3	22,04	30,21	35,84	42,82	47,83
4	12,89	17,66	20,96	25,04	27,97
5	7,54	10,33	12,26	14,65	16,36

Perhitungan intensitas hujan pada tabel 3 dengan durasi hujan 5 jam dengan menggunakan periode ulang 2 tahun, 5 tahun sampai dengan 50 tahun. Durasi hujan meningkat pada jam pertama dan mengalami penurunan pada jam ke 5. Periode ulang yang bertambah menyebabkan intensitas hujan semakin tinggi. Periode ulang 2 tahun dengan 110.19 mm pada jam 1 dengan curah hujan maksimal 64.44 mm dan jam ke 5 7.54 mm. Perhitungn hujan jam-jaman menggunakan metode *Alternate Bloking Methode* (ABM) disajikan dalam Tabel 4 dengan periode ulang 5 tahun.

Tabel 4. Nilai Metode ABM Periode Ulang 5 tahun

waktu (jam)	Intensitas Hujan (mm)	Intensitas Hujan (mm)	ABM	Hujan jam jaman
1	88,32	88,32	5,12	5,12
2	51,65	14,98	14,98	14,98

<b>3</b>	30,21	8,76	88,32	88,32
<b>4</b>	17,66	5,12	8,76	8,76
<b>5</b>	10,33	3,00	3,00	3,00

Nilai ABM periode ulang 5 tahun digunakan untuk mengetahui hujan jam- jaman. Hujan jam – jam an pada tabel 4 menunjukkan bawah hujan terjadi pada waktu pertama dengan intensitas rendah dan meningkat seiring durasi hujan. Puncak hujan terjadi pada jam ke 3 dengan intensitas hujan 88.32 mm. Penurunan intensitas hujan terjadi pada ja ke 5 dengan durasi hujan 3 mm. Perhitungan debit banjir metode rasional disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan debit banjir metode Rasional

<b>Durasi (jam)</b>	<b>Intensitas (mm/jam)</b>	<b>C</b>	<b>A (ha)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/detik)</b>
<b>1</b>	5.12	0.55	44	0.34
<b>2</b>	14.98	0.55	44	1.01
<b>3</b>	88.32	0.55	44	5.80
<b>4</b>	8.76	0.55	44	0.59
<b>5</b>	3.00	0.55	44	0.20

Tabel 5 menunjukkan perhitungan debit banjir metode Rasional. Hasil perhitungan menunjukkan bawah intensitas hujan tertinggi 88.32 mm/jam. Koefisien atau nilai C diambil dari gabungan dikarenakan daerah yang dlakukan penelitian ada wilayah perumaa, jalan, perkuburan. Luas wilayah studi sebesar 44 ha. Debit banjir pada peritungan didapatkan dengan intensitas hujan 88.32 mm mendapatkan debit sebesar 5.8 m<sup>3</sup>/detik.

### Perencanaan Sumur Resapan

Perhitungan debit dianalisa untuk pusat kota Kabupaten Karanganyar dengan luasan atap 160 m<sup>2</sup> untuk setiap satu unit rumah maka menggunakan persamaan :

Perhitungan debit air hujan dengan luasan atap sebesar :

$$Q \text{ atap rumah} = C \times I \times A$$

$$Q = 0.95 \times 88,32 \times 0,016 = 0,00373 \text{ m}^3/\text{detik}$$

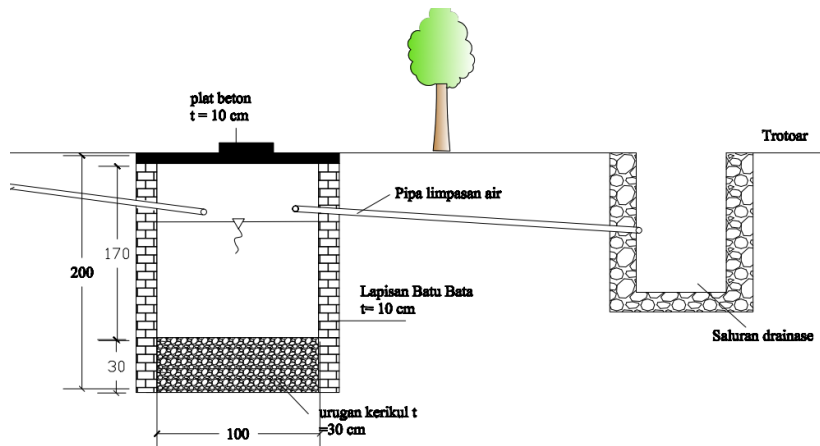
Kedalaman sumur resapan sumur resapan dengan factor geometric F = 5,5 R disesuaikan dengan metode Sunjoto Perencanaan sumur resapan untuk kawasan diambil dengan diameter diameter 1 m, nilai k = 0.001 cm/detik. Persamaan perhitunga sumur resapan sebagai berikut:

$$H=(Q/F.K) \times 1- e (F. K. t) / (\Pi \times r^2)$$

$$= (0,00387/ 2,75.0.001 ) \times (1 - e ( 2.75 \times 0.001 \times 3600) / ( 3.14 \times 0.5^2)$$

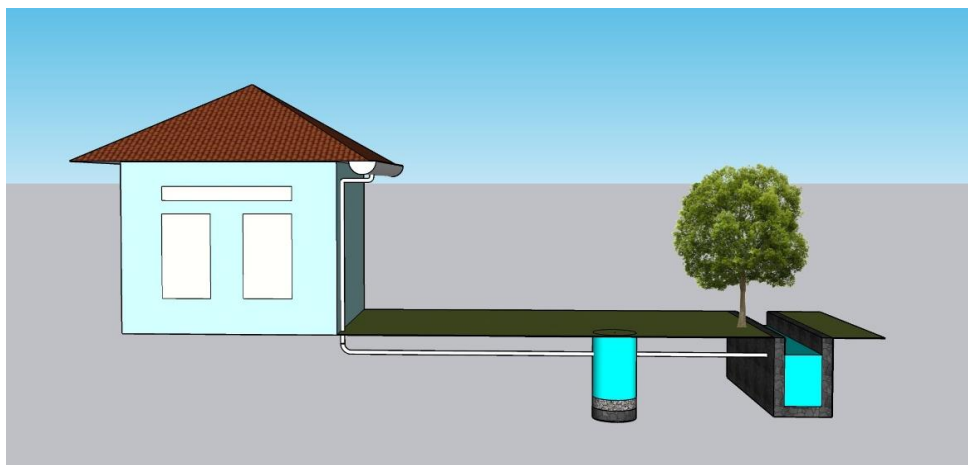
$$= 1,69 \text{ m}$$

Sumur resapan dengan diameter 1 m dengan kedalaman 1.69 dibuatkan menjadi 2 m. Sumur resapan inidiilustrasikan dalam Gambar 2 berikut.



Gambar 3. Detail sumur resapan

Sumur resapan memiliki diameter 1 m dan kedalaman 2 m. Dasar sumur resapan pada ketinggian 0.3 m diberikan urugan kerikil sebagai filtrasi. Filtrasi memberikan



Gambar 3. Skenario pengaliran air hujan ke sumur resapan

Air hujan yang jatuh ditampung di atap rumah. Air hujan yang mengalir diatap rumah dialirkan menuju sumur resapan dengan bantuan pipa. Pipa dialirkan dari talang dimasukan kedalam tanah dan dialirkan menuju sumur resapan. Sumur resapan dengan diameter 1 m dan kedalaman 2 m terdapat filtrasi yang berisi kerikil pasir. Air yang ditampung pada sumur resapan diresapkan melalui proses filtrasi. Sumur resapan juga terdapat pipa menghubungkan menuju saluran drainase. Perencanaan total kapasitas sumur resapan dengan debit 5.8 m<sup>3</sup>/detik maka dapat direncanakan sumur resapan sebanyak 1450 sumur resapan untuk perkotaan kabupaten Karangnyar

**Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Sumur Resapan**

Perencanaan sumur resapan akan direncanakan rencana anggaran biaya untuk pembuatan dalam 1 sumur resapan yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan total sumur resapan yang akan direncanakan sesuai jumlah rumah yang ada dalam batas masalah pada penelitian ini. Perhitungan untuk rencana anggaran biaya sumur resapan sebagai berikut :

Tabel 6. Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Sumur Resapan

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	10	m <sup>2</sup>	11,017	110.175
2	Galian tanah sumur resapan	3.17	m <sup>3</sup>	52,968	167.805
3	Galian tanah saluran air hujan	1.93	m <sup>3</sup>	52,968	102.335

4	Urugan tanah	0.90	m <sup>3</sup>	38,137	34.323
5	Meratakan tanah	8.00	m <sup>2</sup>	38,137	305,100
6	Pasangan bata 1:4	6.28	m <sup>2</sup>	106,756	670,432
7	Plesteran+acian	5.34	m <sup>2</sup>	46,687	249.215
8	Beton bertulang	0.08	m <sup>3</sup>	867,627	68.108
9	Urugan kerikil d 10-20cm	0.24	m <sup>3</sup>	250,030	58.882
10	Pengadaan dan pemasangan pipa PVC d= 4 inch	2	batang	157,000	314.000
11	Pengadaan dan pemasangan aksesoris pipa PVC d = 4 inch	3	buah	15,000	45.000
<b>Jumlah biaya pembuatan 1 sumur resapan</b>					<b>Rp 2.125.500</b>

Jadi rencana anggaran total untuk pembuatan sumur resapan adalah sebagai berikut Rp 2.125.500 persumur resapan. Biaya satu sumur resapan dihitung dengan kebutuhan sumur resapan yang direncanakan 1450 rumah sehingga total anggaran biaya Rp 3.081.798.440.

#### 4. KESIMPULAN

Penerapan strategi pembangunan berdampak rendah dengan sumur resapan dapat menjadikan cara yang efektif dan biaya dapat diperkirakan. Penerapan ini untuk mengelola limpasan air hujan di wilayah perkotaan. Perencanaan sumur resapan membutuhkan data luas wilayah, data hidrologi dan data tanah. Luas atap pada perencanaan sumur resapan diperlukan. Atap sebagai tampungan air hujan yang akan disalurkan menuju sumur resapan. Luas wilayah studi yang merupakan pusat kota Kabupaten Karanganyar diperoleh seluas 44 ha dengan koefisien limpasan atap 0.95. Debit banjir rencana 5.8 m<sup>3</sup>/detik. Desain sumur resapan dengan diameter 1 m dan kedalaman 1.7 m. Sumur resapan yang dibutuhkan untuk menampung debit sebanyak 1450 buah. Biaya pembuatan sumur resapan Rp 2.125.500. Total pembuatan sumur resapan membutuhkan biaya Rp 3.081.798.440 untuk 1450 sumur resapan. Penelitian ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan biaya dan manfaat jangka panjang dari alternatif sistem drainase berkelanjutan dan perlunya pendekatan berbasis kinerja dalam pengambilan keputusan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdeldayem, Omar M., Omar Eldaghar, Mohamed K. Mostafa, Mahmoud M. Habashy, Ahmed A. Hassan, Hossam Mahmoud, Karim M. Morsy, Ahmed Abdelrady, and Robert W. Peters. 2020. "Mitigation Plan and Water Harvesting of Flashflood in Arid Rural Communities Using Modelling Approach: A Case Study in Afouna Village, Egypt." *Water (Switzerland)* 12 (9): 1–24. <https://doi.org/10.3390/W12092565>.
- Amalya, Tifana, Yunus Ashari, and Noor Fauzi Isnarno. 2022. "Penentuan Daerah Luahan (Discharge Area) Di Utara Sesar Baribis Wilayah Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat." *Bandung Conference Series: Mining Engineering* 2 (1): 71–78. <https://doi.org/10.29313/bcsme.v2i1.1414>.
- Andrés-Doménech, Ignacio, Jose Anta, Sara Perales-Momparler, and Jorge Rodriguez-Hernandez. 2021. "Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis." *Sustainability (Switzerland)* 13 (5): 1–22. <https://doi.org/10.3390/su13052791>.
- Ekaputra, E.G., F. Irsyad, and D. Yanti. 2020. "Development Zero Runoff Model in Palm Oil Plantation for Water Resources Conservation by Using Recharge Wells." *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 22 (4): 48–57.
- Fransiska, Yolla, Junaidi Junaidi, and Bambang Istijono. 2020. "Simulasi Dengan Program EPA SWMM Versi 5.1 Untuk Mengendalikan Banjir Pada Jaringan Drainase Kawasan Jati." *Jurnal Civronlit Unbari* 5 (1): 38. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v5i1.56>.
- Fuentes, C, C Chávez, A Quevedo, J Trejo-Alonso, and S Fuentes. 2020. "Modeling of Artificial Groundwater

- Recharge by Wells: A Model Stratified Porous Medium.” *Mathematics* 8 (10): 1–11. <https://doi.org/10.3390/math8101764>.
- Lentini, Azzurra, Elisa Meddi, Jorge Pedro Galve, Claudio Papiccio, and Francesco La Vigna. 2022. “Preliminary Identification of Areas Suitable for Sustainable Drainage Systems and Managed Aquifer Recharge to Mitigate Stormwater Flooding Phenomena in Rome (Italy).” *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater* 11 (4): 43–53. <https://doi.org/10.7343/as-2022-590>.
- Liu, X. 2022. “Rainfall Infiltration under Various Building Layouts Using Concrete Microseepage Wells.” *Advances in Materials Science and Engineering* 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2287378>.
- Molya, R, R R Rintis Hadiani, and A Y Muttaqien. 2023. “Infiltration Wells as an Alternative Eco Drainage System a Case Study in Mangkubumen Surakarta.” In *Lecture Notes in Civil Engineering*, 225:953–64. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-9348-9\\_84](https://doi.org/10.1007/978-981-16-9348-9_84).
- Muntaha, Yasnuar, Tri Budi Prayogo, Emma Yuliani, Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, and Universitas Brawijaya. 2022. “Permodelan Sumur Resapan Inovatif Untuk Konservasi Air Tanah Permeabilitas Rendah Daerah Kota Malang” 13 (1): 36-47
- Oliveira, Antonio Krishnamurti Beleño de, Bruna Peres Battemarco, Giuseppe Barbaro, Maria Vitória Ribeiro Gomes, Felipe Manoel Cabral, Ronan de Oliveira Pereira Bezerra, Victória de Araújo Rutigliani, et al. 2022. “Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience.” *Infrastructures* 7 (11). <https://doi.org/10.3390/infrastructures7110153>.
- Pattiruhu, Wilson, Agustinus Sakliressy, and Charles Tiwery. 2019. “Analisis Sumur Resapan Guna Mengurangi Aliran Permukaan Untuk Upaya Pencegahan Banjir.” *Manumata Journal* 5 (1): 9–16.
- Pramono, Alexander Nugri, and Prasetyo Tri Saputro. 2021. “Efektivitas Kolam Retensi Terhadap Pengendalian Banjir.” *G-Smart* 4 (2): 94. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v4i2.2331>.
- Qi, Wenchao, Chao Ma, Hongshi Xu, Zifan Chen, Kai Zhao, and Hao Han. 2021. “Low Impact Development Measures Spatial Arrangement for Urban Flood Mitigation: An Exploratory Optimal Framework Based on Source Tracking.” *Water Resources Management* 35 (11): 3755–70. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02915-2>.
- Raeesi, Ramin, Yunxin Xue, Mahdi M. Disfani, and Meenakshi Arora. 2022. “Hydrological and Water Quality Performance of Waste Tire Permeable Pavements: Field Monitoring and Numerical Analysis.” *Journal of Environmental Management* 323 (January): 116199. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116199>.
- Ramadhan, Bunga. 2023. “PERBANDINGAN METODE SNI 03-2453-2002 DAN SUNJOTO DALAM PERANCANGAN SUMUR RESAPAN PADA BANGUNAN KOMERSIAL DI JALAN KALIURANG, SLEMAN, YOGYAKARTA (COMPARISON OF SNI 03-2453-2002 AND SUNJOTO METHODS IN THE DESIGN OF INFILTRATION WELLS FOR COMMERCIAL BUILDING.” *Universitas Islam Indonesia*.
- Ramli, Ichwana, Suci Mutia, and Fachruddin. 2023. “The Concept of a Zero Runoff System (ZROS) in Reducing the Volume of Rainwater Runoff Using Infiltration Wells at the Syiah Kuala University.” *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)* 13 (2): 258–66. <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.2.258-266>.
- Safriani, Meylis, Cut Silvia Suciatina, and Fachruddin Fachruddin. 2022. “Evaluasi Tampang Drainase Desa Kuta Padang Kabupaten Aceh Barat.” *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi* 8 (2): 110. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v8i2.5954>.
- Santos, M.F.N. dos, A.P. Barbassa, and A.F. Vasconcelos. 2021. “Low Impact Development Strategies for a Low-Income Settlement: Balancing Flood Protection and Life Cycle Costs in Brazil.” *Sustainable Cities and Society* 65. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102650>.
- Zhi, Guozheng, Zhenliang Liao, Wenchong Tian, Xin Wang, and Juxiang Chen. 2019. “A 3D Dynamic Visualization Method Coupled with an Urban Drainage Model.” *Journal of Hydrology* 577 (January): 123988. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123988>.