

Hidrologi Forensik terhadap Peristiwa Banjir Ekstrem di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan

Forensic Hydrology of Extreme Flood Events in Way Pisang Subwatershed, Way Kanan Regency

Muhammad Hakiem Sedo Putra¹, Zainal Alim², M. Ridho Ulya³

¹Program Studi Rekayasa Tata Kelola Air Terpadu Institut Teknologi Sumatera

² Perum Jasa Tirta I, Malang

³Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Lampung

Informasi Artikel

Dikirim, 10 Juli 2025
Direvisi, 29 Januari 2026
Diterima, 29 Januari 2026

Korespondensi Penulis:

Muhammad Hakiem Sedo Putra
Program Studi Rekayasa Tata Kelola Air Terpadu
Institut Teknologi Sumatera
Email:
muhammad.sedo@tka.itera.ac.id

ABSTRAK

Hidrologi forensik merupakan pendekatan ilmiah untuk mengungkap penyebab, kronologi, dan dampak dari peristiwa hidrologi ekstrem, seperti banjir besar, yang sering menimbulkan kerusakan infrastruktur dan kerugian sosial ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peristiwa banjir ekstrem yang terjadi di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan, dengan menggunakan pendekatan forensik berbasis data hujan, data debit sungai, dokumentasi lapangan, dan wawancara masyarakat. Analisis dilakukan untuk merekonstruksi waktu puncak banjir, menganalisis kecepatan dan volume aliran, serta mengaitkannya dengan kerusakan infrastruktur yang terjadi, khususnya jembatan dan tanggul sungai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kejadian banjir disebabkan oleh hujan ekstrem dengan intensitas >150 mm/hari yang terjadi secara berturut-turut, ditambah dengan buruknya sistem drainase dan hilangnya vegetasi bantaran. Pendekatan hidrologi forensik terbukti dapat memberikan gambaran menyeluruh atas rangkaian peristiwa dan memperkuat dasar ilmiah untuk perencanaan mitigasi bencana ke depan.

Kata Kunci : banjir, hidrologi forensik, kerusakan infrastruktur, rekonstruksi kejadian, sub DAS

ABSTRACT

Forensic hydrology is a scientific approach to investigating the causes, chronology, and impacts of extreme hydrological events, such as major floods, which often result in severe infrastructure damage and socio-economic losses. This study aims to analyze an extreme flood event in the Way Pisang Sub-Watershed, Way Kanan Regency, using a forensic approach based on rainfall data, river discharge records, field documentation, and community interviews. The analysis focuses on reconstructing the flood peak timing, flow velocity, and water volume, and correlating them with the observed infrastructure damage, particularly to bridges and riverbanks. The results indicate that the flood was triggered by extreme rainfall exceeding 150 mm/day over consecutive days, exacerbated by poor drainage systems and the degradation of riparian vegetation. Forensic hydrology proves to be an effective framework for understanding the sequence of flood events and serves as a scientific foundation for future disaster risk mitigation planning.

Keyword : flood, forensic hydrology, infrastructure damage, event reconstruction, sub-watershed

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia, dengan tren yang cenderung meningkat baik dari segi frekuensi maupun dampaknya. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2023 terjadi lebih dari 1.300 kejadian banjir di berbagai wilayah Indonesia [1], menyebabkan kerusakan rumah, lahan pertanian, serta infrastruktur vital seperti jembatan, jalan nasional, dan tanggul sungai. Bencana ini tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi, tetapi juga menimbulkan trauma sosial, gangguan aktivitas masyarakat, bahkan korban jiwa [2].

Salah satu wilayah yang terdampak secara berulang adalah Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Di wilayah ini, terutama di kawasan Sub DAS Way Pisang[3], peristiwa banjir besar terjadi pada awal tahun 2023 dan 2024, dengan luapan air yang menyebabkan kerusakan pada badan jalan, jembatan penghubung antar kampung, serta menyebabkan lumpuhnya aktivitas ekonomi warga. Meskipun kejadian ini telah menjadi perhatian pemerintah daerah, investigasi terhadap penyebab dan kronologi banjir umumnya masih bersifat naratif, bersandar pada keterangan saksi dan observasi lapangan tanpa didukung analisis hidrologis yang mendalam [4].

Sebagian besar kajian banjir di tingkat lokal berfokus pada upaya tanggap darurat dan rehabilitasi, bukan pada proses investigasi teknis yang dapat menjelaskan “mengapa” dan “bagaimana” banjir terjadi. Padahal, untuk menyusun strategi mitigasi dan adaptasi yang tepat, dibutuhkan analisis retrospektif yang mampu mengungkap sebab-akibat suatu peristiwa banjir secara ilmiah dan berbasis data [5].

Dalam konteks inilah, hidrologi forensik (*forensic hydrology*) menjadi pendekatan yang sangat relevan. Hidrologi forensik adalah metode ilmiah untuk merekonstruksi peristiwa hidrologi ekstrem melalui penggabungan data curah hujan, debit sungai, bukti visual, jejak kerusakan infrastruktur, serta keterangan masyarakat. Pendekatan ini tidak hanya menjelaskan kejadian banjir dari sisi waktu dan lokasi, tetapi juga mampu mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama, seperti perubahan tata guna lahan, hilangnya vegetasi bantaran, kerusakan sistem drainase, hingga kegagalan struktur pengendali banjir [6].

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan hidrologi forensik dalam menganalisis peristiwa banjir ekstrem yang terjadi di Sub DAS Way Pisang, Kabupaten Way Kanan. Fokus utama meliputi: (1) rekonstruksi kronologi dan pola kejadian banjir, (2) analisis keterkaitan antara curah hujan ekstrem, kapasitas sungai, dan kerusakan infrastruktur, serta (3) perumusan rekomendasi teknis berbasis data untuk mendukung perencanaan mitigasi banjir di masa mendatang.

Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan informasi yang komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah sebagai dasar untuk advokasi kebijakan tata ruang, penguatan sistem peringatan dini, serta edukasi masyarakat terhadap risiko banjir yang terus meningkat di tengah perubahan iklim dan degradasi lingkungan [7].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Way Pisang yang terletak di Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung. Wilayah ini dipilih berdasarkan kejadian banjir besar yang terjadi pada awal tahun 2024, yang menyebabkan kerusakan pada jembatan penghubung, badan jalan desa, dan lahan pertanian. Penelitian berlangsung selama Februari–Mei 2025, dengan cakupan kegiatan mulai dari pengumpulan data sekunder, survei lapangan, hingga analisis data hidrologi dan spasial [8].

2.2. Pendekatan dan Tahapan Penelitian

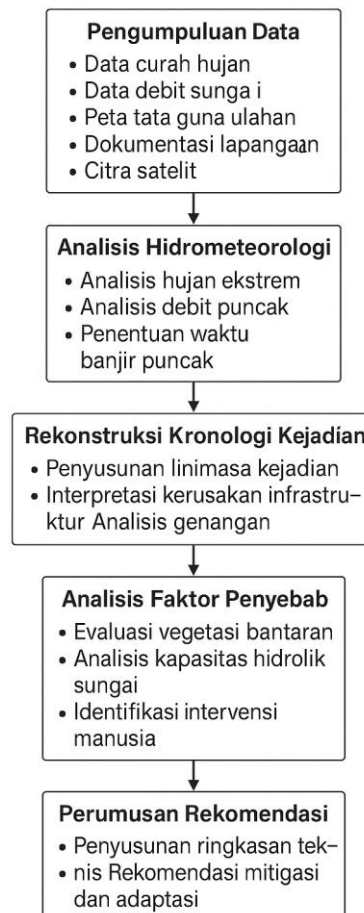
Penelitian menggunakan pendekatan hidrologi forensik yang bertujuan merekonstruksi kejadian banjir secara sistematis dan ilmiah. Tahapan penelitian terdiri atas:

1. Pengumpulan Data
 - a. Data curah hujan harian dan intensitas ekstrem (3–5 hari sebelum kejadian) dari BMKG.
 - b. Data debit sungai dan tinggi muka air dari Balai Wilayah Sungai (BWS) dan PUPR setempat.
 - c. Peta tata guna lahan multi-temporal (5 tahun terakhir).
 - d. Dokumentasi lapangan dan wawancara warga.
 - e. Citra satelit resolusi menengah (Sentinel-2) untuk analisis genangan dan perubahan penutup lahan.
2. Analisis Hidrometeorologi
 - a. Identifikasi hujan ekstrem menggunakan kriteria curah hujan harian >100 mm/hari.
 - b. Analisis debit puncak dengan metode rasional dan HEC-HMS (jika data memungkinkan).
 - c. Penentuan waktu banjir puncak (lag time) dan durasi genangan.
3. Rekonstruksi Kronologi Kejadian
 - a. Penyusunan linimasa kejadian banjir (rainfall–runoff–damage chronology)
 - b. Interpretasi kerusakan fisik infrastruktur dan genangan dari dokumentasi lapangan dan data spasial.
 - c. Identifikasi titik-titik kritis kerusakan.

4. Analisis Faktor Penyebab
 - a. Evaluasi kondisi vegetasi bantaran dan penggunaan lahan.
 - b. Analisis kapasitas hidrolik sungai (cross section dan slope).
 - c. Identifikasi intervensi manusia (penyempitan, sedimentasi, pengurangan, dll).
5. Perumusan Rekomendasi
 - a. Penyusunan ringkasan teknis temuan forensik.
 - b. Rekomendasi teknis dan kebijakan untuk mitigasi dan adaptasi.

2.3. Diagram Alur Penelitian

Berikut adalah alur metodologi yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alur Pendekatan Hidrologi Forensik dalam Penelitian

Diagram alur dalam Gambar 1 menggambarkan tahapan pendekatan hidrologi forensik yang diterapkan dalam penelitian ini. Proses dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder, yang mencakup data meteorologis (curah hujan harian dan intensitas hujan ekstrem), data hidrologis (debit sungai dan tinggi muka air), peta penggunaan lahan, dokumentasi lapangan, dan citra satelit resolusi menengah. Data ini dikumpulkan dari berbagai sumber resmi dan lapangan, serta diperkuat dengan wawancara mendalam kepada warga terdampak [9].

Tahap selanjutnya adalah analisis hidrometeorologis, di mana data hujan dianalisis untuk mengidentifikasi intensitas dan pola hujan ekstrem yang memicu kejadian banjir. Data debit dianalisis untuk menentukan laju aliran dan waktu puncak banjir (lag time). Tahap ini juga mencakup analisis hidrograf dan estimasi kapasitas tampung sungai berdasarkan kondisi eksisting.

Setelah itu, dilakukan rekonstruksi kronologi kejadian. Proses ini menggabungkan data waktu hujan, aliran sungai, puncak genangan, dan dokumentasi visual untuk menyusun linimasa kejadian banjir secara detail. Pendekatan ini memungkinkan pemetaan hubungan antara intensitas hujan, respons DAS, dan dampak kerusakan [10].

Tahap berikutnya adalah analisis faktor penyebab, baik dari aspek biofisik (kemiringan lahan, perubahan vegetasi, sedimentasi sungai) maupun antropogenik (perubahan tata guna lahan, penyempitan sungai, kondisi drainase). Analisis spasial dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik kritis meluapnya sungai dan daerah terdampak genangan.

Terakhir, hasil investigasi digunakan sebagai dasar dalam perumusan rekomendasi teknis dan kebijakan mitigatif. Rekomendasi difokuskan pada upaya peningkatan kapasitas sungai, restorasi vegetasi bantaran, desain ulang infrastruktur, serta peringatan dini berbasis data [11].

Dengan pendekatan sistematis ini, penelitian diharapkan mampu menghasilkan informasi yang tidak hanya bersifat retrospektif, tetapi juga memberikan arah tindakan preventif dan adaptif dalam pengelolaan risiko banjir [12].

2.4. Teknik Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif mencakup:

- Perhitungan debit puncak menggunakan metode rasional atau transformasi unit hydrograph (jika tersedia data rinci).
- Analisis curah hujan ekstrem berdasarkan distribusi frekuensi hujan (Gumbel, Log Pearson III).
- Perbandingan debit aktual dan kapasitas saluran untuk mengidentifikasi titik-titik meluap.
- Overlay spasial antara area terdampak dan peta penggunaan lahan dengan bantuan QGIS atau perangkat lunak sejenis.

Sementara itu, analisis kualitatif mencakup:

- Kronologi kejadian berdasarkan wawancara dan dokumentasi waktu peristiwa.
- Identifikasi kerusakan infrastruktur melalui observasi visual dan pencatatan lokasi.
- Interpretasi visual genangan dari citra Sentinel-2 dengan penajaman indeks NDWI (Normalized Difference Water Index) [13].

2.5. Validasi dan Triangulasi Data

Untuk meningkatkan keandalan hasil, dilakukan triangulasi data, yaitu:

- Perbandingan antara data curah hujan dari BMKG dengan laporan warga (ground check).
- Verifikasi peta genangan dari citra satelit dengan dokumentasi lapangan dan kesaksian warga.
- Analisis debit sungai dibandingkan dengan kondisi geometrik sungai hasil pengukuran langsung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kronologi Kejadian Banjir

Banjir ekstrem di Sub DAS Way Pisang terjadi pada tanggal 2 Februari 2024, diawali oleh hujan dengan intensitas tinggi yang berlangsung sejak 31 Januari malam hingga 2 Februari pagi. Hasil wawancara menunjukkan bahwa genangan mulai merata pukul 04.00 WIB, dan puncak aliran terjadi sekitar pukul 06.30 WIB. Tinggi muka air di pemukiman warga mencapai 1,2–1,8 meter, dan mulai surut secara signifikan pukul 12.00 WIB.

Banjir menyebabkan kerusakan pada satu unit jembatan gantung, dua titik badan jalan desa yang terputus, serta melumpuhkan akses warga selama lebih dari 12 jam.

3.2. Analisis Curah Hujan dan Debit

Data curah hujan dari stasiun terdekat (BMKG Blambangan Umpu) menunjukkan bahwa curah hujan kumulatif selama 3 hari mencapai 292 mm, dengan puncak intensitas harian sebesar 156 mm/hari pada 1 Februari 2024. Nilai ini melebihi ambang hujan ekstrem berdasarkan klasifikasi BMKG (>100 mm/hari).

Tabel 1. Rekapitulasi Curah Hujan Sebelum Kejadian Banjir

Tanggal	Curah Hujan (mm)
30 Januari 2024	48
31 Januari 2024	88
1 Februari 2024	156
Total	292

Sumber : Data Sekunder 2024

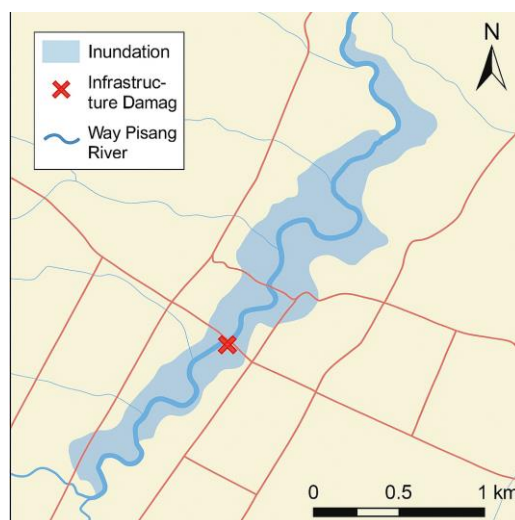
Menggunakan metode rasional, debit puncak dihitung berdasarkan luas DAS ±23,5 km², intensitas hujan 100 mm/jam, dan koefisien limpasan 0,6.

$$Q = C \times i \times A = 0,6 \times 100 \times 23,5 = 1.410 \text{ m}^3/\text{detik} \dots \dots \dots (1)$$

Debit ini jauh melebihi kapasitas sungai Way Pisang yang diperkirakan hanya ± 500 m³/detik, sehingga banjir besar tak terhindarkan.

3.3. Analisis Spasi dan Kerusakan Infrastruktur

Analisis spasial berbasis citra Sentinel-2 dan observasi lapangan menunjukkan bahwa banjir merendam area seluas 87 hektar, mencakup lahan pertanian dan permukiman. Overlay antara peta genangan dan jaringan infrastruktur menunjukkan bahwa kerusakan paling parah terjadi di dekat tikungan sungai dan lokasi penyempitan saluran.



Gambar 2. Peta Area Genangan Banjir dan Titik Kerusakan Infrastruktur

Kerusakan jembatan terjadi akibat erosi fondasi dan scouring pada pangkal abutmen yang tidak dilindungi. Sementara itu, jalan desa terputus di dua titik akibat gaya angkat (uplift) dan aliran permukaan deras yang melampaui badan jalan tanpa drainase lateral yang memadai.

3.4. Evaluasi Faktor Penyebab

Investigasi menunjukkan bahwa banjir dipicu oleh kombinasi faktor:

- Curah hujan ekstrem selama tiga hari berturut-turut.
- Peningkatan limpasan permukaan akibat alih fungsi lahan dari semak dan hutan rakyat menjadi kebun jagung dan sawit.
- Sedimentasi sungai yang mempersempit lebar penampang basah di titik-titik kritis.
- Ketiadaan infrastruktur pengendali air seperti sabo dam atau kolam retensi di hulu.

Citra penggunaan lahan menunjukkan bahwa area tutupan vegetasi berkurang 35% dalam lima tahun terakhir. Hal ini secara langsung meningkatkan koefisien aliran dan mengurangi kemampuan infiltrasi tanah.

3.5. Implikasi dan Pembelajaran

Pendekatan hidrologi forensik dalam studi ini terbukti mampu memberikan narasi kronologis dan identifikasi teknis atas banjir yang terjadi. Hasil ini sangat relevan bagi:

- Pemerintah daerah, untuk menyusun kebijakan tata ruang berbasis risiko banjir.
- Insinyur dan perencana, dalam mendesain ulang struktur infrastruktur yang lebih adaptif.
- Masyarakat, untuk memahami dan memitigasi risiko melalui rehabilitasi vegetasi dan kesadaran lokal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan hidrologi forensik efektif dalam mengungkap penyebab dan kronologi kejadian banjir ekstrem di Sub DAS Way Pisang. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan:

Banjir yang terjadi pada awal Februari 2024 dipicu oleh curah hujan ekstrem berturut-turut dengan akumulasi lebih dari 290 mm dalam tiga hari, yang melampaui ambang hujan ekstrem regional.

Debit aliran puncak mencapai sekitar 1.410 m³/detik, jauh melebihi kapasitas sungai eksisting, yang berkontribusi langsung terhadap luapan dan genangan seluas ± 87 hektar.

Faktor penyebab non-klimatik seperti perubahan tata guna lahan, sedimentasi sungai, dan buruknya infrastruktur pengendali air memperparah dampak banjir.

Infrastruktur rusak terutama karena scouring dan gaya angkat air yang tidak tertahan, diperparah oleh desain struktural yang tidak mempertimbangkan perubahan karakteristik aliran.

Pendekatan hidrologi forensik membantu menyusun kronologi kejadian secara rinci dan menghasilkan basis ilmiah yang dapat digunakan dalam evaluasi desain, mitigasi risiko, dan perencanaan adaptif..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Karakteristik *et al.*, “Korelasi karakteristik fisik rumah dan tingkat kerentanan sosio-ekonomi di tepian sungai kapuas Pontianak,” *researchgate.net*, 2021, doi: 10.14710/jwl.9.1.50-62.
- [2] R. Nandini, A. K.- Land, and undefined 2022, “Land Use Improvement as the Drought Mitigation to Manage Climate Change in the Dodokan Watershed, Lombok, Indonesia,” *mdpi.com*, Accessed: Dec. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/7/1060>
- [3] M. Hakiem and S. Putra, “Analisis Kebutuhan Air Irigasi Menggunakan Software Cropwat 8.0 (Studi Kasus: Daerah Irigasi Sekampung Batanghari),” *MEDIA Komun. Tek. SIPIL*, vol. 30, no. 2, pp. 246–255, Mar. 2025, doi: 10.14710/MKTS.V30I2.66772.
- [4] R. T. Napitupulu and M. H. S. Putra, “PENGARUH BOD, COD DAN DO TERHADAP LINGKUNGAN DALAM PENENTUAN KUALITAS AIR BERSIH DI SUNGAI PESANGGRAHAN,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–82, Jul. 2024, doi: 10.30595/CIVENG.V5I2.17878.
- [5] E. Rizqullah, Y. Feriska, M. T.-J. P. Tambusai, and undefined 2023, “Analisis Tata Kelola Drainase Perkotaan Sigeleng dalam Mengatasi Banjir di Kecamatan Brebes,” *jptam.org*, Accessed: Oct. 31, 2024. [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/7946>
- [6] H. Setiawan *et al.*, “Analisis penyebab banjir di kota Samarinda,” *ejournal.upi.edu*, vol. 20, no. 1, 2020, Accessed: Apr. 17, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea/article/view/22021/0>
- [7] R. Balahanti, W. Mononimbar, P. G.- Spasial, and undefined 2023, “Analisis tingkat kerentanan banjir di kecamatan singkil kota manado,” *ejournal.unsrat.ac.id*, vol. 11, p. 2023, Accessed: Oct. 22, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/spasial/article/view/51447>
- [8] M. H. S. Putra, “Analisa Komposisi Sampah yang Dihasilkan Berdasarkan Sifat dan Karakternya di Kampus Institut Teknologi Sumatera 2023,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 13–18, Jan. 2025, doi: 10.30595/CIVENG.V6I1.24156.
- [9] H. Di, K. Pasar, P. Pagi, K. K. Anwar, and G. Leuser, “Evaluasi dan Rencana Pengembangan Sistem Drainase di Kecamatan Tegal Barat, Kota Tegal,” *jurnal.eraliterasi.com*, vol. 3, no. 1, pp. 7–12, 2022, Accessed: Oct. 31, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.eraliterasi.com/index.php/erasains/article/view/99>
- [10] N. Nasution, “Peran komunikator Pembangunan dalam pemberdayaan masyarakat Program KOTAKU di Desa Aek Tuhul Kecamatan Padangsidimpuan Batunadua Kota,” 2023, Accessed: Jun. 26, 2025. [Online]. Available: <http://etd.uinsyahada.ac.id/id/eprint/10708>
- [11] M. Hakiem, S. Putra,] * Program, S. Rekayasa, T. Kelola, and A. Terpadu, “Potential of the Rainwater Harvesting Method in Fulfilling Domestic Water Needs at SD Negeri 02 Gunung Terang Bandar Lampung,” *J. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 1, pp. 01–11, Apr. 2023, doi: 10.28932/JTS.V19I1.5112.
- [12] D. E. N. Siagian and M. H. S. Putra, “SERAT ALAM SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN,” *CIVeng J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–60, Jan. 2024, doi: 10.30595/CIVENG.V5I1.17879.
- [13] M. P.-R. J. I. F. Teknik and undefined 2021, “Penerapan Rain Water Harvesting dalam Menyediakan Air Domestik dan Mengurangi Debit Drainase di Daerah Perkotaan,” *rekayasa.ft-sipil.unila.ac.id*, vol. 25, no. 2, pp. 42–45, doi: 10.23960/rekrjits.v25i2.38.