



PAPER – OPEN ACCESS

Penerapan Groundwater Recharge sebagai Solusi Banjir di Kawasan Permukiman Kelurahan Denai, Kota Medan

Author : Hajar Suwantoro, et al
DOI : 10.32734/anr.v7i1.2566
Electronic ISSN : 2654-7023
Print ISSN : 2654-7015

Volume 7 Issue 1 – 2026 TALENTA Conference Series: Agriculturaan & Natural Resources (ANR)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Penerapan *Groundwater Recharge* sebagai Solusi Banjir di Kawasan Permukiman Kelurahan Denai, Kota Medan

The Application of Groundwater Recharge as a Solution to Flooding in Residential Areas in Denai Village, Medan City

Hajar Suwanto^{a*}, Ahmad Perwira Mulia^b, Wahyu Abdillah^a, Anthoni Veery Mardianta^a, Novrial^a, Putri Wulandari^a

^aProgram Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jalan Perpustakaan, Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

^bProgram Studi Magister dan Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jalan Perpustakaan, Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

hajar@usu.ac.id

Abstrak

Banjir merupakan salah satu permasalahan lingkungan utama di Kota Medan yang sering terjadi, khususnya pada kawasan permukiman padat penduduk dengan sistem drainase yang kurang optimal. Program layanan masyarakat ini berfokus pada penerapan teknologi Ground Water Recharge (GWR) atau teknologi resapan air tanah sebagai strategi mitigasi banjir yang berkelanjutan di Kelurahan Denai, Kecamatan Medan Denai. Tujuan utama kegiatan ini adalah meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah dan mengurangi limpasan permukaan melalui pembangunan sistem sumur resapan berkedalaman 12 meter dengan menggunakan pipa PVC berdiameter 6 dan 8 inci. Selain aspek teknis, program ini juga menitikberatkan pada keterlibatan masyarakat secara aktif dalam seluruh tahapan kegiatan, mulai dari perencanaan, pelaksanaan konstruksi, hingga pemeliharaan sistem. Pendekatan partisipatif ini bertujuan untuk menumbuhkan rasa kepemilikan dan kesadaran lingkungan di kalangan masyarakat. Hasil pelaksanaan menunjukkan adanya penurunan signifikan terhadap genangan air pascahujan serta peningkatan pemahaman dan kepedulian masyarakat terhadap konservasi air tanah. Studi ini menyimpulkan bahwa penerapan teknologi GWR yang dikombinasikan dengan pendekatan sosial berbasis pemberdayaan masyarakat dapat menjadi solusi efektif dalam mengurangi risiko banjir perkotaan sekaligus mendukung terwujudnya sistem pengelolaan lingkungan permukiman yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim.

Kata Kunci: Groundwater Recharge; Genangan; Banjir; Drainase; Permukiman

Abstract

Flooding is one of the main environmental problems in Medan City that occurs frequently, especially in densely populated residential areas with suboptimal drainage systems. This community service program focuses on the application of Ground Water Recharge (GWR) technology as a sustainable flood mitigation strategy in Denai Village, Medan Denai District. The main objective of this activity is to increase soil infiltration capacity and reduce surface runoff through the construction of a 12-meter-deep infiltration well system using 6- and 8-inch diameter PVC pipes. In addition to technical aspects, this program also emphasizes active community involvement in all stages of the activity, from planning and construction to system maintenance. This participatory approach aims to foster a sense of ownership and environmental awareness among the community. The results show a significant reduction in post-rain flooding and an increase in community understanding and awareness of groundwater conservation. This study concludes that the application of GWR technology combined with a community empowerment-based social approach can be an effective solution in reducing the risk of urban flooding while supporting the realization of a sustainable and climate adaptive residential environmental management system.

Keywords: Groundwater Recharge; Waterlogging; Flooding; Drainage; Settlements

1. Pendahuluan

Genangan banjir di kawasan permukiman merupakan salah satu dampak paling nyata dari perubahan iklim di wilayah perkotaan. Peningkatan intensitas dan frekuensi hujan ekstrem terbukti meningkatkan risiko banjir secara global [1], [2], [3], [4]. Di banyak

kota di Indonesia, persoalan ini diperparah oleh alih fungsi lahan, berkurangnya ruang terbuka hijau, serta sistem drainase yang tidak memadai [5]–[8], [9], [10]. Berbagai studi di Indonesia menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan, sedimentasi saluran, dan rendahnya kapasitas drainase merupakan kombinasi faktor dominan pemicu banjir. Kajian pada Sub Sistem Drainase Sungai Beringin di Semarang menunjukkan bahwa konversi lahan dan kapasitas drainase yang tidak memadai berkorelasi kuat dengan meningkatnya kejadian banjir [5]. Penelitian lain di DAS Sekadau dan DAS Ampal/Balikpapan menegaskan bahwa intensitas hujan tinggi, topografi, permukiman di bantaran sungai, serta pengelolaan sampah yang buruk memperparah genangan di kawasan permukiman [6], [7]. Studi Laksmi [8] menambahkan bahwa kombinasi perubahan tata guna lahan dan pola curah hujan dapat meningkatkan frekuensi dan luas area genangan, sementara kajian-kajian mutakhir mengenai pengelolaan banjir perkotaan menekankan perlunya pergeseran dari *flood control* menuju *flood resilience* yang lebih adaptif dan terintegrasi [4].

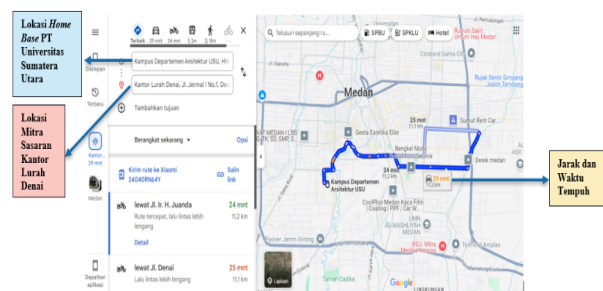
Kota Medan menghadapi persoalan yang serupa. Peristiwa banjir besar pada November 2024, misalnya, berdampak pada puluhan ribu warga dan merendam ribuan rumah di sejumlah kecamatan, termasuk Medan Denai [11]. Meskipun pemerintah kota telah melakukan berbagai upaya struktural seperti normalisasi sungai, peningkatan kapasitas drainase, dan pembangunan tanggul, permasalahan banjir masih terus berulang. Banjir tidak hanya menimbulkan kerusakan infrastruktur, tetapi juga berdampak pada kesehatan fisik dan mental masyarakat, terutama kelompok rentan seperti perempuan, anak-anak, dan lansia [12], [13]. Kelurahan Denai di Kecamatan Medan Denai merupakan kawasan padat penduduk dengan dominasi lahan terbangun dan minim ruang resapan. Air hujan cenderung mengalir di permukaan dan mengakibatkan genangan pada ruas jalan dan halaman rumah, sementara saluran drainase di beberapa lokasi sering tersumbat sampah sehingga tidak mampu menampung debit air secara optimal. Kondisi ini, sebagaimana tergambar dalam dokumentasi lapangan dan pemberitaan media, mencerminkan tantangan umum kawasan perkotaan di Indonesia yang memerlukan pendekatan pengelolaan air hujan yang lebih berkelanjutan [8], [4], [9], [10].

Dalam konteks tersebut, teknologi *Groundwater Recharge* (GWR) atau sumur resapan buatan dipandang sebagai salah satu bentuk *nature-based solutions* (NbS) yang potensial untuk mendukung ketahanan banjir di tingkat lingkungan. GWR bekerja dengan menyalurkan air hujan ke lapisan tanah yang lebih dalam sehingga mengurangi limpasan permukaan sekaligus menambah cadangan air tanah. Berbagai kajian mutakhir menunjukkan bahwa NbS, termasuk sumur resapan, ruang hijau, dan infrastruktur biru-hijau lainnya, dapat berkontribusi signifikan dalam menurunkan risiko banjir dan meningkatkan ketahanan kawasan terhadap perubahan iklim [4], [7], [14], [15], [16]. Di tingkat lokal, studi perencanaan dan implementasi sumur resapan di kawasan permukiman dan perkotaan di Indonesia menunjukkan efektivitas teknologi ini dalam mereduksi limpasan dan mengoptimalkan pemanfaatan air hujan [9][10][17]. Selain aspek teknis, implementasi GWR di tingkat komunitas juga berpotensi menjadi media edukasi dan pemberdayaan masyarakat dalam pengelolaan lingkungan yang partisipatif dan berkelanjutan [2], [18], [19]. Berdasarkan kerangka tersebut, tulisan ini bertujuan (1) menjelaskan proses penerapan teknologi GWR sebagai solusi genangan banjir di Kelurahan Denai, Kota Medan; (2) menggambarkan desain teknis GWR yang diimplementasikan; serta (3) mengkaji kontribusi kegiatan terhadap peningkatan kapasitas masyarakat dan keberlanjutan pengelolaan lingkungan permukiman dalam kerangka NbS untuk ketahanan banjir [3], [7], [16].

2. Metode

2.1. Lokasi dan Sasaran Kegiatan

Kegiatan dilaksanakan di Kelurahan Denai, Kecamatan Medan Denai, Kota Medan. Wilayah ini dipilih karena: (1) merupakan kawasan permukiman padat dengan frekuensi genangan cukup tinggi; (2) drainase lingkungan sering tersumbat; dan (3) terdapat dukungan kuat dari pemerintah kelurahan dan masyarakat untuk menjadi mitra program. Sasaran utama kegiatan adalah warga yang bermukim di sekitar lokasi pembangunan GWR di Jalan Jermal XV No. 16B, beserta perangkat kelurahan terkait. Peta Lokasi dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi kegiatan pengabdian di Kelurahan Denai, Kecamatan Medan Denai, Kota Medan

2.2. Pendekatan Pelaksanaan

Pendekatan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah pendekatan partisipatoris. Program dirancang sebagai bagian dari Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) Skema Kemitraan Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, dengan menekankan kerja sama antara perguruan tinggi, pemerintah lokal, dan komunitas. Dalam pelaksanaannya, tim melakukan musyawarah dengan perangkat kelurahan, tokoh masyarakat, dan perwakilan warga untuk menyepakati lokasi pembangunan, menyusun jadwal kerja, serta membagi peran dan tanggung jawab dalam proses pembangunan maupun pemeliharaan sistem *Groundwater Recharge* (GWR).

2.3. Tahapan Kegiatan

Tahapan utama pelaksanaan meliputi:

- Studi awal dan survei lokasi
Tim melakukan survei lapangan untuk melihat titik genangan, memeriksa kondisi saluran drainase, dan mengidentifikasi ketersediaan lahan untuk pembangunan GWR. Pada tahap ini juga dilakukan pengumpulan informasi dari warga mengenai frekuensi dan durasi genangan banjir.
- Perencanaan teknis dan penentuan lokasi GWR
Berdasarkan hasil survei, tim bersama mitra menetapkan satu titik prioritas untuk pembangunan GWR. Survei teknis dilakukan untuk memahami karakteristik tanah, kedalaman muka air tanah, dan kondisi utilitas sekitar. Lokasi yang dipilih adalah gang jalan di Jermal XV No. 16B yang sering tergenang saat hujan lebat.
- Pembangunan sistem Groundwater Recharge
Pembangunan GWR dilakukan oleh tenaga pelaksana lapangan dengan pengawasan tim PkM dan dukungan tenaga kerja lokal. Pekerjaan meliputi pengeboran, pemasangan pipa PVC, pengurugan material kerikil, dan pembuatan bak kontrol di permukaan.
- Sosialisasi dan pelatihan pemeliharaan
Setelah konstruksi selesai, tim mengadakan sosialisasi kepada warga sekitar mengenai prinsip kerja GWR, manfaat bagi lingkungan, serta tata cara pemeliharaan rutin, terutama pembersihan bak kontrol dan pengelolaan sampah agar tidak masuk ke sistem resapan.
- Monitoring awal
Tim melakukan pemantauan awal pada beberapa kejadian hujan setelah GWR beroperasi untuk mengevaluasi kinerja sistem secara kualitatif, termasuk pengamatan terhadap perubahan kondisi genangan di sekitar lokasi dan respon masyarakat terhadap fasilitas yang dibangun.

3. Hasil dan Pembahasan Equations

3.1. Kondisi Genangan dan Sistem Drainase di Kelurahan Denai

Survei lokasi menunjukkan bahwa beberapa ruas jalan di Kelurahan Denai, termasuk Jalan Jermal XV dan sekitarnya, sering mengalami genangan dengan ketinggian hingga beberapa puluh sentimeter setelah hujan deras. Genangan ini umumnya terjadi karena saluran drainase yang dangkal, tersumbat oleh sampah, serta tidak terhubung dengan baik ke saluran utama. Di banyak titik, permukaan lahan sudah tertutup bangunan dan perkerasan, sehingga kemampuan tanah untuk menyerap air hujan menurun secara signifikan. (Gambar 2)



Gambar 2. Kondisi genangan dan saluran drainase lingkungan

Kondisi tersebut menggambarkan pola permasalahan banjir khas kawasan perkotaan, di mana alih fungsi lahan dan sistem drainase yang kurang memadai menjadi faktor utama pemicu genangan. Di Kelurahan Denai, berbagai upaya peningkatan drainase yang dilakukan pemerintah kota belum sepenuhnya menjangkau lingkungan permukiman pada skala RT, sehingga masih dibutuhkan intervensi tambahan di tingkat lokal. Dalam hal ini, pendekatan *nature-based solutions* (NbS) dan pengembangan infrastruktur hijau-biru pada skala lingkungan menjadi penting untuk melengkapi upaya struktural berskala besar yang sudah ada. (Gambar 3)

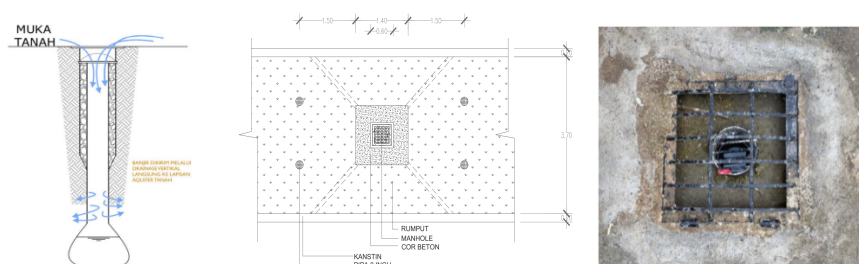


Gambar 3. Lokasi titik pembangunan sistem *Groundwater Recharge*

3.2. Desain Teknis *Groundwater Recharge*

Sistem GWR yang dibangun memiliki kedalaman sekitar 12 meter, yang disesuaikan dengan kondisi geologi dan kedalaman muka air tanah setempat. Bagian bawah sumur, sepanjang kurang lebih 9 meter, menggunakan pipa PVC berdiameter 6 inci yang diberi lubang-lubang kecil di seluruh sisi untuk memudahkan air meresap ke lapisan akuifer. Bagian atas, sekitar 3 meter, menggunakan pipa PVC berdiameter 8 inci sebagai casing pelindung untuk mencegah runtuhnya tanah ke dalam lubang bor. Ruang antara pipa dan dinding tanah diisi dengan kerikil sehingga aliran air menjadi lebih lancar sekaligus berfungsi sebagai filter kasar yang menyaring partikel-partikel besar.

Di permukaan, dibangun sebuah bak kontrol dari pasangan bata dan beton. Bak ini berfungsi sebagai penampung awal air hujan yang datang dari permukaan maupun dari saluran kecil di sekitarnya sebelum dialirkan ke dalam pipa GWR. Sedimen dan sampah yang terbawa aliran akan mengendap terlebih dahulu di dalam bak, sehingga tidak langsung masuk dan menyumbat pipa berlubang di bagian bawah. Rancangan ini sejalan dengan prinsip dasar sumur resapan dan konsep *low impact development* (LID), yaitu memadukan fungsi infiltrasi dan filtrasi agar sistem dapat bekerja secara optimal dalam jangka panjang. (Gambar 4)



Gambar 4. Skema desain teknis sumur resapan *Groundwater Recharge* yang dibangun di Kelurahan Denai

Selain itu, desain GWR di Kelurahan Denai juga mempertimbangkan keterbatasan ruang di lingkungan permukiman padat serta kemudahan perawatan oleh masyarakat. Sistem dirancang agar kompak, terintegrasi dengan ruang yang tersedia, dan mudah diakses untuk kegiatan pembersihan rutin. Dengan pendekatan tersebut, GWR tidak hanya berfungsi sebagai infrastruktur resapan air, tetapi juga menjadi bagian dari strategi *nature-based solutions* yang kontekstual dan dapat dioperasikan secara berkelanjutan oleh masyarakat di lingkungan padat.

3.3. Proses Implementasi dan Partisipasi Masyarakat

Pelaksanaan pembangunan GWR diawali dengan kegiatan pengarahan teknis kepada panitia pelaksana lokal yang terdiri atas perangkat kelurahan dan perwakilan warga. Setelah itu, proses pengeboran, pemasangan pipa, dan pembuatan bak kontrol dilakukan secara bertahap dengan pengawasan tim Pengabdian kepada Masyarakat (PkM). Dokumentasi lapangan menunjukkan

bahwa masyarakat terlibat secara aktif, baik dalam menyiapkan lokasi maupun dalam membantu pekerjaan konstruksi sederhana. (Gambar 5)



Gambar 5. Keterlibatan masyarakat dalam pelaksanaan penerapan *Groundwater Recharge*

Keterlibatan masyarakat ini sangat penting karena menjadi modal sosial bagi keberlanjutan program. Dalam kegiatan ini, partisipasi warga tidak hanya terjadi pada saat pembangunan fisik, tetapi juga pada tahap sosialisasi mengenai cara pemeliharaan sistem GWR. Warga dilatih untuk secara berkala (1) membersihkan bak kontrol dari sedimen dan sampah, (2) memastikan tidak ada benda keras yang menghambat aliran air, dan (3) melaporkan kepada perangkat kelurahan apabila ditemukan kerusakan pada bak maupun pipa. Dengan cara tersebut, sistem GWR dirancang tidak hanya sebagai infrastruktur teknis, tetapi juga sebagai bagian dari upaya penguatan kapasitas lokal dan tata kelola lingkungan yang lebih kolaboratif di tingkat kelurahan. (Gambar 6 dan Gambar 7)



Gambar 6. Dokumentasi proses pelaksanaan pembangunan *Groundwater Recharge*

3.4. Dampak Awal dan Rencana Keberlanjutan

Meskipun periode monitoring masih relatif singkat, hasil observasi awal setelah beberapa kali kejadian hujan menunjukkan adanya penurunan genangan di sekitar lokasi GWR dibandingkan dengan kondisi sebelum intervensi. Air hujan yang sebelumnya tertahan lebih lama di permukaan kini cenderung lebih cepat surut karena sebagian dialirkan ke dalam sumur resapan. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem GWR mulai berfungsi sebagaimana direncanakan dan memberikan dampak positif pada skala lingkungan.

Dari sudut pandang kebijakan, penerapan GWR di Kelurahan Denai dapat dipandang sebagai contoh penerapan *nature-based solutions* (NbS) pada skala lingkungan yang mendukung upaya peningkatan ketahanan banjir perkotaan. Pengalaman ini menunjukkan bahwa kombinasi antara infrastruktur struktural berskala besar (seperti normalisasi sungai dan pembangunan kolam retensi) dengan solusi berbasis alam skala mikro (seperti sumur resapan, taman resapan, dan drainase berpori) berpotensi menghasilkan penanganan banjir yang lebih efektif dan berkelanjutan. Selanjutnya, keberlanjutan program direncanakan melalui beberapa langkah. Pertama, dilakukan pendampingan berkala oleh tim Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) untuk memantau kondisi GWR dan memberikan dukungan teknis bila diperlukan. Kedua, kegiatan pemeliharaan bak kontrol dan drainase lingkungan diintegrasikan ke dalam agenda kerja bakti rutin warga sehingga perawatan sistem menjadi bagian dari aktivitas kolektif masyarakat. Ketiga, disusun rencana replikasi pembangunan GWR pada titik-titik genangan lain di Kelurahan Denai dengan dukungan pemerintah kelurahan dan program pengabdian lanjutan.



Gambar 7. Penerapan sistem *Groundwater Recharge* di Kelurahan Denai, Kota Medan

Selain itu, diperlukan kajian yang lebih rinci mengenai kapasitas penyerapan GWR, misalnya melalui pengukuran laju infiltrasi dan simulasi hidrologi pada skala tapak. Kajian ini dapat dilengkapi dengan analisis sederhana mengenai biaya dan manfaat, sehingga dihasilkan dasar ilmiah yang lebih kuat untuk mengintegrasikan GWR ke dalam sistem pengelolaan banjir dan sumber daya air yang berkelanjutan di Kota Medan.

4. Kesimpulan

Penerapan teknologi *Groundwater Recharge* (GWR) di Kelurahan Denai, Kota Medan, menunjukkan bahwa intervensi sederhana pada skala lingkungan dapat menjadi salah satu solusi efektif untuk mengurangi genangan banjir di kawasan permukiman padat. Pembangunan satu unit GWR dengan kedalaman sekitar 12 meter yang dilengkapi bak kontrol di permukaan membantu meningkatkan kemampuan tanah menyerap air hujan dan mengurangi aliran air di permukaan, sehingga genangan lebih cepat surut. Kegiatan ini juga berkontribusi pada peningkatan kapasitas masyarakat melalui sosialisasi dan pelatihan pemeliharaan, sekaligus memperkuat kerja sama antara perguruan tinggi, pemerintah kelurahan, dan masyarakat. Pengalaman di Kelurahan Denai dapat dipandang sebagai contoh praktik baik yang berpotensi direplikasi pada lokasi genangan lain dengan karakteristik serupa. Selanjutnya, masih diperlukan pemantauan lebih lanjut dan kajian sederhana mengenai biaya dan manfaat untuk memastikan bahwa penerapan GWR dapat menjadi bagian dari strategi mitigasi banjir perkotaan yang terencana, terukur, dan berkelanjutan.

Ucapan terima kasih

Pengabdian kepada masyarakat ini didanai oleh NON PNBP Universitas Sumatera Utara melalui Skema Pengabdian kepada Masyarakat Skema Kemitraan Fakultas Teknik Tahun Anggaran 2025, berdasarkan Surat Perjanjian Penugasan Nomor 11/UN5.2.4.D/KPM/2025 tanggal 4 Agustus 2025. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sumatera Utara, Fakultas Teknik, Pemerintah Kelurahan Denai, Kecamatan Medan Denai, serta seluruh warga dan tim pelaksana yang telah berperan aktif dalam perencanaan, pembangunan, dan pemeliharaan sistem *Groundwater Recharge*.

Referensi

- [1] Y. Hirabayashi, R. Mahendran, S. Koirala, et al., "Global flood risk under climate change," *Nature Climate Change*, vol. 3, no. 9, pp. 816–821, 2013.
- [2] H. Mata-Lima, A. Alvino-Borba, A. Pinheiro, A. Mata-Lima, and J. A. Almeida, "Impacts of natural disasters on environmental and socio-economic systems: What makes the difference?," *Ambiente e Sociedade*, vol. 16, no. 3, pp. 45–64, 2013.
- [3] Y. Huang, Z. Tian, Q. Ke, J. Liu, M. Irannezhad, D. Fan, et al., "Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management," *WIREs Water*, vol. 7, no. 3, e1421, 2020.
- [4] M. Wang, J. Wu, L. He, et al., "A review of the flood management: From flood control to flood resilience," *Heliyon*, vol. 8, no. 11, e11763, 2022.
- [5] D. A. Nugroho and W. Handayani, "Kajian Faktor Penyebab Banjir dalam Perspektif Wilayah Sungai: Pembelajaran dari Sub Sistem Drainase Sungai Beringin," *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, vol. 17, no. 2, pp. 119–136, 2021.
- [6] H. R. Haezer, H. Herawati, and Nurhayati, "Analisis faktor-faktor penyebab banjir pada bagian hilir DAS Sekadau," in *Prosiding/Publikasi Daerah Aliran Sungai*, 2023.
- [7] N. Awaliyah, Ariyaningsih, and A. Ghazali, "Analisis Faktor yang Berpengaruh Terhadap Terjadinya Banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar dan Kesesuaian Program dengan Faktor Penanganannya," *Jurnal Penataan Ruang*, vol. 15, no. 2, pp. 57–70, 2020.
- [8] G. S. Laksmi, "Impact of Land Use Change and Rainfall on Flooding in Pekalongan City, Central Java," in *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-8 Tahun 2020*, Palembang, 2020, pp. 382–391.
- [9] M. I. Yekti, M. M. Yumame, and K. D. Harmayani, "Rainwater Harvesting Planning Using Infiltration Wells in Amlapura City Karangasem Regency," *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 18, no. 3, pp. 494–503, 2021.
- [10] S. Suprpti, F. Hariati, A. Hidayat, N. Nuryanto, and S. K. Syaja'ah, "Efektivitas Teknologi LID Model Sumur Resapan untuk Mereduksi Runoff di Perumahan Bumi Citra Asri, Bogor," *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 153–162, 2024.

- [11] B. F. N. J. Hulu, T. N. Siburian, H. Siregar, and Berlianti, "Analisis Penyebab Banjir dan Luapan Sungai di Kota Medan (Kecamatan Medan Amplas)," [Nama Jurnal], vol. 2, no. 7, pp. 90–104, 2024.
- [12] Y. Anwar, M. V. R. Ningrum, and I. Setyasih, "Dampak Bencana Banjir Terhadap Ekonomi Masyarakat di Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda," Jurnal Pendidikan Geografi (JPG), vol. 9, no. 1, pp. 40–48, 2022.
- [13] I. Elbagory, I. Fathy, I. Abd-Elaty, M. Eltarabily, F. A. Elmeghany, et al., "Integrated flood mitigation and groundwater recharge strategies for sustainable water resource management in arid regions," *Urban Water Journal*, 2025 (ahead of print).
- [14] Z. Vojinovic, Y. Abebe, A. Sanchez, et al., "Effectiveness of small- and large-scale nature-based solutions for flood mitigation: the case of Ayutthaya, Thailand," *Science of the Total Environment*, vol. 801, 149697, 2021.
- [15] T. Dunlop, D. Khojasteh, E. Cohen-Shacham, et al., "The evolution and future of research on nature-based solutions to address societal challenges," *Communications Earth & Environment*, vol. 5, no. 132, 2024.
- [16] S. Goodwin, M. Olazabal, A. J. Castro, and U. Pascual, "Global mapping of urban nature-based solutions for climate change adaptation," *Nature Sustainability*, vol. 6, pp. 458–469, 2023.
- [17] A. L. Malikhah and M. I. Yekti, "Pemanfaatan Sumur Resapan pada Rainwater Harvesting di Kawasan Perumahan, Tlogoadi, Sleman," *Journal of Civil Engineering and Sustainable Infrastructure (CENTER)*, vol. 2, no. 2, pp. 78–89, 2025.
- [18] Z. Triuri and D. Marwasta, "Strategi Adaptasi Masyarakat dalam Menghadapi Banjir di Kecamatan Tebet Kota Jakarta Selatan," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [19] K. Zhou, F. Kong, H. Yin, G. Destouni, M. E. Meadows, E. Andersson, et al., "Urban flood risk management needs nature-based solutions: a coupled social-ecological system perspective," *npj Urban Sustainability*, vol. 4, no. 25, 2024.