

Inovasi Arsitektur Amfibi dan Rekayasa Lanskap Adaptif untuk Ketahanan Permukiman terhadap Banjir di Bantaran Sungai Tuweley, Tolitoli

Dwi Purnomo^{1*}, Fandi Ahmad²

¹Program Studi Arsitektur, Universitas Madako Tolitoli

²Program Studi Agroteknologi, Universitas Madako Tolitoli

Jl. Kampus Umada Kelurahan Tambun Kab. Tolitoli

Corresponding author:

dwi.poernomo2015@gmail.com



This is an open access article under the
CC BY license

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya risiko banjir di permukiman bantaran Sungai Tuweley, Tolitoli, akibat perubahan iklim dan kerusakan lingkungan yang memicu frekuensi serta intensitas banjir lebih tinggi. Dampaknya meliputi kerusakan infrastruktur, penurunan kualitas hidup, dan kerugian sosial-ekonomi (Tolitoli, 2023). Diperlukan solusi terpadu berupa pengendalian banjir yang terintegrasi dengan sistem drainase, serta desain konstruksi yang mampu beradaptasi terhadap genangan. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan konsep arsitektur amfibi dan rekayasa lanskap adaptif untuk meningkatkan ketahanan kawasan. Arsitektur amfibi memungkinkan bangunan menyesuaikan diri terhadap naik-turunnya muka air melalui sistem fleksibel, sementara rekayasa lanskap adaptif memanfaatkan pendekatan ekologi untuk mitigasi banjir dan meningkatkan resapan air. Metode penelitian meliputi tiga tahap: (1) analisis kerentanan melalui pemetaan GIS dan simulasi HEC-RAS, (2) perancangan desain partisipatif dengan masyarakat melalui FGD untuk mengakomodasi kearifan lokal, dan (3) uji prototipe skala kecil guna mengukur efektivitas desain. Hasil yang diharapkan meliputi model arsitektur amfibi, strategi lanskap berbasis alam, dan rekomendasi kebijakan daerah. Implementasi direncanakan melalui MoU dengan pihak terkait, disertai FGD lanjutan untuk merumuskan strategi bersama pemangku kepentingan demi menciptakan lingkungan yang aman, tangguh, dan berkelanjutan.

Kata Kunci : Arsitektur amfibi; Adaptif; Mitigasi; Banjir; Ketahanan

ABSTRACT

The increasing risk of flooding in settlements along the Tuweley River, Tolitoli, driven by climate change and environmental degradation, has resulted in more frequent and intense flood events. These conditions have caused significant infrastructure damage, reduced living standards, and substantial socio-economic losses. Addressing this challenge requires integrated solutions that combine flood control measures with interconnected drainage systems and building designs capable of adapting to inundation. This study aims to develop concepts of amphibious architecture and adaptive landscape engineering to enhance regional resilience. Amphibious architecture enables structures to adjust dynamically to fluctuating water levels through flexible design systems. At the same time, adaptive landscape engineering applies ecological principles to mitigate flood impacts and improve water infiltration capacity. The research methodology consists of three main stages: (1) vulnerability assessment using GIS mapping and HEC-RAS simulations, (2) participatory design processes involving local communities through focus group discussions (FGDs) to incorporate indigenous knowledge and practical needs, and (3) small-scale prototype testing to evaluate the performance of proposed solutions. Anticipated outcomes include an amphibious architectural model, nature-based landscape strategies, and policy

recommendations for local authorities. Implementation will be pursued through Memorandums of Understanding (MoUs) with key stakeholders, supported by follow-up FGDs to develop strategies for collaboratively creating safer, more resilient, and sustainable settlements.

Keywords: *Amphibious architecture; Adaptive; Mitigation; Flood; Resilience*

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, khususnya di wilayah bantaran sungai dan pesisir. Kabupaten Tolitoli, Sulawesi Tengah, termasuk daerah dengan kerentanan tinggi akibat curah hujan yang mencapai rata-rata 2.096,42 mm pertahun dan sekitar 212 hari hujan, dipicu oleh faktor iklim serta kondisi geografisnya. Beberapa kelurahan, seperti Tuweley, Baru, Panasakan, dan Nalu, kerap dilanda banjir yang menimbulkan kerusakan pada rumah, fasilitas publik (sekolah, kantor pemerintahan, fasilitas kesehatan), infrastruktur transportasi, hingga jaringan listrik (Ilmuddin & Putra, 2022).

Catatan historis menunjukkan banjir besar terjadi pada 2009 dengan ketinggian air ± 2 m, memburuk pada 2017 mencapai ± 4 m, dan kembali melanda pada 2023, menyebabkan 10 rumah hanyut, jalan terputus, serta ratusan keluarga terdampak. Laporan BPBD Sulawesi Tengah mengidentifikasi curah hujan ekstrem dan buruknya sistem drainase sebagai penyebab utama. Kapasitas drainase mayor umumnya hanya dirancang untuk periode ulang 5–10 tahun, sementara drainase mikro 2–10 tahun tergantung tata guna lahan, sehingga tidak mampu menampung volume air berlebih (Harahap et al., 2020). Kelemahan lain meliputi material bangunan yang tidak tahan air, minimnya rekayasa lanskap penunjang resapan, dan keterbatasan hunian alternatif yang aman, membuat masyarakat tetap bertahan meski banjir terjadi (Wulandari & Ikaputra, 2023).

Kondisi ini menegaskan perlunya pendekatan inovatif yang mengintegrasikan desain arsitektur adaptif dan penataan lanskap untuk meningkatkan ketahanan permukiman tepian sungai. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik banjir di bantaran Sungai Tuweley dan mengidentifikasi faktor kerentanan utama, termasuk curah hujan tinggi, sistem drainase yang tidak memadai, dan kondisi fisik kawasan.



Gambar 1. Profil Pemukiman Hasil Survei, Pengelolaan Data dan Verifikasi Lapangan Kawasan Tuweley

Sebagai alternatif solusi, diterapkan konsep arsitektur amfibi yang memungkinkan bangunan menyesuaikan diri terhadap fluktuasi muka air melalui sistem yang responsif terhadap lingkungan. Pendekatan ini dipadukan dengan rekayasa lanskap adaptif yang ditujukan untuk menekan risiko banjir sekaligus meningkatkan kapasitas infiltrasi air. Implementasi strategi mencakup pengaturan dimensi sungai (lebar 50–70 m, kedalaman 3 m, tinggi tanggul 1 m) serta penanaman vegetasi multifungsi—berperan sebagai peneduh, pelindung, dan penutup tanah—guna mengurangi erosi, longsor, dan limpasan permukaan (Purwono & Mustika, 2018).

Meskipun demikian, upaya penerapan solusi ini harus mempertimbangkan kondisi eksisting kawasan yang masih menghadapi berbagai keterbatasan infrastruktur dan tata ruang. Saat ini, sistem drainase permukiman belum berfungsi optimal sesuai Standar Pelayanan Minimal (SPM). Akibatnya, jaringan drainase tidak mampu menampung debit air normal terutama pada musim hujan, sehingga genangan maupun banjir kerap terjadi. Dari sisi aksesibilitas, jalan utama di Kelurahan Tuweley (ditandai merah pada peta) masih dapat dilalui kendaraan bermotor seperti mobil, sepeda motor, maupun becak bermotor (betor). Akan tetapi, akses menuju permukiman di tepi sungai tidak memungkinkan dilalui mobil atau betor. Beberapa gang kecil hanya bisa dilewati sepeda motor atau sepeda, sementara sebagian lainnya bahkan hanya dapat diakses dengan berjalan kaki karena koridor jalan sangat sempit dengan lebar rata-rata sekitar 1,5 meter.



Gambar 2. Kondisi Eksisting Kawasan Tuweley

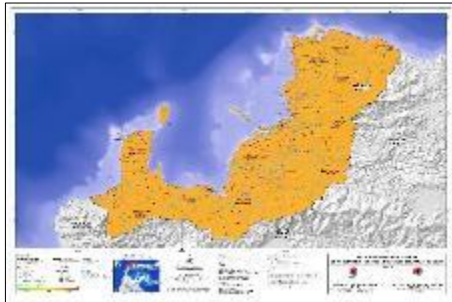
Melalui integrasi arsitektur amfibi dan rekayasa lanskap berbasis ekologi, diharapkan tercipta lingkungan permukiman yang lebih tangguh, berkelanjutan, dan mampu beradaptasi terhadap ancaman banjir di masa depan. Namun, kondisi eksisting yang memprihatinkan menunjukkan bahwa upaya mitigasi tidak hanya memerlukan inovasi desain, tetapi juga peningkatan kesadaran masyarakat (Zhou et al., 2024). Oleh karena itu, penting bagi masyarakat untuk memahami langkah-langkah antisipasi dan mitigasi dalam merespons banjir rob yang datang secara tiba-tiba, terutama terkait dengan rumah atau tempat tinggal. Sebagai langkah awal, pengenalan karakteristik banjir di wilayah terdampak menjadi hal mendasar yang harus dilakukan sebelum merancang strategi penanganan yang tepat.

METODE

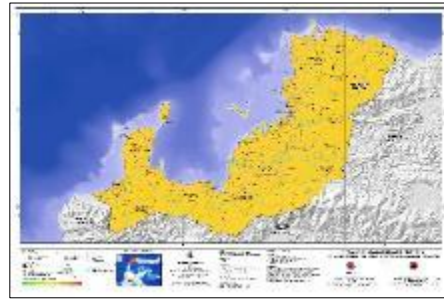
Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari Mei hingga September 2025 di Kelurahan Tuweley, Tolitoli. Metode yang digunakan mencakup tiga tahap utama:

1. Analisis Kerentanan: Menggunakan pemetaan GIS dan simulasi HEC-RAS untuk menilai kondisi topografi, hidrologi, dan kerentanan banjir di lokasi (Tolitoli, 2023).



Gambar 3. Peta Kerentanan Banjir
Sumber: RTRW Kab. Tolitoli 2024-2029



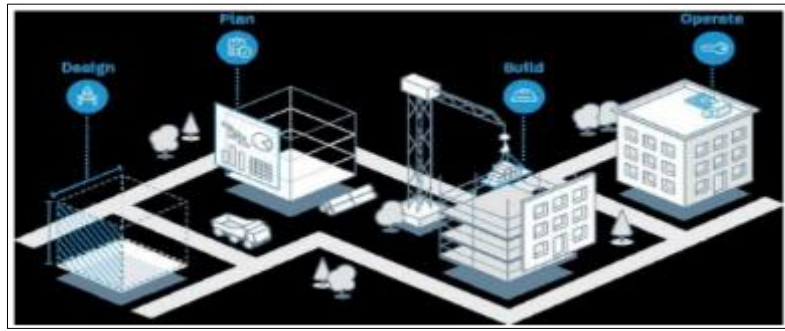
Gambar 4. Peta Kerentanan Cuaca Ekstrem
Sumber: RTRW Kab. Tolitoli 2024-2029

2. Perancangan Partisipatif: Melibatkan masyarakat lokal melalui Focus Group Discussions (FGD) untuk menggabungkan kearifan lokal dalam desain.



Gambar 5 : Focus Group Discussions (FGD) Kel. Tuweley

3. Uji Prototipe: Menggunakan simulasi perangkat lunak seperti HEC-RAS dan Building Information Modeling (BIM) untuk menguji kinerja desain pada skenario banjir 5, 25, dan 50 tahun. Uji lapangan skala kecil juga dilakukan untuk validasi (Tsikas et al., 2025)



Gambar 6. Contoh perencanaan menggunakan Software Autodesk Construction Cloud (BIM360)
(Sumber: Digital Transformation Indonesia, 2024)

Bahan Penelitian

Studi ini memanfaatkan dua jenis bahan penelitian utama, yakni bahan primer dan bahan sekunder, yang saling melengkapi dalam mendukung kajian tentang Inovasi Arsitektur Amfibi dan Rekayasa Lanskap Adaptif guna memperkuat ketahanan permukiman terhadap banjir di bantaran Sungai Tuweley.

Bahan Primer

Bahan yang diperoleh langsung dari lapangan atau hasil pengukuran/survei), Bahan ini mencakup:

- 1) Data Hidrologi & Meteorologi
 - Curah hujan harian, bulanan, dan tahunan di Tolitoli.
 - Data frekuensi dan durasi hujan ekstrem (BMKG).
 - Data tinggi muka air sungai selama peristiwa banjir.
- 2) Data Geospasial
 - Peta topografi dan kontur bantaran Sungai Tuweley.
 - Peta tata guna lahan dan RTRW Tolitoli.
 - Peta jaringan drainase eksisting.
- 3) Data Lapangan
 - Pengukuran tinggi genangan banjir.
 - Observasi kondisi material bangunan.
 - Pengukuran permeabilitas tanah.
 - Dokumentasi foto/video kondisi permukiman.
- 4) Data Sosial & Partisipatif
 - Hasil kuesioner masyarakat terkait pengalaman banjir.
 - Wawancara dengan tokoh masyarakat dan aparat desa.
 - Notulensi Focus Group Discussion (FGD) untuk perancangan desain.

A. Bahan Sekunder

Bahan yang berasal dari literatur, dokumen resmi, dan penelitian sebelumnya. Bahan ini mencakup:

- 1) Data Hidrologi & Meteorologi
 - Curah hujan harian, bulanan, dan tahunan di Tolitoli.
 - Data frekuensi dan durasi hujan ekstrem (BMKG).
 - Data tinggi muka air sungai selama peristiwa banjir.
- 2) Data Geospasial
 - Peta topografi dan kontur bantaran Sungai Tuweley.
 - Peta tata guna lahan dan RTRW Tolitoli.
 - Peta jaringan drainase eksisting.
- 3) Data Lapangan
 - Pengukuran tinggi genangan banjir.
 - Observasi kondisi material bangunan.
 - Pengukuran permeabilitas tanah.
 - Dokumentasi foto/video kondisi permukiman.

4) Data Sosial & Partisipatif

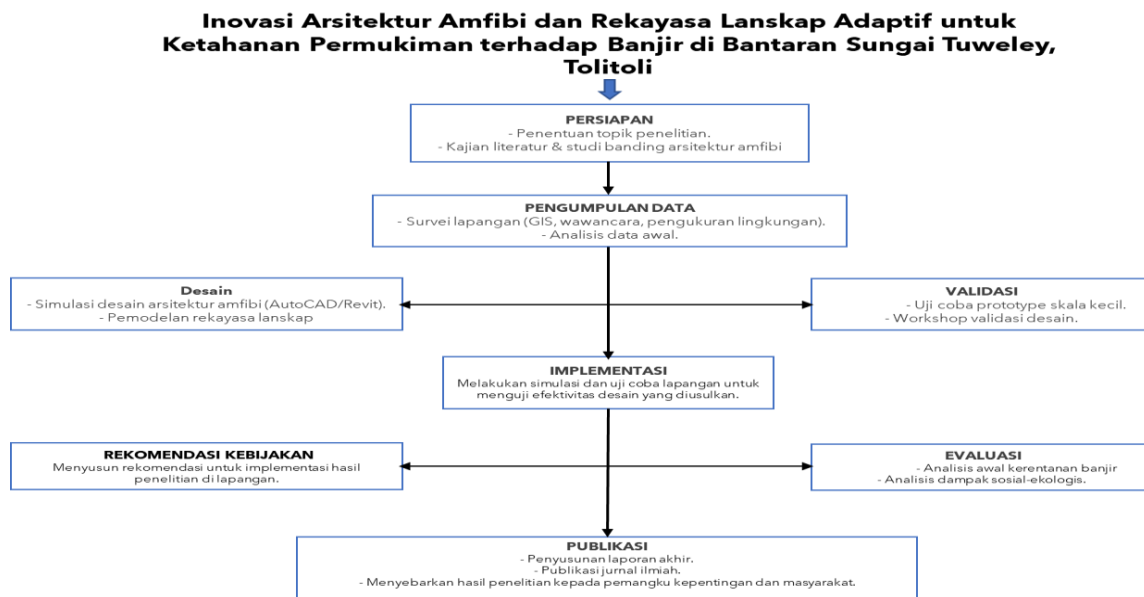
- Hasil kuesioner masyarakat terkait pengalaman banjir.
- Wawancara dengan tokoh masyarakat dan aparat desa.
- Notulensi Focus Group Discussion (FGD) untuk perancangan desain

Rancangan penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan eksperimental untuk merancang inovasi arsitektur amfibi dan rekayasa lanskap adaptif dalam meningkatkan ketahanan permukiman terhadap banjir di Bantaran Sungai Tuweley, Tolitoli. Tahapan dimulai dari studi literatur dan survei lapangan mencakup pengukuran genangan, analisis topografi, daya serap tanah, serta wawancara masyarakat. Eksperimen prototipe rumah panggung dan mengapung diuji melalui simulasi banjir berbasis BIM. Rekayasa lanskap adaptif mencakup bioretensi, rawa buatan, dan vegetasi penahan erosi (Del Duca et al., 2022). Data dianalisis secara statistik untuk menilai efektivitas desain. Hasilnya berupa model, analisis dampak, dan rekomendasi kebijakan mitigasi banjir.

Prosedur Kerja

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama. Tahap pertama adalah persiapan, meliputi studi literatur tentang banjir, kebijakan tata ruang, dan arsitektur amfibi, disertai pengajuan izin serta penyiapan alat dan perangkat lunak. Tahap kedua, pengumpulan data lapangan, mencakup survei, pengukuran tinggi genangan, analisis topografi, uji daya serap tanah, pemetaan kerentanan banjir berbasis GIS, serta pelaksanaan wawancara dan kuesioner kepada masyarakat. Tahap ketiga, perancangan desain, mencakup pengembangan konsep arsitektur amfibi (rumah panggung dan rumah mengapung) dengan pemodelan 3D berbasis BIM, simulasi hidrodinamika menggunakan HEC-RAS, serta perencanaan rekayasa lanskap adaptif seperti bioretensi, rawa buatan, dan vegetasi penahan erosi (Wang et al., 2022). Tahap keempat adalah eksperimen dan analisis, berupa pengujian prototipe skala kecil, analisis statistik (regresi linier, uji t), evaluasi, revisi desain, serta diseminasi hasil melalui laporan, publikasi ilmiah, seminar, dan rekomendasi kebijakan.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Analisis data

Pengumpulan Data

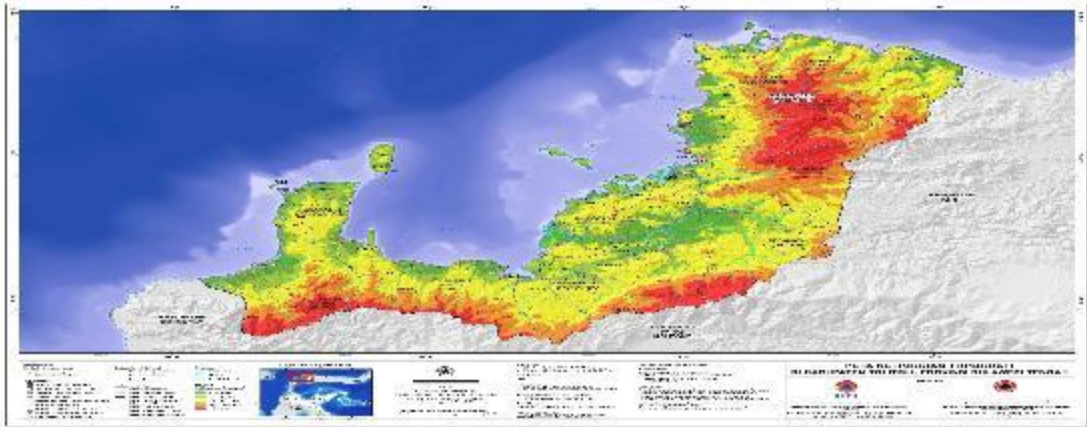
Tahap pengumpulan data pada penelitian Inovasi Arsitektur Amfibi dan Rekayasa Lanskap Adaptif untuk Ketahanan Permukiman terhadap Banjir di Bantaran Sungai Tuweley, Tolitoli dilakukan secara integratif melalui survei lapangan untuk mengukur tinggi, luas, durasi, dan sebaran genangan banjir pada puncak musim hujan, analisis topografi menggunakan GIS, drone mapping, dan DEM untuk menghasilkan peta kontur, peta penggunaan lahan, peta jaringan drainase eksisting, topografi Kecamatan Baolan (Annis et al., 2020), serta peta kemiringan lereng Kecamatan Baolan, uji permeabilitas tanah dengan metode in-situ untuk menentukan kapasitas infiltrasi sebagai dasar perancangan bioretensi, rawa buatan, dan vegetasi penahan erosi, serta

pengumpulan data hidrologi dan meteorologi yang mencakup curah hujan harian, bulanan, dan tahunan di Tolitoli, data frekuensi dan durasi hujan ekstrem untuk menyusun kurva IDF dan skenario periode ulang banjir, data tinggi muka air sungai (water level/stage) untuk menilai elevasi genangan maksimum, dan data hidrometri berkejadian banjir (event data) seperti banjir besar tahun 2009, 2017, dan 2023 untuk kalibrasi model hidrodinamika(Butcher & Zi, 2019);

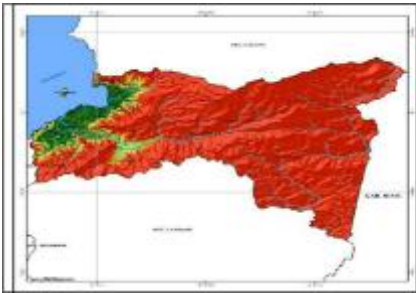
Tabel 1. Data hidrometri berkejadian banjir (event data)

Tahun	Tanggal Kejadian	Curah Hujan (mm)	Durasi Hujan (jam)	Tinggi Air (m)	Debit Sungai (m³/s)	Sumber Data
2009	15/06/2009	180	12	2,0	150	BMKG / BPBD
2017	23/07/2017	250	18	4,0	320	BMKG / BPBD
2023	12/03/2023	220	14	3,5	280	BMKG / BWS / Laporan Lapangan

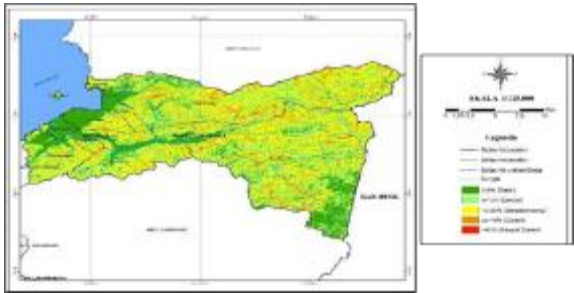
Selain itu, Kecamatan Baolan sebagai pusat pemerintahan Kabupaten Tolitoli memiliki topografi yang bervariasi, dengan bagian utara dan barat berupa perbukitan bergelombang dan elevasi relatif tinggi, sementara bagian tengah hingga selatan yang mencakup Kelurahan Tuweley, Baru, Nalu, dan Panasakan didominasi dataran rendah atau floodplain dengan ketinggian sekitar 5–25 mdpl sehingga sangat rentan terhadap genangan banjir. Berdasarkan klasifikasi kemiringan lereng, wilayah Baolan terdiri atas lereng datar 0–2% yang dominan di pesisir dan dataran banjir, lereng landai 2–8% di sebagian besar kawasan permukiman, lereng agak curam 8–15% di area transisi, serta lereng curam >15% di perbukitan hulu yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air. Kondisi lereng curam di hulu mempercepat limpasan menuju dataran rendah, sementara topografi datar di pusat Baolan memperlambat aliran dan meningkatkan risiko genangan akibat kapasitas infiltrasi dan drainase yang terbatas(Muthusamy et al., 2021). Kombinasi karakter topografi dan kemiringan ini menjadikan Baolan sangat rawan banjir, sehingga data kontur, DEM, dan peta kemiringan lereng penting digunakan dalam pemodelan hidrodinamika (HEC-RAS), penentuan zona rawan banjir, perancangan rumah amfibi, serta konfigurasi lanskap adaptif seperti bioretensi, rawa buatan, dan vegetasi penahan erosi(Muthusamy et al., 2021). Seperti terlihat pada peta di bawah ini :



Gambar 8. Peta Ketinggian Topografi Kabupaten Tolitoli
 Sumber: RTRW Kabupaten Tolitoli Tahun 2023-2042



Gambar 9. Topografi Kecamatan Baolan

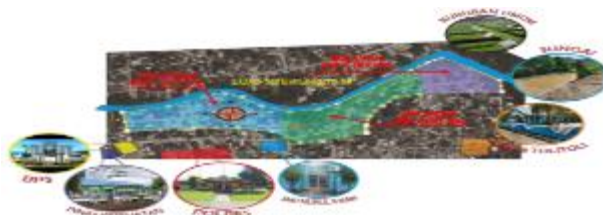


Gambar 10. Peta kemiringan lereng Kecamatan Baolan

Selanjutnya, partisipasi masyarakat dalam desain diwujudkan melalui penyajian berbagai alternatif rancangan, antara lain perbandingan rumah panggung dan rumah terapung (Rahman et al., 2025), variasi vegetasi, serta tata letak bioretensi dan rawa buatan dalam forum FGD (Focus Group Discussion), yang kemudian diperkaya dengan masukan warga terkait bentuk, material, dan fungsi tambahan seperti ruang usaha maupun ruang komunal. Hasil proses partisipatif ini menjadi dasar penentuan desain akhir rumah amfibi dan sistem lanskap adaptif yang paling sesuai dengan kondisi Tuweley, yang selanjutnya difinalisasi ke dalam dokumen teknis berupa gambar kerja, spesifikasi material, estimasi biaya, dan rencana implementasi, serta dipersiapkan sebagai prototipe uji skala kecil sebelum diterapkan secara nyata di lapangan.

Desain Kawasan Prototipe Arsitektur Amfibi dan Rekayasa Lanskap

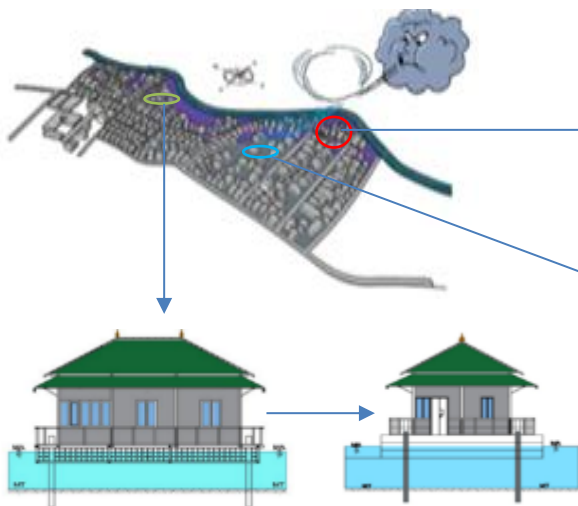
Tahap desain prototipe arsitektur amfibi dan rekayasa lanskap pada penelitian ini mencakup perancangan rumah amfibi, rumah mengapung, serta sistem lanskap adaptif berbasis prinsip *Low Impact Development* (LID) menggunakan teknologi *Building Information Modeling* (BIM),(Jamal et al., 2025) untuk memastikan ketahanan terhadap beban dinamis air dan arus Sungai Tuweley, dengan mempertimbangkan efisiensi biaya agar desain tetap terjangkau dan dapat diterima masyarakat setempat.



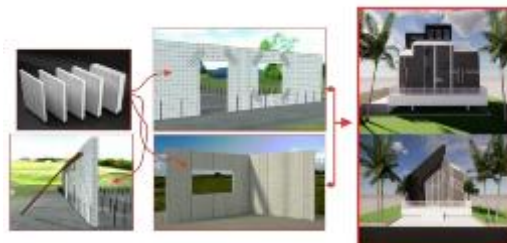
Gambar 11. Desain Kawasan Prototipe Arsitektur Amfibi dan Rekayasa Lanskap

Eksperimen Prototipe Arsitektur Amfibi

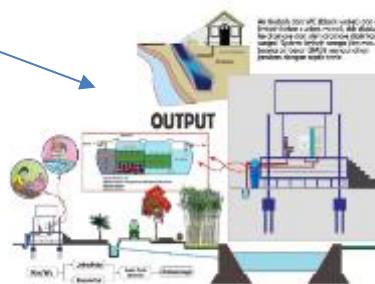
Tahap eksperimen prototipe arsitektur amfibi dilakukan dengan menguji desain melalui simulasi banjir menggunakan perangkat lunak HEC-RAS dan Building Information Modeling (BIM) untuk mengevaluasi kinerja struktur sebelum pembangunan fisik, sehingga dapat menghemat biaya dan waktu, dengan pengujian mencakup berbagai skenario banjir berperiode ulang 5, 25, dan 50 tahun, serta dilengkapi uji lapangan skala kecil untuk memastikan kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi nyata di lokasi penelitian.



Gambar 12 Desain Modeling dua



Gambar 13. Desain Modeling Satu



Gambar 14. Desain Air Limbah {Sanitasi}

Eksperimen Rekayasa Lanskap Adaptif dan Analisis Data

Tahap eksperimen rekayasa lanskap adaptif dan analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan menguji sistem bioretensi, rawa buatan, dan vegetasi penahan erosi sebagai penerapan nature-based solutions yang diakui secara global(Cansian et al., 2025), disertai pengukuran infiltration rate untuk memastikan efektivitas bioretensi sesuai karakteristik permeabilitas tanah di bantaran Sungai Tuweley, kemudian seluruh

hasil uji dianalisis secara kuantitatif untuk menilai kinerja sistem dalam mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan kapasitas resapan, sambil merancang rencana pemeliharaan berbasis komunitas agar instalasi lanskap adaptif dapat berfungsi optimal dan berkelanjutan.

Tabel 2. Skenario Analisis Data Rekayasa Lanskap Adaptif

Tahap Eksperimen	Metode / Instrumen	Data yang Dikumpulkan	Indikator Kinerja	Analisis	Rencana Pemeliharaan
Uji Sistem Bioretensi	Infiltration test (double ring infiltrometer)	Laju infiltrasi (cm/jam), kadar air tanah	Permeabilitas tanah, kapasitas resapan	Analisis kuantitatif perbandingan infiltrasi sebelum & sesudah instalasi	Pembersihan sedimen, penanaman ulang vegetasi penyaring
Uji Vegetasi Penahan Erosi	Plot pengamatan tebing sungai, erosion pins	Laju kehilangan tanah, ketebalan erosi, kerapatan akar	Stabilitas tebing sungai	Perbandingan laju erosi dengan dan tanpa vegetasi	Perawatan vegetasi lokal (penyiraman, penanaman ulang)



Gambar 15. Rekayasa Lanskap Adaptif

Penyusunan Rekomendasi Kebijakan

Kebijakan yang dihasilkan dari penelitian ini mencakup tiga tingkatan, yakni kabupaten, provinsi/nasional, dan masyarakat. Pada tingkat Kabupaten Tolitoli, diperlukan penetapan zonasi permukiman adaptif banjir dalam RTRW untuk memisahkan kawasan hunian rawan tinggi, pemberian insentif pembangunan rumah amfibi melalui subsidi material atau kredit perumahan adaptif, integrasi lanskap adaptif berupa bioretensi, rawa buatan, dan sabuk hijau sungai ke dalam rencana tata ruang, serta pelaksanaan program padat karya berbasis komunitas untuk pemeliharaan lanskap adaptif seperti pembersihan bioretensi dan penanaman ulang vegetasi(Chang et al., 2024). Pada tingkat provinsi maupun nasional, kebijakan diarahkan pada pengakuan arsitektur amfibi sebagai opsi resmi mitigasi banjir dalam kebijakan perumahan, penyusunan standar teknis rumah amfibi tipe panggung dan terapung dalam SNI, penyediaan dukungan anggaran pusat untuk proyek percontohan di Tolitoli, serta mendorong kolaborasi lintas sektor yang melibatkan BMKG, PUPR, BRIN, akademisi, dan komunitas lokal. Sementara itu, pada tingkat masyarakat, strategi yang disarankan meliputi sosialisasi konsep rumah amfibi dan lanskap adaptif, pembentukan kelompok pemelihara lanskap adaptif berbasis RW atau kelurahan, serta penyelenggaraan pelatihan keterampilan konstruksi adaptif bagi tukang lokal agar implementasi inovasi dapat berkelanjutan dan sesuai dengan kebutuhan warga(Gnecco et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Arsitektur Amfibi

Konsep arsitektur amfibi yang dikembangkan dalam penelitian ini menawarkan dua tipe utama, yaitu rumah panggung dan rumah terapung. Rumah panggung dirancang dengan pondasi tiang setinggi 3–4 meter, sehingga memiliki kestabilan yang baik terhadap arus sungai dengan kecepatan hingga 1,5 m/s. Sementara itu, rumah terapung menggunakan sistem ponton berbahan HDPE yang memungkinkan bangunan bergerak mengikuti perubahan muka air(Ebro et al., 2024). Meskipun fleksibel, tipe ini memerlukan sistem penambat yang diperkuat agar tetap aman ketika menghadapi arus lebih dari 1,2 m/s. Kedua desain kemudian diuji melalui simulasi menggunakan Building Information Modeling (BIM) dan perangkat lunak hidrodinamika

HEC-RAS. Hasil uji memperlihatkan bahwa baik rumah panggung maupun rumah terapung memiliki kemampuan adaptasi dan ketahanan yang memadai terhadap skenario banjir dengan periode ulang 5, 25, hingga 50 tahun (Jeong et al., 2024) (Charoenchai & Bhaktikul, 2020). Temuan ini menegaskan bahwa desain amfibi berpotensi menjadi solusi efektif untuk meningkatkan ketahanan permukiman di kawasan rawan banjir.

Rekayasa Lanskap Adaptif

Sebagai bagian dari pendekatan lanskap adaptif, penelitian ini mengembangkan beberapa sistem untuk mengurangi dampak banjir dan memperbaiki kualitas ekosistem. Bioretention basin yang diterapkan mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi air hingga 45% dibandingkan kondisi awal, membantu mempercepat penyerapan air hujan. Sementara itu, rawa buatan berfungsi untuk menurunkan puncak limpasan hujan hingga 30%, mengurangi potensi banjir akibat hujan ekstrem (Widodo, 2025). Selain itu, penggunaan vegetasi penahan erosi, seperti vetiver dan bambu lokal, terbukti efektif dalam mengurangi sedimentasi di tepi sungai hingga 25%. Dengan mengintegrasikan ketiga elemen tersebut, sistem lanskap adaptif ini tidak hanya mengurangi limpasan permukaan, tetapi juga memperkuat kemampuan ekosistem bantaran sungai dalam menghadapi perubahan iklim dan ancaman banjir. Pendekatan berbasis alam ini memberikan solusi berkelanjutan yang dapat diadaptasi pada berbagai kawasan rawan banjir (Wicaksono et al., 2025).

Integrasi Arsitektur–Lanskap

Integrasi antara arsitektur amfibi dan rekayasa lanskap adaptif memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengatasi permasalahan banjir. Penerapan rumah amfibi tidak hanya berfungsi sebagai perlindungan bangunan dari genangan, tetapi ketika dipadukan dengan sistem lanskap adaptif, juga mampu meningkatkan daya serap air kawasan secara signifikan. Dengan demikian, solusi yang dihasilkan tidak hanya bersifat struktural, tetapi juga ekologis dan berkelanjutan (Sedyowati et al., 2023). Dari sisi ekonomi, hasil analisis biaya-manfaat memperlihatkan bahwa pembangunan rumah amfibi membutuhkan investasi awal sekitar 25–35% lebih tinggi dibandingkan rumah konvensional. Namun, tambahan biaya tersebut bersifat sementara, karena dalam jangka menengah dapat terkompensasi melalui penghematan biaya perbaikan akibat kerusakan pasca-banjir. Estimasi menunjukkan pengembalian nilai investasi dapat tercapai dalam kurun waktu 5–7 tahun. Hal ini menegaskan bahwa integrasi arsitektur–lanskap tidak hanya layak secara teknis dan ekologis, tetapi juga efisien dalam perspektif ekonomi jangka panjang (Kousky et al., 2013).

Aspek Sosial dan Partisipatif

Aspek sosial menjadi faktor penting dalam penerapan konsep arsitektur amfibi dan lanskap adaptif. Hasil survei menunjukkan bahwa sekitar 65% masyarakat menyatakan kesediaannya untuk mengadopsi rumah amfibi, asalkan biaya konstruksi masih dalam batas terjangkau. Temuan ini memperlihatkan adanya potensi penerimaan yang cukup tinggi, sekaligus menegaskan pentingnya perhitungan biaya agar inovasi dapat benar-benar diterapkan di lapangan (Candra Partarini & Wirastri, 2024).

Selain itu, proses partisipasi masyarakat juga memberikan kontribusi nyata dalam perancangan desain. Melalui diskusi kelompok terarah (FGD), diperoleh rancangan yang mengakomodasi kearifan lokal, baik dalam pemilihan material maupun bentuk struktur bangunan. Pendekatan partisipatif ini tidak hanya memperkuat legitimasi desain, tetapi juga meningkatkan rasa kepemilikan masyarakat terhadap hasil pembangunan. Dengan demikian, integrasi aspek sosial dan partisipatif memastikan bahwa konsep rumah amfibi tidak sekadar menjadi solusi teknis, melainkan juga sesuai dengan kebutuhan, budaya, dan kemampuan masyarakat setempat.

Penelitian ini menghasilkan temuan teknis dan sosial yang menunjukkan potensi besar penerapan arsitektur amfibi dan rekayasa lanskap adaptif di bantaran Sungai Tuweley. Dari sisi desain bangunan, dikembangkan dua model rumah amfibi. Tipe rumah panggung menggunakan pondasi tiang setinggi 3–4 meter, terbukti stabil menghadapi arus hingga 1,5 m/s (Charoenchai & Bhaktikul, 2020). Sementara itu, tipe rumah terapung berbasis ponton HDPE mampu menyesuaikan diri dengan fluktuasi muka air, meskipun memerlukan sistem penambat yang diperkuat pada arus lebih besar dari 1,2 m/s (Ebro et al., 2024). Uji

simulasi dengan Building Information Modeling (BIM) dan HEC-RAS menunjukkan kedua tipe rumah dapat bertahan pada skenario banjir dengan periode ulang 5, 25, hingga 50 tahun (Jeong et al., 2024).

Dari sisi lanskap, sistem adaptif yang diterapkan terbukti efektif. Bioretention basin meningkatkan kapasitas infiltrasi hingga 45%, rawa buatan mampu menurunkan puncak limpasan hujan sebesar 30%, dan vegetasi penahan erosi seperti vetiver serta bambu lokal berhasil mengurangi sedimentasi tepi sungai hingga 25% (Wicaksono et al., 2025). Temuan ini menegaskan bahwa rekayasa lanskap berbasis ekologi berperan penting dalam mengurangi limpasan permukaan sekaligus memperkuat fungsi ekosistem bantaran sungai.

Integrasi antara rumah amfibi dan lanskap adaptif menghasilkan solusi holistik. Tidak hanya melindungi bangunan dari risiko banjir, tetapi juga meningkatkan daya serap kawasan secara menyeluruh. Analisis biaya-manfaat menunjukkan investasi awal pembangunan rumah amfibi lebih tinggi 25–35% dibandingkan rumah konvensional. Namun, biaya tambahan tersebut dapat dikompensasi dalam jangka waktu 5–7 tahun melalui penghematan dari kerusakan pasca-banjir. Hal ini menunjukkan bahwa solusi yang ditawarkan layak secara teknis, ekologis, maupun ekonomis (Ameh et al., 2024).

Selain aspek teknis, faktor sosial dan partisipatif turut berperan penting. Hasil survei memperlihatkan 65% masyarakat bersedia mengadopsi konsep rumah amfibi jika biaya pembangunan dapat dijangkau. Lebih jauh, diskusi kelompok terarah (FGD) melahirkan rancangan desain yang mengakomodasi kearifan lokal, baik dalam pemilihan material maupun bentuk bangunan (Candra Partarini & Wirastri, 2024). Dengan melibatkan masyarakat, inovasi yang dikembangkan tidak hanya solutif secara teknis, tetapi juga sesuai dengan kebutuhan, budaya, dan kemampuan ekonomi warga setempat (Kiswoyo et al., 2025).

KESIMPULAN

Penelitian Inovasi Arsitektur Amfibi dan Rekayasa Lanskap Adaptif untuk Ketahanan Permukiman terhadap Banjir di Bantaran Sungai Tuweley, Tolitoli membuktikan bahwa kombinasi desain bangunan adaptif dan intervensi lanskap berbasis alam mampu secara signifikan mengurangi kerentanan kawasan terhadap banjir. Data lapangan menunjukkan bahwa banjir di Tuweley memiliki kedalaman 1,2–4 meter dengan kapasitas infiltrasi tanah rendah, sehingga memerlukan solusi struktural dan ekologis yang saling melengkapi.

Prototipe rumah amfibi tipe panggung dan tipe terapung yang dirancang menggunakan Building Information Modeling (BIM) terbukti mampu bertahan pada skenario banjir berperiode ulang hingga 50 tahun, dengan tipe panggung unggul pada kestabilan struktural dan tipe terapung unggul pada fleksibilitas terhadap fluktuasi muka air. Sementara itu, sistem lanskap adaptif berupa bioretention basin, rawa buatan, dan vegetasi penahan erosi meningkatkan kapasitas infiltrasi hingga 45%, menurunkan puncak limpasan 30%, dan mengurangi sedimentasi tepi sungai sebesar 25%.

Integrasi kedua pendekatan ini tidak hanya memberikan dampak teknis yang positif, tetapi juga memiliki kelayakan sosial dan ekonomi, di mana 65% masyarakat bersedia mengadopsi rumah amfibi, dan analisis biaya-manfaat menunjukkan bahwa selisih biaya konstruksi dapat terkompensasi melalui penghematan kerusakan pasca-banjir dalam waktu 5–7 tahun. Dengan demikian, penelitian ini merekomendasikan penerapan zonasi permukiman adaptif banjir, pemberian insentif pembangunan rumah amfibi, serta pengintegrasian lanskap adaptif ke dalam kebijakan tata ruang sebagai strategi mitigasi bencana yang berkelanjutan di Kabupaten Tolitoli.

Daftar Pustaka

- Ameh, H., Badarnah, L., & Lamond, J. (2024). Amphibious Architecture: A Biomimetic Design Approach to Flood Resilience. *Sustainability (Switzerland)*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/su16031069>
- Annis, A., Nardi, F., Petroselli, A., Apollonio, C., Arcangeletti, E., Tauro, F., Belli, C., Bianconi, R., & Grimaldi, S. (2020). UAV-DEMs for small-scale flood hazard mapping. *Water (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/w12061717>
- Butcher, J. B., & Zi, T. (2019). *Efficient Method for Updating IDF Curves to Future Climate Projections*. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-02963-y>
- Candra Partarini, N. M., & Wirastri, M. V. (2024). Community-Based Flood Resilience: Upaya Mitigasi Banjir Kawasan Semi-Perkotaan Berbasis Nature Based Solution. *Jurnal Atma Inovasia*, 4(2), 52–59. <https://doi.org/10.24002/jai.v4i2.8692>
- Cansian, A. R., Guzmán, D. A., Rosa, A., & de Toledo Machado, J. (2025). Nature-Based Solutions for Urban Drainage: A Systematic Review of Sizing and Monitoring Methods. *Water (Switzerland)*, 17(17), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w17172524>
- Chang, C. H., Erbaugh, J. T., Fajardo, P., Lu, L., Molnár, I., Papp, D., Robinson, B. E., Austin, K., Cook-Patton, S.,

- Kroeger, T., Smart, L., Castro, M., Cheng, S. H., Ellis, P. W., McDonald, R. I., Garg, T., Poor, E. E., Welker, P., Tilman, A. R., ... Masuda, Y. J. (2024). *A global evidence map of human well-being and biodiversity co-benefits and trade-offs of natural climate solutions*. 1–2. <http://arxiv.org/abs/2405.00079>
- Charoenchai, O., & Bhaktikul, K. (2020). Structural durability assessment of stilt houses to flash flooding: Case study of flash flood-affected sites in Thailand. *Environment and Natural Resources Journal*, 18(1), 85–100. <https://doi.org/10.32526/ennrj.18.1.2020.09>
- Del Duca, G., Rocha, G., Orszt, M., & Mateus, L. (2022). A Preliminary Contribution towards a Risk-Based Model for Flood Management Planning Using BIM: A Case Study of Lisbon. *Sensors*, 22(19). <https://doi.org/10.3390/s22197456>
- Ebro, T. J., Ambay, J., Antolino, T. J., Ursua, J. R., & Borlan, A. (2024). Flash Flood-Resilient House Design: A Step towards Climate Adaptation. *European Modern Studies Journal*, 8(1), 161–174. [https://doi.org/10.59573/emsj.8\(1\).2024.15](https://doi.org/10.59573/emsj.8(1).2024.15)
- Gnecco, I., Pirlone, F., Spadaro, I., Bruno, F., Lobascio, M. C., Sposito, S., Pezzagno, M., & Palla, A. (2024). Participatory Mapping for Enhancing Flood Risk Resilient and Sustainable Urban Drainage: A Collaborative Approach for the Genoa Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/su16051936>
- Harahap, R., Jeumpa, K., & Rahmadani, S. (2020). Mitigasi Banjir Pada Sistem Drainase. *Semnastek UISU*, 1(1), 41–45.
- Ilmuddin, I., & Putra, P. A. (2022). Perancangan Prototipe Pendeteksi Banjir Berbasis Internet of Things (Iot). *Tolis Ilmiah: Jurnal Penelitian*, 4(2), 121–129. <https://doi.org/10.56630/jti.v4i2.246>
- Jamal, M., Alkaz, M. J., & Sagres, C. B. (2025). *Implementation of 5D Building Information Modelling (BIM) Concept Using Autodesk Ecosystem*. *Ictrops 2024*, 426–437. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-732-8_39
- Jeong, C., Chegal, S. D., Kim, D. H., & Lee, S. O. (2024). Comparison of FLUMEN and HEC-RAS 2D Models for Flash Flood Inundation in Urban Landscape. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 28, 55–66. <https://doi.org/10.46604/peti.2024.13794>
- Kiswoyo, G. P., Suwitri, S., & Yuniningsih, T. (2025). Social Capital in Dealing with Flood Disasters in Genuk Sub-District. *Semarang City. PERSPEKTIF*, 14(1), 122–132. <https://doi.org/10.31289/perspektif.v14i1.13327>
- Kousky, C., Olmstead, S. M., Walls, M. A., & MacAuley, M. (2013). Strategically placing green infrastructure: Cost-effective land conservation in the floodplain. *Environmental Science and Technology*, 47(8), 3563–3570. <https://doi.org/10.1021/es303938c>
- Muthusamy, M., Casado, M. R., Butler, D., & Leinster, P. (2021). Understanding the effects of Digital Elevation Model resolution in urban fluvial flood modelling. *Journal of Hydrology*, 596(January). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126088>
- Purwono, R., & Mustika, L. (2018). Rekayasa lansekap untuk penanganan banjir (studi kasus: Bukit Duri, Kampung Pulo, Kampung Melayu dan Kali Bata Jakarta). *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan*, 8(3), 32–39.
- Rahman, M., Mamun, M., Hasan, N., Abdullah, H., Imon, I., Paul, G., Sammo, S., Islam, A.-R., Alif, S., Pramanik, F., Tamme, S., Sakib, S., Hossain, K., Rofi, M., & Rabbee, T. (2025). Flood-Resistant Sustainable Housing in Jamalpur District, Bangladesh. *Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering*, 10(2), 75–80. <https://doi.org/10.11648/j.jccee.20251002.13>
- Sedyowati, L., Yuniarti, S., & Sufiyanto, S. (2023). Is local wisdom able to build sustainable communities in informal flood-prone settlements? Evidence from Glintung Kampong, Malang City, Indonesia. *Local Wisdom : Jurnal Ilmiah Kajian Kearifan Lokal*, 15(1), 41–52. <https://doi.org/10.26905/lw.v15i1.9008>
- Tolitoli, B. (2023). *Perda_Nomor_1_Tahun_2023_Tentang_Rtrw*.
- Tsikis, P., Chassiakos, A., & Papadimitropoulos, V. (2025). Watershed-BIM Integration for Urban Flood Resilience: A Framework for Simulation, Assessment, and Planning. *Sustainability (Switzerland)*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/su17177687>
- Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X., & Huang, W. (2022). A review of the flood management: from flood control to flood resilience. *Heliyon*, 8(11), e11763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>
- Wicaksono, E. F., Hidayah, E., & Fildzah, C. A. (2025). Bioretention Design Simulation for Efficient Urban Stormwater Reduction. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 11(1), 69–78. <https://doi.org/10.22146/jcef.12806>
- Widodo, T. (2025). Spatial Approach to Infiltration and Groundwater Level: Implications For Sustainable Settlement Planning. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 16(1), 15–28. <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2025.016.01.03>
- Wulandari, F., & Ikaputra, I. (2023). Pola Adaptasi dalam Upaya Mencapai Resiliensi pada Permukiman Tepian

Sungai di Kota Banjarmasin. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 19(2), 251–263.
<https://doi.org/10.14710/pwk.v19i2.39364>

Zhou, K., Kong, F., Yin, H., Destouni, G., Meadows, M. E., Andersson, E., Chen, L., Chen, B., Li, Z., & Su, J. (2024). Urban flood risk management needs nature-based solutions: a coupled social-ecological system perspective. *Npj Urban Sustainability*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s42949-024-00162-z>