

# Nature-Based Solutions (NbS) as a Sociotechnical Intervention in Urban River Restoration

Prihatin Timur<sup>\*1</sup>, Anisa Cristian Sasmita<sup>2</sup>, Reja Putra Jaya<sup>1</sup>, Ilhan Widiaputra<sup>2</sup>, Mashlihatul Azizah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Studi Akademik, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Semarang, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang Indonesia

Email: [prihatintimur@stekom.ac.id](mailto:prihatintimur@stekom.ac.id); [cristiansasa@gmail.com](mailto:cristiansasa@gmail.com)

\*Corresponding Author

## Abstract

Urban river systems in the developing world are under increasing hydraulic, ecological, and social pressure; rapid urbanization, coupled with the dominance of rigid grey infrastructure, underscores the unsustainable trajectory of their development. The use of NbS in this paper is explored through an urban river rehabilitation project in Western Java, Indonesia. The qualitative study of integrated technological, ecological, and social perspectives was conducted via semi-structured interviews ( $n = 22$ ), field observations, and document analysis. Participants included engineers, planners, government representatives, and local community stakeholders. From a flood-mitigation perspective, the findings indicate that NbS interventions, such as riparian vegetation, bioswales, and ecological pedestrian pathways, enhanced flood-mitigation performance. According to the project's technical documentation and a spatial comparison of comparable rainfall events, an estimated reduction of about 35% in the flooding area was identified. This study positions NbS as a socio-technical intervention within the paradigm of sustainable civil engineering and water-sensitive urban design. However, it also emphasizes contextual knowledge of NbS relevant to urban river management in developing cities.

**Keywords:** NbS, Urban River Restoration, Socio-technical Systems, Ecological Infrastructure, Community Engagement

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan urbanisasi yang cepat telah membawa dampak signifikan terhadap sistem hidrologi alami, terutama pada kawasan perkotaan yang dilalui oleh sungai. Banyak sungai mengalami modifikasi struktur dan alih fungsi bantaran demi mendukung pembangunan infrastruktur, yang sering kali mengabaikan keseimbangan ekologi. Konsekuensinya, fungsi alami sungai sebagai pengendali banjir, penyaring air, dan habitat keanekaragaman hayati menjadi terganggu. Selain itu, pendekatan rekayasa hidraulik tradisional yang menitikberatkan pada struktur buatan seperti betonisasi sungai, bendung tetap, dan saluran tertutup, terbukti kurang adaptif terhadap perubahan iklim dan sering menimbulkan permasalahan lanjutan di wilayah hilir. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan baru yang lebih berkelanjutan dan menyeluruh untuk mengatasi tantangan restorasi sungai di wilayah perkotaan.

Penelitian oleh (Study et al., 2024) melaporkan bahwa diperkirakan lebih dari 75 juta orang di seluruh dunia terdampak negatif oleh banjir, sementara fungsi ekosistem sungai di kota-kota besar menurun akibat pembangunan perkotaan yang tidak terkontrol. Di Asia Tenggara, (Meynell et al., 2021) mencatat bahwa sekitar 48% aliran sungai dalam database HydroSHEDS terganggu oleh berkurangnya konektivitas, sementara sistem sungai perkotaan mengalami penurunan kualitas air,

sedimentasi tinggi, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Saat ini, Indonesia mengalami berbagai masalah kualitas air karena terbatasnya pasokan air ledeng, sehingga konsumsi air tanah meningkat, terutama di ibu kota Jakarta (Ashillah et al., 2025). Fenomena ini menunjukkan urgensi untuk mengadopsi pendekatan alternatif seperti *Nature-Based Solutions* (NbS) yang tidak hanya memperbaiki fungsi hidraulik tetapi juga merevitalisasi kualitas ekologi sungai.

Sejumlah studi telah mengkaji efektivitas pendekatan Solusi Berbasis Alam (NbS) dalam proyek restorasi sungai, seperti penggunaan *riparian buffer zones*, *floodplains reconfiguration*, dan *constructed wetlands*. Menurut penelitian (Enu et al., 2025; Scolobig et al., 2023) dan (Serra-Llobet et al., 2022), proyek restorasi sungai Isar di Munich berhasil mengintegrasikan fungsi ekologis dan rekreasi melalui pendekatan NbS, sekaligus mengurangi risiko banjir secara signifikan. Di sisi lain, studi oleh (Bona et al., 2022; Carvalho et al., 2022) dan (Liu et al., 2021) memperlihatkan bahwa revitalisasi sungai dengan prinsip NbS mampu menghidupkan kembali kawasan perkotaan melalui peningkatan kualitas udara dan penurunan suhu mikroklimat. Meskipun hasil-hasil ini menunjukkan potensi besar, masih terdapat keterbatasan dalam pemahaman aplikatif dan adaptasi NbS pada konteks sungai urban di negara berkembang.

Meskipun pendekatan NbS telah banyak dikaji dalam konteks restorasi sungai, sebagian besar penelitian masih didominasi oleh studi di negara maju yang memiliki dukungan kebijakan, pendanaan, dan kapasitas teknis yang relatif stabil. Sementara itu, penerapan NbS di kawasan perkotaan negara berkembang masih menghadapi berbagai hambatan, seperti keterbatasan ruang, tekanan sosial-ekonomi, serta ketidaksinkronan regulasi antarsektor (Blagojević et al., 2023; Ristić Trajković et al., 2024) dan (Meireles et al., 2022). Selain itu, kajian-kajian terdahulu cenderung berfokus pada aspek teknis atau ekologis semata, tanpa menggali keterkaitan antara efektivitas NbS dengan partisipasi masyarakat dan nilai sosial yang dihasilkan (Nóblega-Carriquiry et al., 2022) dan (King et al., 2023). Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan NbS dalam restorasi sungai di kawasan perkotaan dengan mempertimbangkan dimensi hidraulik, ekologi, dan sosial secara holistik. Studi ini juga akan mengevaluasi faktor-faktor penentu keberhasilan dan hambatan implementasi NbS melalui studi kasus kontekstual, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif untuk replikasi di wilayah perkotaan lainnya.

Penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dan praktis dalam pengembangan pendekatan NbS di bidang rekayasa hidraulik. Dari sisi teoritis, penelitian ini memperluas pemahaman mengenai interaksi antara sistem ekologis dan teknik sipil dalam konteks restorasi sungai. Dari sisi praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi perencana kota, insinyur lingkungan, dan pembuat kebijakan dalam merancang solusi infrastruktur yang berkelanjutan dan adaptif

terhadap perubahan iklim. Studi ini juga menawarkan pendekatan berbasis bukti yang relevan untuk direplikasi di kota-kota berkembang dengan tantangan ekologis serupa. Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: bagaimana pendekatan NbS diimplementasikan dalam konteks restorasi sungai urban di negara berkembang, dan bagaimana dampaknya terhadap dimensi teknis, ekologis, dan sosial secara terpadu?

## **II. LITERATURE REVIEW**

### *A. Konsep Nature-Based Solutions dalam Konteks Rekayasa Hidraulik*

NbS merupakan pendekatan inovatif yang menekankan pemanfaatan proses-proses alami dalam menjawab permasalahan infrastruktur dan lingkungan. Dalam konteks rekayasa hidraulik, NbS tidak hanya berfungsi untuk mengendalikan aliran air dan mengurangi risiko banjir, tetapi juga bertujuan meningkatkan kualitas ekosistem. Upaya tersebut dilakukan melalui restorasi vegetasi, pemulihan lahan basah, dan reintroduksi struktur alami sungai (Gijsman et al., 2021; Rey & Rusu, 2021) dan (Gooden & Pritzlaff, 2021). Pendekatan ini memungkinkan terciptanya sistem pengelolaan air yang lebih adaptif dan berkelanjutan di kawasan perkotaan.

Penerapan NbS menghasilkan manfaat ganda atau *co-benefits* yang mencakup dimensi ekologis dan sosial secara simultan. Pendekatan ini memperkuat kapasitas adaptif kawasan urban terhadap tekanan perubahan iklim dan degradasi lingkungan. Studi oleh (Mannakkara et al., 2022; D. Wang et al., 2024) dan (Kimic & Ostrysz, 2021) menunjukkan bahwa NbS mendorong pengembangan infrastruktur biru-hijau yang fleksibel dan kontekstual. Oleh karena itu, NbS dipandang sebagai paradigma baru dalam pengelolaan air perkotaan yang resilien.

Lebih lanjut, NbS dinilai mampu menjembatani kesenjangan antara solusi berbasis teknologi konvensional dan kebutuhan pemulihan ekologi jangka panjang. Implementasinya mencakup teknik seperti daylighting sungai, penanaman vegetasi riparian, dan pembangunan koridor ekologi yang meningkatkan infiltrasi serta menurunkan suhu lingkungan (Griffiths et al., 2024) dan (Capobianco et al., 2024). Pendekatan ini memberikan fleksibilitas desain karena mempertimbangkan karakteristik ekosistem lokal dan kondisi sosial ekonomi wilayah. Selain itu, NbS berpotensi menekan biaya jangka panjang melalui pengurangan kebutuhan pemeliharaan teknis (Kumar et al., 2021) dan (Ghafourian et al., 2021). Integrasi NbS dalam rekayasa hidraulik kini menjadi fokus utama dalam berbagai inisiatif pembangunan kota berkelanjutan secara global.

### *B. Praktik Restorasi Sungai Berbasis NbS di Wilayah Perkotaan*

Restorasi sungai perkotaan berbasis NbS telah menunjukkan keberhasilan di berbagai konteks geografis. Menurut (Nemoto et al., 2025), proyek pemulihan sungai melalui re-meandering dan perbaikan tepian sungai mampu meningkatkan kapasitas penahan banjir sekaligus memperbaiki

fungsi ekosistem. Selain manfaat hidraulik, proyek tersebut juga menciptakan ruang rekreasi publik dan meningkatkan kualitas visual kawasan. Temuan ini menegaskan bahwa NbS berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan dan ruang kota.

Pendekatan serupa diterapkan di Korea Selatan melalui pembongkaran jalan layang dan pengembalian aliran sungai alami. Proyek tersebut terbukti menurunkan suhu lingkungan dan meningkatkan biodiversitas perkotaan (Jun, 2023) dan (Andersen et al., 2021). Kasus ini menunjukkan bahwa NbS dapat berfungsi sebagai instrumen transformasi spasial dan ekologis. Dengan demikian, NbS tidak hanya diposisikan sebagai solusi teknis, tetapi juga sebagai strategi revitalisasi kota.

Integrasi NbS dalam restorasi sungai semakin meluas seiring meningkatnya perhatian terhadap perubahan iklim dan degradasi ekosistem. Proyek *green infrastructure* di Asia Tenggara menunjukkan bahwa penggabungan ruang hijau dan jalur air alami mampu mengurangi limpasan serta meningkatkan kualitas air (Hamel & Tan, 2021). Di Amerika Serikat, (Ismael et al., 2024) mencatat bahwa kolaborasi lintas sektor dalam program *Urban Waters Federal Partnership* memperkuat implementasi NbS. Keberhasilan tersebut menekankan pentingnya tata kelola kolaboratif dalam proyek restorasi sungai berbasis NbS.

### *C. Tantangan Implementasi NbS di Kawasan Perkotaan Negara Berkembang*

Meskipun memiliki potensi besar, implementasi NbS di negara berkembang menghadapi berbagai tantangan struktural dan institusional. Banyak kota di Asia Tenggara dan Afrika Sub-Sahara mengalami keterbatasan data hidrologi, kapasitas teknis, dan pendanaan (Wolff et al., 2023) dan (Thorn et al., 2021). Rendahnya kesadaran masyarakat serta minimnya keterlibatan publik dalam perencanaan turut memperlemah penerimaan NbS. Kondisi ini menyebabkan NbS kerap dipersepsikan kurang praktis dibandingkan infrastruktur konvensional.

Padahal, sejumlah studi menegaskan bahwa keberhasilan NbS sangat bergantung pada partisipasi masyarakat dan keberlanjutan sosial jangka panjang (Zarei & Shahab, 2025) dan (Anderson & Renaud, 2021). Keterbatasan kerangka kebijakan dan tata kelola memperumit integrasi NbS ke dalam rencana induk perkotaan. Selain itu, keterbatasan ruang terbuka dan tingkat pencemaran sungai yang tinggi menjadi kendala teknis utama (Abhilash, 2021; Z. Wang et al., 2021) dan (Klaus & Kiehl, 2021). Tantangan-tantangan ini menuntut pendekatan adaptif dan kontekstual dalam penerapan NbS.

Proses restorasi sungai berbasis NbS juga memerlukan waktu yang relatif panjang untuk menunjukkan hasil yang optimal. Kondisi ini sering kali bertentangan dengan ekspektasi pembuat kebijakan yang mengutamakan hasil jangka pendek. Selain itu, (Aivalli et al., 2025) menyoroti

bahwa keberhasilan NbS sangat dipengaruhi oleh kolaborasi multisektor yang kompleks. Oleh karena itu, pemahaman terhadap kondisi sosial-ekologis lokal menjadi prasyarat utama dalam perencanaan NbS di negara berkembang.

#### *D. Kesenjangan dalam Kajian Akademik dan Praktik Lapangan*

Kajian akademik mengenai NbS dalam restorasi sungai masih didominasi oleh pendekatan teoretis dan skala makro. Banyak penelitian berfokus pada evaluasi ekosistem atau simulasi teknis tanpa menggali dinamika sosial lokal (Morri & Santolini, 2021) dan (Sowińska-Świerkosz & García, 2021). Padahal, persepsi masyarakat, nilai budaya, dan akses terhadap ruang publik memiliki peran penting dalam keberhasilan NbS. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih kontekstual dan partisipatif.

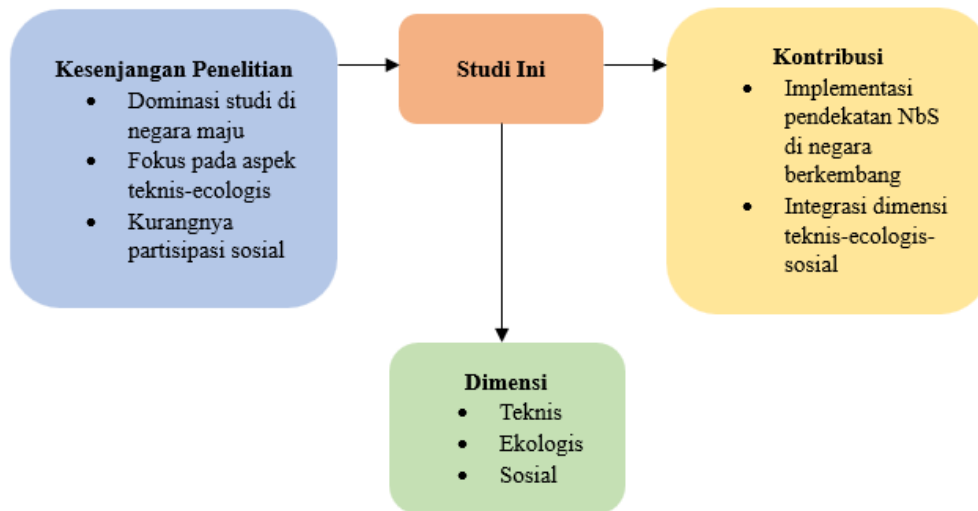
Studi komparatif yang mengaitkan efektivitas ekologis dengan dampak sosial masih relatif terbatas, terutama di kawasan Global South (Velis et al., 2023). Di sisi lain, banyak praktik lapangan NbS yang berhasil belum terdokumentasi secara sistematis dalam literatur akademik. Studi oleh (McEvoy et al., 2023) mencatat bahwa inisiatif lokal sering luput dari perhatian ilmiah meskipun memiliki dampak signifikan. Kurangnya dokumentasi ini menyulitkan proses replikasi di wilayah lain.

**Tabel 1. Perbandingan Studi Terdahulu tentang Implementasi NbS**

No	Studi / Peneliti	Lokasi Studi	Pendekatan NbS yang Diterapkan	Temuan Utama
1	McEvoy et al. (2023)	Accra, Ghana & Hamburg	Restorasi riparian, taman banjir	Partisipasi komunitas meningkatkan keberlanjutan proyek dan kesadaran lokal.
2	Jun (2023)	Seoul, Korea Selatan	Dekonstruksi jalan layang, daylighting sungai	NbS mengembalikan ekosistem dan menurunkan suhu mikroklimat kota.
3	Caroppi et al. (2023)	Berbagai negara Eropa	Evaluasi proyek NbS skala perkotaan	Kurangnya indikator sosial dalam evaluasi keberhasilan proyek NbS.
4	Enu et al. (2025)	Ghana & Jerman	Inisiatif masyarakat lokal berbasis NbS	Literasi NbS masih rendah dan belum terdokumentasi dalam literatur ilmiah.
5	Penelitian ini	Pulau Jawa, Indonesia	Vegetasi riparian, bioswale, jalur pejalan ekologis	NbS meningkatkan kapasitas hidraulik, kualitas ekologi, dan partisipasi publik.

Evaluasi proyek NbS juga cenderung berfokus pada aspek teknis dan mengabaikan dimensi sosial ekonomi jangka panjang (Caroppi et al., 2023). Akibatnya, integrasi antara aspek teknis, ekologis, dan sosial belum dibahas secara komprehensif. Kondisi ini menandakan adanya kesenjangan antara teori dan praktik NbS. Penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut melalui studi kasus restorasi sungai di Indonesia. Tabel berikut merangkum beberapa studi relevan dan menyoroti kesenjangan tersebut. Penelitian ini berupaya mengisi kekosongan itu melalui studi

kasus di Indonesia. Gambar berikut menggambarkan kerangka teoritis yang memetakan posisi dan kontribusi penelitian ini.



**Gambar 1. Kerangka Teoritis Penelitian NbS di Kawasan Urban**

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus eksploratif untuk memahami secara mendalam dinamika implementasi NbS dalam restorasi sungai perkotaan. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggali secara mendalam berbagai aspek kontekstual, sosial, teknis, dan ekologis dari implementasi NbS yang tidak dapat dijelaskan secara kuantitatif. Studi kasus dipandang sebagai metode yang tepat untuk memahami fenomena yang kompleks dalam situasi nyata, terutama dalam menjelaskan interaksi antara kebijakan, teknologi, dan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai proses perencanaan, pelaksanaan, serta dampak restorasi sungai dengan pendekatan NbS, baik dari sisi teknis maupun sosial. Melalui metode ini, peneliti berharap dapat menghasilkan temuan yang kontekstual dan dapat diadaptasi pada kasus-kasus lain di wilayah perkotaan dengan karakteristik serupa.

#### B. Lokasi dan Partisipan Penelitian

Lokasi studi terletak di kawasan urban padat di salah satu kota besar di wilayah barat Pulau Jawa yang mengalami tekanan ekologis dan hidraulik akibat urbanisasi cepat serta keterbatasan ruang terbuka. Kawasan ini ditandai oleh tingginya alih fungsi lahan, pencemaran sungai, serta lemahnya konektivitas ekologis antara ruang terbuka hijau dan badan air. Kondisi tersebut berdampak langsung pada menurunnya kapasitas sistem sungai dalam mereduksi limpasan

permukaan dan genangan banjir. Oleh karena itu, lokasi ini dipandang representatif untuk mengeksplorasi penerapan NbS dalam konteks sosial-ekologis dan teknis yang kompleks di wilayah perkotaan negara berkembang.

Pemilihan lokasi penelitian dilakukan secara purposif berdasarkan tiga kriteria utama, yaitu keberadaan proyek restorasi sungai berbasis NbS, karakteristik wilayah dengan tekanan ekologis dan hidraulik yang tinggi, serta ketersediaan akses terhadap data teknis dan informan kunci. Partisipan penelitian berjumlah 22 orang yang terdiri atas perencana kota, insinyur hidraulik, pejabat pemerintah daerah, pengelola proyek lingkungan, organisasi masyarakat sipil, dan warga yang bermukim di sekitar sungai. Jumlah dan komposisi partisipan ini mencerminkan keberagaman aktor yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam proses restorasi sungai. Teknik purposive sampling digunakan untuk memastikan bahwa seluruh partisipan memiliki pengetahuan dan keterlibatan yang memadai terhadap proyek NbS, sehingga mampu memberikan perspektif yang relevan dan mendukung validitas temuan penelitian..

### *C. Teknik Pengumpulan Data*

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui tiga teknik utama yang saling melengkapi, yaitu wawancara semi-terstruktur, observasi lapangan, dan studi dokumen. Wawancara semi-terstruktur digunakan untuk menggali pengalaman, persepsi, serta tantangan yang dihadapi para aktor dalam proses perencanaan dan implementasi restorasi sungai dengan pendekatan NbS. Observasi langsung dilakukan di lokasi proyek untuk mengamati kondisi fisik sungai, struktur vegetatif yang digunakan, alur air, integrasi ruang hijau, serta interaksi antara sungai dan lingkungan sekitarnya. Selain itu, studi dokumen meliputi analisis terhadap laporan proyek, kebijakan lokal, peta spasial, dan dokumen perencanaan teknis yang relevan untuk memberikan pemahaman kontekstual terhadap proyek yang dikaji. Kombinasi ketiga teknik ini bertujuan untuk meningkatkan validitas dan kedalaman informasi melalui triangulasi sumber dan metode, sehingga memungkinkan pemahaman menyeluruh terhadap fenomena yang diteliti.

### *D. Prosedur Analisis Data*

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengombinasikan pendekatan kualitatif tematik dan analisis dokumen teknis proyek restorasi sungai berbasis NbS. Data kualitatif dari wawancara dan observasi dianalisis untuk mengidentifikasi persepsi, pengalaman, serta penilaian para pemangku kepentingan terhadap dampak teknis dan ekologis intervensi NbS. Sementara itu, dokumen teknis proyek, termasuk laporan perencanaan, gambar desain, dan evaluasi internal, digunakan sebagai sumber data pendukung untuk memahami perubahan kondisi fisik sungai. Pendekatan ini memungkinkan triangulasi data guna meningkatkan keandalan interpretasi hasil penelitian.

Klaim penurunan area genangan sekitar 35% dalam penelitian ini didasarkan pada estimasi teknis yang tercantum dalam dokumen proyek dan analisis spasial sebelum dan sesudah intervensi NbS, bukan pada pengukuran hidrologi kuantitatif jangka panjang. Estimasi tersebut merefleksikan perbandingan luasan genangan yang diidentifikasi melalui peta teknis dan laporan evaluasi pelaksanaan proyek oleh instansi terkait. Oleh karena itu, angka tersebut diposisikan sebagai indikasi kinerja teknis awal dari implementasi NbS dalam konteks studi kasus, bukan sebagai hasil generalisasi universal. Penegasan ini dilakukan untuk menjaga kehati-hatian ilmiah dan menghindari interpretasi berlebihan terhadap capaian kuantitatif penelitian.

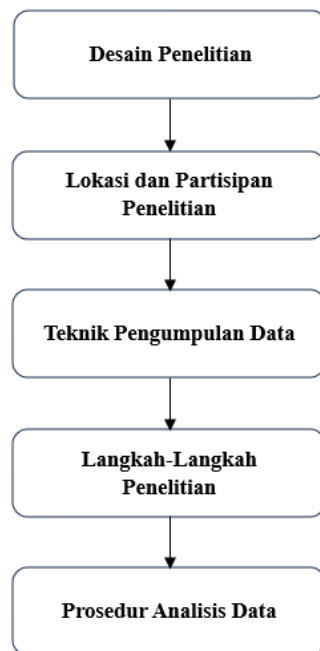
#### *E. Langkah-Langkah Penelitian*

Penelitian ini dilaksanakan melalui enam tahapan sistematis yang saling berkaitan dan mendukung satu sama lain. Tahap pertama adalah identifikasi dan pemilihan lokasi studi kasus berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya untuk memastikan relevansi dengan topik penelitian. Tahap kedua mencakup penyusunan instrumen pengumpulan data seperti pedoman wawancara, lembar observasi, dan daftar dokumen yang akan ditelaah, yang disusun untuk memastikan keterarahan dan konsistensi selama proses pengumpulan data. Tahap ketiga adalah pelaksanaan pengumpulan data di lapangan, termasuk pelaksanaan wawancara, observasi langsung, dan pengumpulan dokumen pendukung. Setelah data terkumpul, tahap keempat dilakukan berupa pengorganisasian dan transkripsi data ke dalam bentuk digital agar memudahkan proses analisis. Dua tahap akhir meliputi proses analisis data tematik secara sistematis dan validasi hasil melalui diskusi sejawat serta teknik *member checking* untuk memastikan bahwa interpretasi peneliti sesuai dengan pengalaman informan.

#### *F. Validitas dan Keandalan Data*

Untuk memastikan validitas dan keandalan temuan, penelitian ini menerapkan berbagai strategi verifikasi data secara sistematis dan berkelanjutan. Strategi utama yang digunakan adalah triangulasi sumber dan teknik, yakni dengan membandingkan informasi dari berbagai partisipan dan teknik pengumpulan data (wawancara, observasi, dokumen) guna melihat konsistensi antar temuan. Selain itu, teknik *member checking* diterapkan dengan mengonfirmasi hasil temuan dan interpretasi kepada partisipan yang diwawancarai agar dapat diperoleh keabsahan interpretasi. Peneliti juga melakukan *peer debriefing* dengan sejawat untuk menghindari bias pribadi dan memastikan bahwa proses analisis dilakukan secara objektif dan transparan. Refleksi kritis dilakukan sepanjang proses penelitian untuk menjaga integritas analisis serta memastikan bahwa interpretasi data mencerminkan konteks sosial dan ekologis yang sedang dikaji. Dengan demikian, kualitas temuan dijaga agar kredibel, dapat dipercaya, dan memiliki relevansi aplikatif.

Gambar 2 menggambarkan tahapan metodologi yang digunakan dalam penelitian restorasi sungai dengan pendekatan NbS.



**Gambar 2. Alur Langkah Penelitian Kualitatif pada Studi Kasus Restorasi Sungai**

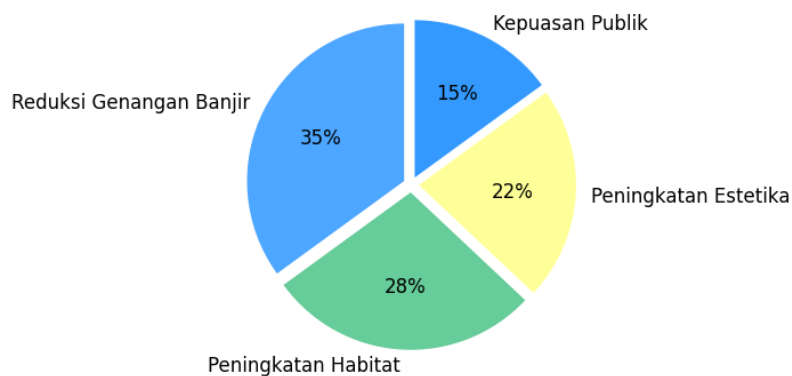
#### IV. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian ini disajikan berdasarkan data kualitatif yang diperoleh melalui wawancara, observasi lapangan, dan studi dokumen. Sebelum intervensi, kawasan sungai menunjukkan degradasi lingkungan yang ditandai oleh dominasi struktur beton, minimnya vegetasi riparian, dan kualitas air yang rendah. Setelah implementasi NbS, terjadi peningkatan kondisi ekologis dan sosial melalui restorasi vegetasi lokal, penanaman zona sempadan dengan tanaman penyaring, serta peningkatan akses masyarakat terhadap sungai melalui jalur pedestrian ekologis. Perubahan ini mencerminkan pergeseran fungsi sungai dari saluran teknis semata menjadi ruang ekologis dan sosial yang lebih adaptif. Gambar 3 memperlihatkan kondisi fisik sungai sebelum dan sesudah penerapan pendekatan NbS.

Gambar 3 memperlihatkan kondisi sungai sebelum dan sesudah penerapan NbS yang menunjukkan perubahan signifikan pada struktur fisik dan elemen ekologis. Pada kondisi awal, dominasi struktur keras dan keterbatasan vegetasi riparian membatasi kapasitas hidraulik sungai dalam mereduksi limpasan permukaan saat kejadian hujan. Setelah intervensi NbS, peningkatan tutupan vegetasi dan integrasi lahan basah buatan berkontribusi terhadap peningkatan infiltrasi dan fungsi ekologis bantaran sungai. Secara teknis, visual ini menegaskan peran NbS sebagai pendekatan integratif yang menggabungkan rekayasa hidraulik dan revitalisasi ekologi.



**Gambar 3. Perbandingan Visual Sungai Sebelum dan Sesudah Implementasi NbS**



**Gambar 4. Dampak Implementasi NbS Menurut Persepsi Pemangku Kepentingan**

Gambar 4 menunjukkan pola persepsi pemangku kepentingan terhadap dampak utama penerapan NbS pada proyek restorasi sungai. Diagram ini memperlihatkan bahwa pengurangan genangan banjir dipersepsikan sebagai manfaat paling dominan, diikuti oleh peningkatan kualitas ekologi dan estetika kawasan. Pola tersebut mengindikasikan bahwa NbS tidak hanya dinilai dari aspek teknis hidraulik, tetapi juga dari kontribusinya terhadap kualitas lingkungan dan ruang publik. Secara keseluruhan, visualisasi ini menegaskan karakter multidimensional NbS yang mencakup dimensi teknis, ekologis, dan sosial. Visualisasi ini memperkuat narasi deskriptif dalam teks dan Tabel 2 serta menunjukkan bahwa pendekatan NbS memberikan dampak yang bersifat multidimensional, teknis, ekologis, dan sosial.

Tabel 2 menyajikan ringkasan hasil wawancara terhadap 22 partisipan yang merepresentasikan aktor teknis, masyarakat lokal, dan pemangku kepentingan proyek. Tingginya respon positif pada aspek reduksi risiko banjir menunjukkan bahwa NbS dipersepsikan mampu meningkatkan kinerja sistem drainase alami sungai. Respon yang kuat pada dimensi estetika, kualitas ekologi, dan partisipasi publik mencerminkan nilai tambah NbS yang melampaui fungsi teknis semata. Konsistensi persepsi lintas dimensi ini memperkuat temuan bahwa NbS berpotensi menjadi pendekatan restorasi sungai yang adaptif dan berkelanjutan dalam konteks perkotaan.

**Tabel 2. Persepsi Pemangku Kepentingan terhadap Dampak NbS**

No	Dimensi Penilaian	Respon Positif (%)
1	Reduksi Risiko Banjir	86%
2	Estetika dan Kenyamanan Kawasan	77%
3	Kualitas Ekologi Sungai	73%
4	Partisipasi dan Keterlibatan Publik	68%
5	Konektivitas Ekologis	61%

Hasil studi menunjukkan bahwa NbS memberikan kontribusi terhadap peningkatan kapasitas aliran sungai melalui penyerapan air oleh vegetasi dan permeabilitas tanah yang lebih baik. Dari sisi ekologi, kawasan sempadan sungai yang sebelumnya tandus mengalami pemulihan biodiversitas melalui penanaman vegetasi lokal, yang menciptakan habitat baru bagi flora dan fauna. Dampak sosialnya terlihat melalui keterlibatan aktif warga sekitar yang ikut serta dalam kegiatan restorasi, seperti penanaman pohon dan pengelolaan ruang publik, yang pada akhirnya meningkatkan rasa kepemilikan terhadap lingkungan sungai.

#### A. Hasil Uji Analisis Data

Proses analisis data menggunakan pendekatan tematik berhasil mengidentifikasi empat tema utama yang merepresentasikan keberhasilan dan tantangan implementasi NbS di kawasan urban. Tema pertama menunjukkan bahwa pendekatan non-struktural seperti pemulihan vegetasi riparian dan bioswale mampu meningkatkan kapasitas penyerapan air dan mengurangi genangan banjir.

**Tabel 3. Tema Utama Hasil Analisis Tematik Implementasi NbS**

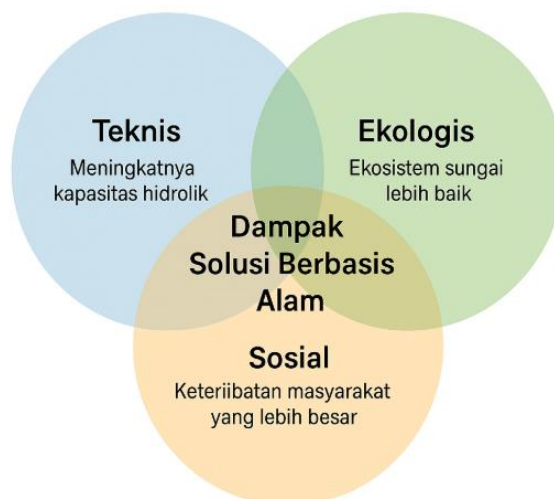
No	Tema Utama	Deskripsi Singkat	Kutipan Partisipan*
1	Peningkatan Kapasitas Hidraulik Non-Struktural	NbS meningkatkan daya serap air dan mengurangi genangan tanpa infrastruktur beton konvensional.	“Sebelumnya sering banjir saat hujan deras, sekarang sudah jauh berkurang.” (P3)
2	Revitalisasi Ekologi Sungai dan Sempadan	Penanaman vegetasi lokal dan restorasi habitat riparian menghidupkan kembali fungsi ekologis sungai.	“Sekarang ikan-ikan mulai muncul lagi, dan tanaman liar tumbuh alami.” (P7)
3	Keterlibatan Komunitas dalam Proyek Restorasi	Partisipasi warga dalam perencanaan dan penanaman meningkatkan rasa memiliki terhadap ruang sungai.	“Waktu penanaman kami dilibatkan langsung, jadi terasa seperti bagian dari kampung.” (P11)

4	Keterbatasan Ruang dan Hambatan Regulasi	Implementasi NbS menghadapi tantangan karena keterbatasan lahan dan lemahnya sinkronisasi kebijakan.	“Lahan sempit dan aturan tata ruangnya sering tidak mendukung desain alami.” (P18)
---	--	--	--

Tema kedua menyoroti pentingnya revitalisasi ekologi melalui kehadiran kembali vegetasi alami dan habitat lokal, sedangkan tema ketiga menekankan peran sentral partisipasi masyarakat dalam memperkuat rasa memiliki terhadap proyek restorasi. Tema keempat mengungkap kendala lapangan, seperti terbatasnya ruang terbuka hijau dan belum sinkronnya kebijakan lintas sektor yang menjadi hambatan dalam keberlanjutan NbS. Untuk memperjelas keempat temuan tersebut, Tabel 3 menyajikan ringkasan tema utama hasil analisis tematik beserta deskripsi dan kutipan representatif dari partisipan.

*B. Hasil Utama yang Signifikan*

Salah satu hasil paling mencolok dari studi ini adalah bagaimana pendekatan NbS mampu mengubah fungsi sungai dari sekadar saluran drainase menjadi ruang multifungsi yang menggabungkan nilai ekologis, sosial, dan rekreasi. Berdasarkan data observasi dan laporan proyek, terjadi penurunan volume genangan air hingga 35% dalam dua tahun terakhir, yang menunjukkan peningkatan efektivitas pengelolaan banjir melalui pendekatan non-struktural. Selain itu, masyarakat sekitar merasakan peningkatan kualitas hidup yang nyata, ditandai dengan penggunaan ruang sungai sebagai tempat interaksi sosial dan kegiatan komunitas. Tingginya tingkat kepuasan masyarakat, yang tercermin dari 77% partisipan yang menyatakan dampak positif terhadap lingkungan mereka, menjadi indikator penting bahwa pendekatan NbS tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga diterima secara sosial.



**Gambar 5. Model Integratif Dampak Nature-Based Solutions: Teknis, Ekologis, dan Sosial**

Temuan ini juga memperlihatkan bahwa dampak teknis, ekologis, dan sosial dari penerapan NbS saling berinteraksi secara sinergis. Efektivitas pengendalian banjir melalui peningkatan infiltrasi turut bergantung pada fungsi vegetasi alami yang sekaligus memulihkan ekosistem riparian. Keberadaan habitat alami dan estetika lingkungan mendorong interaksi sosial serta keterlibatan warga dalam pemeliharaan kawasan, yang memperkuat keberlanjutan proyek. Dengan demikian, NbS terbukti sebagai pendekatan integratif dalam restorasi sungai urban yang menjawab tantangan multidimensi. Untuk memperjelas hubungan antara ketiga dimensi dampak tersebut, Gambar 5 menyajikan model konseptual integratif yang menggambarkan kontribusi holistik dari pendekatan NbS.

### **Diskusi**

Penerapan NbS dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan tersebut mampu menjawab tantangan restorasi sungai perkotaan yang kompleks. Penggunaan vegetasi riparian dan lahan basah buatan berkontribusi terhadap peningkatan daya resap tanah serta pengurangan limpasan permukaan. Temuan ini mengindikasikan bahwa proses alami dapat disinergikan secara efektif dengan pendekatan rekayasa sipil. Dengan demikian, NbS berfungsi sebagai bagian integral dari sistem infrastruktur air perkotaan yang berkelanjutan.

Selain aspek teknis, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya dimensi sosial dalam keberhasilan implementasi NbS. Keterlibatan masyarakat dalam proses restorasi dan pemeliharaan sungai memperkuat keberlanjutan hasil intervensi. Partisipasi tersebut meningkatkan rasa kepemilikan terhadap ruang sungai dan mendorong penerimaan sosial terhadap perubahan fungsi kawasan. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas NbS sangat dipengaruhi oleh interaksi antara aspek teknis, ekologis, dan sosial.

Temuan penelitian ini sejalan dengan sejumlah studi terdahulu yang menyoroti efektivitas NbS dalam konteks perkotaan. Penelitian (Enu et al., 2025) di Ghana dan Jerman menekankan pentingnya keterlibatan pemangku kepentingan lokal dalam keberhasilan restorasi sungai. Kesamaan juga ditemukan dengan proyek restorasi di Korea Selatan yang dilaporkan oleh (Jun, 2023) yang berhasil meningkatkan fungsi hidrologis dan kualitas lingkungan. Keselarasan ini memperkuat posisi temuan penelitian dalam diskursus internasional mengenai NbS.

Meskipun demikian, keunikan penelitian ini terletak pada konteks negara berkembang dengan tekanan ruang dan keterbatasan kapasitas kelembagaan. Kondisi tersebut menimbulkan tantangan tambahan dalam perencanaan dan implementasi NbS. Adaptasi pendekatan berbasis alam dalam keterbatasan struktural menjadi karakteristik utama studi ini. Oleh karena itu, temuan penelitian memiliki relevansi praktis yang tinggi bagi pengembangan kebijakan di wilayah perkotaan serupa.

Penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan dalam implementasi NbS di lapangan. Aksesibilitas kawasan restorasi bagi kelompok rentan, seperti lansia dan perempuan, masih belum optimal. Selain itu, pada kondisi hujan dengan intensitas ekstrem, kemampuan vegetasi riparian dalam mereduksi genangan masih terbatas. Temuan ini menunjukkan bahwa NbS perlu dikombinasikan dengan infrastruktur konvensional untuk meningkatkan ketahanan sistem.

Dari sisi teoretis, penelitian ini memperkuat pemahaman NbS sebagai intervensi sosioteknis dalam kerangka rekayasa sipil berkelanjutan. Keberhasilan NbS ditentukan tidak hanya oleh kinerja teknis dan ekologis, tetapi juga oleh faktor sosial dan kelembagaan. Perspektif ini sejalan dengan prinsip *water-sensitive urban design* yang menekankan integrasi antara sistem air, tata guna lahan, dan aktor sosial. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam memperluas pendekatan NbS dari solusi teknokratik menuju kerangka yang lebih adaptif dan kontekstual.

## V. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

Penelitian ini telah menunjukkan bahwa pendekatan NbS dalam restorasi sungai di kawasan urban tidak hanya mampu mengatasi permasalahan hidraulik seperti risiko banjir, tetapi juga berhasil merevitalisasi kualitas ekologi dan sosial lingkungan sekitar. Hasil temuan menunjukkan bahwa penerapan vegetasi riparian, lahan basah buatan, dan ruang hijau multifungsi mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi air, memperbaiki habitat alami, serta menciptakan ruang interaksi masyarakat yang inklusif. Partisipasi aktif dari komunitas lokal dalam perencanaan dan pelaksanaan restorasi turut memperkuat keberlanjutan proyek. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa NbS dapat menjadi alternatif efektif yang adaptif terhadap tantangan urbanisasi dan perubahan iklim.

Secara teoritis, studi ini berkontribusi dalam memperluas pemahaman tentang interaksi sosial-ekologis dalam konteks rekayasa hidraulik, dengan mengusulkan pendekatan yang lebih holistik dan kontekstual. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan rekomendasi strategis bagi pembuat kebijakan, perencana kota, dan pelaku teknis untuk mengintegrasikan NbS dalam tata kelola sungai secara lebih partisipatif dan berkelanjutan. Temuan ini memberikan bukti empirik bahwa pendekatan NbS dalam konteks urban tidak hanya layak secara teknis dan ekologis, tetapi juga relevan secara sosial dan institusional. Ke depan, penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan pendekatan kuantitatif dan longitudinal guna mengevaluasi efektivitas jangka panjang NbS di berbagai konteks wilayah urban lain yang serupa.

## REFERENCES

- Abhilash, P. C. (2021). Restoring the Unrestored: Strategies for Restoring Global Land during the UN Decade on Ecosystem Restoration (UN-DER). *Land*, 10(2), 201. <https://doi.org/10.3390/land10020201>

- Aivalli, P., Dada, S., Gilmore, B., Srinivas, P. N., & De Brún, A. (2025). Power dynamics and intersectoral collaboration for health in low- and middle-income countries: a realist review. *Health Policy and Planning*, *40*(6), 661–683. <https://doi.org/10.1093/heapol/czaf022>
- Andersen, D., Jang, Y., Grilo, C., Clevenger, A. P., Le Roux, A., Habib, B., & Wink, M. (2021). Biodiversity and Transportation Infrastructure in the Republic of Korea: A Review on Impacts and Mitigation in Developing the Country. *Diversity*, *13*(11), 519. <https://doi.org/10.3390/d13110519>
- Anderson, C. C., & Renaud, F. G. (2021). A review of public acceptance of nature-based solutions: The ‘why’, ‘when’, and ‘how’ of success for disaster risk reduction measures. *Ambio*, *50*, 1552–1573. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01502-4>
- Ashillah, A. H., Zakianis, Z., Kusnopranto, H., Fitratunnisa, E. P., Fauzia, S., Lestari, F., Shaw, R., & Adiwibowo, A. (2025). Linking Urban Sustainability and Water Quality: Spatial Analysis of Topographic, Sociodemographic, and Flood-Related Factors Affecting Well Water in Jakarta (2017–2019). *Sustainability*, *17*(8), 3373. <https://doi.org/10.3390/su17083373>
- Blagojević, B., Vasilevska, L., Anđelković, D., Bogojević, A., & Lousada, S. (2023). A Framework for Assessing Nature-Based Urban Stormwater Management Solutions: A Preliminary Spatial Analysis Approach Applied to Southeast Serbia. *Water*, *15*(20), 3604. <https://doi.org/10.3390/w15203604>
- Bona, S., Silva-Afonso, A., Gomes, R., Matos, R., & Rodrigues, F. (2022). Nature-Based Solutions in Urban Areas: A European Analysis. *Applied Sciences*, *13*(1), 168. <https://doi.org/10.3390/app13010168>
- Capobianco, V., Palau, R. M., Solheim, A., Gislås, K., Gilbert, G., Danielsson, P., & van der Keur, P. (2024). The potential use of nature-based solutions as natural hazard mitigation measure for linear infrastructure in the Nordic Countries. *Geoenvironmental Disasters*, *11*(27), 1–33. <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00287-4>
- Caroppi, G., Pugliese, F., Gerundo, C., De Paola, F., Stanganelli, M., Urciuoli, G., Nadim, F., Oen, A., Andrés, P., & Giugni, M. (2023). A comprehensive framework tool for performance assessment of NBS for hydro-meteorological risk management. *Journal of Environmental Planning and Management*, *67*(6), 1231–1257. <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2166818>
- Carvalho, P. N., Finger, D. C., Masi, F., Cipolletta, G., Oral, H. V., Tóth, A., Regelsberger, M., & Exposito, A. (2022). Nature-based solutions addressing the water-energy-food nexus: Review of theoretical concepts and urban case studies. *Journal of Cleaner Production*, *338*, 130652. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130652>
- Enu, K. B., Zingraff-Hamed, A., Lupp, G., Raum, S., Moors, E., & Pauleit, S. (2025). Stakeholder priorities and navigating barriers in urban river restoration: Comparative insights from Germany and Ghana. *Environmental and Sustainability Indicators*, *26*, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100683>
- Ghafourian, M., Stanchev, P., Mousavi, A., & Katsou, E. (2021). Economic assessment of nature-based solutions as enablers of circularity in water systems. *Science of The Total Environment*, *792*, 148267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148267>
- Gijnsman, R., Horstman, E. M., van der Wal, D., Friess, D. A., Swales, A., & Wijnberg, K. M. (2021). Nature-Based Engineering: A Review on Reducing Coastal Flood Risk With Mangroves. *Frontiers in Marine Science*, *8*, 702412. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.702412>

- Gooden, J., & Pritzlaff, R. (2021). Dryland Watershed Restoration With Rock Detention Structures: A Nature-based Solution to Mitigate Drought, Erosion, Flooding, and Atmospheric Carbon. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 679189. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.679189>
- Griffiths, J., Borne, K. E., Semadeni-Davies, A., & Tanner, C. C. (2024). Selection, Planning, and Modelling of Nature-Based Solutions for Flood Mitigation. *Water*, 16(19), 2802. <https://doi.org/10.3390/w16192802>
- Hamel, P., & Tan, L. (2021). Blue–Green Infrastructure for Flood and Water Quality Management in Southeast Asia: Evidence and Knowledge Gaps. *Environmental Management*, 69, 699–718. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01467-w>
- Ismael, D., Hutton, N., Erten-Unal, M., Considine, C., Vandecar-Burdin, T., Davis, C., & Chen, Y. H. (2024). Community-Centric Approaches to Coastal Hazard Assessment and Management in Southside Norfolk, Virginia, USA. *Atmosphere*, 15(3), 372. <https://doi.org/10.3390/atmos15030372>
- Jun, J. (2023). Towards Sustainable Urban Riverfront Redevelopment: Adaptability as a Design Strategy for the Hangang Riverfront in Seoul. *Sustainability*, 15(12), 9207. <https://doi.org/10.3390/su15129207>
- Kimic, K., & Ostrysz, K. (2021). Assessment of Blue and Green Infrastructure Solutions in Shaping Urban Public Spaces—Spatial and Functional, Environmental, and Social Aspects. *Sustainability*, 13(19), 11041. <https://doi.org/10.3390/su131911041>
- King, P., Martin-Ortega, J., Armstrong, J., Ferré, M., & Bark, R. H. (2023). Mainstreaming nature-based solutions: What role do Communities of Practice play in delivering a paradigm shift? *Environmental Science & Policy*, 144, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.03.003>
- Klaus, V. H., & Kiehl, K. (2021). A conceptual framework for urban ecological restoration and rehabilitation. *Basic and Applied Ecology*, 52, 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.02.010>
- Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Rawat, N., Marti-Cardona, B., Alfieri, S. M., Basu, B., Basu, A. S., Bowyer, P., Charizopoulos, N., Jaakko, J., Loupis, M., Menenti, M., Mickovski, S. B., Pfeiffer, J., Pilla, F., Pröll, J., Pulvirenti, B., Rutzinger, M., ... Zieher, T. (2021). An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews*, 217, 103603. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103603>
- Liu, H.-Y., Jay, M., Chen, X., Liu, C. :, Jay, H.-Y. :, Chen, M. :, & Asumadu-Sarkodie, S. (2021). The Role of Nature-Based Solutions for Improving Environmental Quality, Health and Well-Being. *Sustainability*, 13(19), 10950. <https://doi.org/10.3390/su131910950>
- Mannakkara, S., Aquino, H., Toma, C., Ying, F., Fakhrudin, B., De Silva, A., Amaratunga, D., & Haigh, R. (2022). Green and Blue Infrastructure as Nature-Based Better Preparedness Solutions for Disaster Risk Reduction: Key Policy Aspects. *Sustainability*, 14(23), 16155. <https://doi.org/10.3390/su142316155>
- McEvoy, D., Tara, A., Vahanvati, M., Ho, S., Gordon, K., Trundle, A., Rachman, C., & Qomariyah, Y. (2023). Localized nature-based solutions for enhanced climate resilience and community wellbeing in urban informal settlements. *Climate and Development*, 16(7), 600–612. <https://doi.org/10.1080/17565529.2023.2277248>
- Meireles, R., Galvao, A., Wójcik-Madej, J., & Sowí Nska-’ Swierkosz, B. (2022). Pre-Existing Interventions as NBS Candidates to Address Societal Challenges. *Sustainability*, 14(15), 9609. <https://doi.org/10.3390/su14159609>

- Meynell, P. J., Metzger, M., & Stuart, N. (2021). Identifying Ecosystem Services for a Framework of Ecological Importance for Rivers in South East Asia. *Water*, *13*(11), 1602. <https://doi.org/10.3390/w13111602>
- Morri, E., & Santolini, R. (2021). Ecosystem Services Valuation for the Sustainable Land Use Management by Nature-Based Solution (NbS) in the Common Agricultural Policy Actions: A Case Study on the Foglia River Basin (Marche Region, Italy). *Land*, *11*(1), 57. <https://doi.org/10.3390/land11010057>
- Nemoto, Y., Yamaguchi, T., Oishi, T., & Miyamoto, H. (2025). Relationships Between Floodplain Topography, Peat, Soil Moisture, and Alder Growth over a Decade After River Meandering Restoration in the Kushiro Wetlands, Hokkaido, Japan. *Sustainability*, *17*(2), 615. <https://doi.org/10.3390/su17020615>
- Nóblega-Carriquiry, A., March, H., & Sauri, D. (2022). Community Acceptance of Nature-Based Solutions in the Delta of the Tordera River, Catalonia. *Land*, *11*(4), 579. <https://doi.org/10.3390/land11040579>
- Rey, F., & Rusu, T. (2021). Harmonizing Erosion Control and Flood Prevention with Restoration of Biodiversity through Ecological Engineering Used for Co-Benefits Nature-Based Solutions. *Sustainability*, *13*(20), 11150. <https://doi.org/10.3390/su132011150>
- Ristić Trajković, J., Krstić, V., Milovanović, A., Calheiros, C. S. C., Čujić, M., Karanac, M., Kazak, J. K., Di Lonardo, S., Pineda-Martos, R., Garcia Mateo, M. C., Milošević, D., Milousi, M., Niță, M. R., Palermo, S. A., Piro, P., Pirouz, B., Siscan, Z., Turco, M., Vaccari, M., ... Đolić, M. (2024). Moving Towards a Holistic Approach to Circular Cities: Obstacles and Perspectives for Implementation of Nature-Based Solutions in Europe. *Sustainability*, *16*(16), 7085. <https://doi.org/10.3390/su16167085>
- Scolobig, A., Linnerooth-Bayer, J. A., Pelling, M., Martin, J. G. C., Deubelli, T. M., Liu, W., & Oen, A. (2023). Transformative adaptation through nature-based solutions: a comparative case study analysis in China, Italy, and Germany. *Regional Environmental Change*, *23*(69), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02066-7>
- Serra-Llobet, A., Jähnig, S. C., Geist, J., Kondolf, G. M., Damm, C., Scholz, M., Lund, J., Opperman, J. J., Yarnell, S. M., Pawley, A., Shader, E., Cain, J., Zingraff-Hamed, A., Grantham, T. E., Eisenstein, W., & Schmitt, R. (2022). Restoring Rivers and Floodplains for Habitat and Flood Risk Reduction: Experiences in Multi-Benefit Floodplain Management From California and Germany. *Frontiers in Environmental Science*, *9*, 778568. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.778568>
- Sowińska-Świerkosz, B., & García, J. (2021). A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Science of The Total Environment*, *787*, 147615. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147615>
- Study, C., Baig, A., Atif, S., & Tahir, · Ali. (2024). Urban development and the loss of natural streams leads to increased flooding. *Discover Cities*, *1*(9), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s44327-024-00010-w>
- Thorn, J. P. R., Biancardi Aleu, R., Wijesinghe, A., Mdongwe, M., Marchant, R. A., & Shackleton, S. (2021). Mainstreaming nature-based solutions for climate resilient infrastructure in peri-urban sub-Saharan Africa. *Landscape and Urban Planning*, *216*, 104235. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104235>
- Velis, C. A., Wilson, D. C., Gavish, Y., Grimes, S. M., & Whiteman, A. (2023). Socio-economic development drives solid waste management performance in cities: A global analysis using

machine learning. *Science of The Total Environment*, 872, 161913.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161913>

Wang, D., Xu, P. Y., An, B. W., & Guo, Q. P. (2024). Urban green infrastructure: bridging biodiversity conservation and sustainable urban development through adaptive management approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12, 1440477.  
<https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1440477>

Wang, Z., Shi, P., Zhang, X., Tong, H., Zhang, W., & Liu, Y. (2021). Research on Landscape Pattern Construction and Ecological Restoration of Jiuquan City Based on Ecological Security Evaluation. *Sustainability*, 13(10), 5732. <https://doi.org/10.3390/su13105732>

Wolff, E., Rauf, H. A., & Hamel, P. (2023). Nature-based solutions in informal settlements: A systematic review of projects in Southeast Asian and Pacific countries. *Environmental Science & Policy*, 145, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.04.014>

Zarei, M., & Shahab, S. (2025). Nature-Based Solutions in Urban Green Infrastructure: A Systematic Review of Success Factors and Implementation Challenges. *Land*, 14(4), 818. <https://doi.org/10.3390/land14040818>