

Tinjauan Perencanaan Strategis Infrastruktur Biru-Hijau Perkotaan di Kawasan Asia Tenggara

A Review of Urban Blue-Green Infrastructure Planning Strategies in the Southeast Asia Region

Muhammad Saleh¹, Puteri Fitriaty^{1*}, Irdinal Arief¹

¹Program Studi Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Indonesia

*Email: puteri_fitriaty@yahoo.com; puteri.f@untad.ac.id

Artikel Info

Diajukan: 27 Mei 2026

Direvisi: 30 Juni 2026

Diterima: 12 Juli 2026

Dipublikasi: 01 Oktober 2026

Keywords

Blue-Green Infrastructure (BGI)

intelligent adaptation

landscape planning strategy

nature-based solutions

ABSTRACT

The increasing complexity of climate change demands smart adaptation strategies and integrated mitigation efforts. Blue-Green Infrastructure (BGI) has emerged as an effective approach to support these efforts. However, understanding the planning stages of BGI, particularly in densely populated urban areas with informal settlements vulnerable to hydrometeorological hazards in Southeast Asia, are still limited. This study aims to formulate an optimal BGI planning framework integrating landscape design strategy through systematic literature analysis. Publication metadata using the keyword "Blue-Green Infrastructure in Southeast Asia" was harvested through Publish or Perish, filtered using Mendeley, and analysed bibliometrically using VOSviewer to map topic interconnections. This study signaled that there are three countries whom successfully implemented BGI as part of Nature base Solutions adopted from Climate Change Smart Adaptation principles. A "learning by doing" approach was applied in the cross-case analysis, revealing patterns, similarities, and differences in BGI practices. Despite variations in definitions and planning sequences, a common structural pattern was successfully identified. The proposed planning strategy includes: identifying climate impacts, delineating risk areas, strengthening existing elements, integrating new components, spatial modelling, and formulating a maintenance document as a long-term adaptation strategy. This study highlights knowledge gaps and proposes a contextual framework relevant for BGI implementation through landscape planning strategies in informal urban settlements of Southeast Asia's through an applied and iterative learning approach.

PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan strategi desain lanskap dalam merumuskan pendekatan *Blue-Green Infrastructure* (BGI) sebagai bagian dari perencanaan lanskap adaptif berbasis ekologi yang terintegrasi dalam kerangka *Climate Change Smart Adaptation* (CCSA). Pendekatan ini diposisikan sebagai strategi lanskap integratif dalam kerangka *Nature based Solutions* (NbS) melalui studi literatur dan studi kasus praktik terbaik (*best-practice projects*) penerapan *Blue-Green Infrastructure* di Asia Tenggara. Pendekatan lanskap ini dikembangkan untuk menggabungkan fungsi adaptasi alami dan mitigasi perubahan iklim secara simultan dan berkelanjutan melalui perancangan lanskap perkotaan multifungsi, sehingga mampu memperkuat ketahanan ekologis, sosial, dan hidrologis kota.

Dalam konteks penelitian ini, *Climate Change Smart Adaptation* dipahami sebagai proses penyesuaian sistem alam dan manusia terhadap dampak perubahan iklim melalui pendekatan resiliensi lanskap yang tidak hanya bersifat reaktif, tetapi juga proaktif dalam mengurangi penyebab perubahan iklim. Sementara itu, *Nature-based Solutions* berperan sebagai komponen kunci dalam strategi *Climate Change Smart Adaptation* karena menawarkan pendekatan

berbasis alam yang mendukung transformasi lanskap perkotaan menuju sistem ekologis yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan riset dan praktik perencanaan *Blue-Green Infrastructure* perlu ditopang oleh kajian literatur yang komprehensif dalam perspektif ekologi lanskap, perencanaan spasial, dan desain lanskap urban, guna menyatukan pemahaman, prinsip teoritis, serta pendekatan implementatif, khususnya di kawasan Asia Tenggara.

Perubahan iklim dan cuaca ekstrem telah diidentifikasi sebagai dua dari lima ancaman global utama dalam satu dekade ke depan (Intergovernmental Panel on Climate Change 2022). Laporan World Economic Forum (WEF) memperkirakan bahwa keduanya akan memberikan dampak signifikan terhadap sistem kehidupan global hingga tahun 2030 dan bahkan 2050 (International Energy Agency 2024; United Nations Habitat 2025). Dampak ini paling nyata terasa di kawasan perkotaan, yang saat ini dihuni oleh lebih dari 50% populasi dunia (Hunt dan Watkiss 2011), sehingga menjadikan kota sebagai arena utama transformasi lanskap dalam merespons krisis iklim.

Kota merupakan entitas yang memiliki hubungan timbal balik yang kompleks dengan perubahan iklim, baik sebagai kontributor emisi maupun sebagai wilayah yang paling terdampak oleh fenomena tersebut (Mukim dan

Roberts 2023). Sebagai pusat aktivitas manusia dan pembangunan, kota membentuk morfologi lanskap urban yang memengaruhi siklus energi, air, dan karbon. Namun, urbanisasi yang pesat sering kali menyebabkan fragmentasi lanskap, berkurangnya ruang terbuka hijau, serta terganggunya konektivitas ekologis. Dampak ini melampaui batas geografis kota dan mempercepat perubahan iklim global. Meskipun perubahan iklim telah terjadi sepanjang sejarah bumi, laju perubahan saat ini meningkat signifikan akibat aktivitas antropogenik yang melampaui kapasitas adaptif sistem ekologi alami (National Academy of Sciences 2014), sehingga kawasan perkotaan menjadi wilayah paling rentan (Salata dan Yiannakou 2016; Dewi *et al.* 2026).

Pada awalnya, respons terhadap perubahan iklim lebih banyak menekankan pada adaptasi, yaitu penyesuaian terhadap dampak yang sudah terjadi. Namun, seiring meningkatnya kesadaran global, mitigasi juga menjadi prioritas utama yang diarahkan pada penanganan akar penyebab perubahan iklim. Saat ini, kedua pendekatan tersebut berkembang menjadi strategi terpadu yang menekankan pengelolaan lanskap sebagai sistem ekologis dan sosial yang saling terhubung (Davoudi 2009; Ariyaningsih *et al.* 2024; Harlis dan Seo 2024; Kaushik dan Kakoty 2025). Dalam konteks ini, Blue-Green Infrastructure hadir sebagai bentuk konkret integrasi adaptasi dan mitigasi melalui pendekatan lanskap berbasis alam.

BGI merupakan jaringan lanskap biru-hijau yang dirancang dan dikelola secara strategis untuk memberikan manfaat ekosistem pada berbagai skala spasial (Grădinaru dan Hersperger 2019). Dari perspektif lanskap, BGI berperan sebagai struktur ekologis kota yang menghubungkan ruang terbuka hijau, sistem air, dan koridor ekologis untuk mendukung ketahanan kota. Dari sisi adaptasi, BGI mampu menurunkan suhu udara, meningkatkan kenyamanan termal (Aziizah dan Budiarti 2024), serta mengurangi efek pulau panas melalui evapotranspirasi dan penciptaan ruang teduh (Sanusi dan Jalil 2021). Dari sisi mitigasi, BGI berkontribusi pada penyerapan karbon (Demuzere *et al.* 2014), regulasi hidrologi, dan pengurangan risiko banjir melalui peningkatan infiltrasi serta pengelolaan limpasan berbasis lanskap (Harlis dan Seo 2024).

Relevansi penelitian tentang BGI di Asia Tenggara meningkat seiring dengan pesatnya urbanisasi, eskalasi risiko air, dan perubahan struktur lanskap akibat tekanan pembangunan (Pratiwi *et al.* 2019). Kawasan ini membutuhkan intervensi perencanaan lanskap berbasis NbS, seperti hutan kota, taman, sistem drainase vegetatif, dan jaringan ruang terbuka hijau yang terintegrasi (Hamel dan Tan 2022). Namun, literatur mengenai BGI masih didominasi oleh studi dari Global North yang kurang merepresentasikan karakteristik sosial-ekologis dan budaya lanskap di Asia Tenggara (Lourdes *et al.* 2021). Padahal, kontekstualisasi lokal sangat penting dalam mengembangkan pendekatan lanskap yang adaptif dan berbasis komunitas.

Dalam konteks perkotaan, pengelolaan sumber daya air merupakan tantangan utama yang berkaitan dengan keberlanjutan lanskap hidrologis kota. Tantangan ini

mencakup pengendalian banjir, penyediaan air bersih, dan pengelolaan air limbah. Pendekatan NbS mulai diadopsi oleh berbagai pemangku kepentingan untuk memperkuat fungsi ekologis lanskap melalui infiltrasi, retensi, dan filtrasi alami. Selain manfaat hidrologis, NbS juga memberikan kontribusi terhadap kualitas estetika, rekreasi, kesehatan, serta kesejahteraan masyarakat melalui pengalaman ruang lanskap yang berkualitas.

Meskipun berbagai negara telah mengembangkan kebijakan NbS, implementasi BGI di Asia Tenggara masih menghadapi tantangan seperti keterbatasan kelembagaan, konflik tata guna lahan, dan lemahnya integrasi perencanaan lanskap dalam kebijakan pembangunan. Hal ini menyebabkan berkembangnya kawasan informal dengan degradasi lanskap, hilangnya biodiversitas, serta rendahnya kualitas lingkungan. Namun, kawasan ini juga memiliki peluang untuk melakukan *leapfrogging* melalui adopsi perencanaan lanskap inovatif berbasis teknologi spasial dan partisipasi masyarakat.

Seiring meningkatnya perhatian terhadap agenda global, BGI semakin diakui sebagai bagian integral dari strategi NbS dan pembangunan kota berkelanjutan. Namun, variasi definisi, metode, dan tahapan perencanaan menunjukkan belum adanya konsensus teoritis, terutama dalam konteks lanskap perkotaan di negara berkembang. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk merumuskan kerangka perencanaan lanskap biru-hijau yang kontekstual, adaptif, dan berbasis risiko sebagai strategi adaptasi perubahan iklim di kawasan Asia Tenggara.

METODE PENELITIAN

Peneliti melakukan penelusuran jurnal ilmiah terkait BGI di kawasan Asia Tenggara dengan menggunakan perangkat lunak *Publish or Perish* (PoP). Proses pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci "*Blue-Green Infrastructure in Southeast Asia*", pada basis data *Google Scholar* yang dibatasi pada 1.000 artikel yang diterbitkan dalam rentang waktu 2020 hingga 2025. Hasil dari pencarian dan penyaringan disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Selanjutnya, peneliti melakukan penyaringan secara awal terhadap 996 artikel yang diduga relevan dengan implementasi BGI di kawasan tersebut. Penyaringan dilakukan berdasarkan beberapa kriteria inklusi, yaitu: a) judul dan abstrak yang secara eksplisit menunjukkan keterkaitan dengan *Blue-Green Infrastructure*, b) di fokuskan pada kawasan Asia Tenggara, serta c) keterkaitan yang jelas antara BGI dan upaya adaptasi cerdas terhadap *Climate Change Smart Adaptation* dengan menggunakan pendekatan NbS.

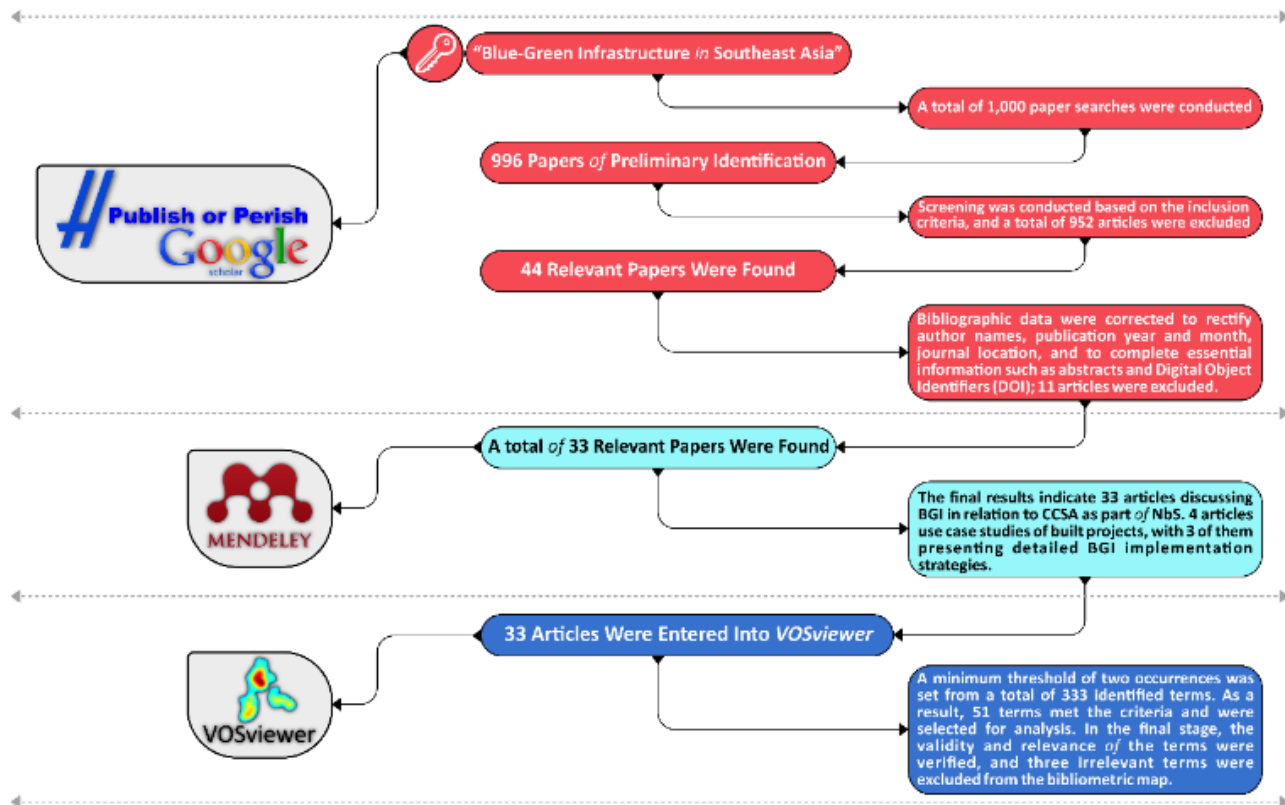
Hasil pencarian disimpan dalam format *Research Information Systems* (RIS), dan selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Mendeley untuk memperbaiki kekurangan data bibliografi, seperti ketidaksesuaian nama penulis, tahun, bulan terbit, penerbit jurnal, serta untuk melengkapi informasi penting seperti abstrak dan *Digital Object Identifier* (DOI).

Tabel 1. Ringkasan indikator bibliometrik berdasarkan pencarian literatur melalui perangkat lunak *publish or perish*

Papers	Cities	Cites/ Years	Cites/ Paper	Cites/ Author	Paper/ Authors	Authors/ Paper	h-Indeks	g-Indeks	hI,Norm	hI,Annual	hA,Index
996	16307	3261.40	16,37	5176.44	415.68	3.32	63	100	32	6.40	34

Tabel 2. Ringkasan hasil analisis bibliometrik dari penyaringan literatur melalui *publish or perish*

Papers	Cities	Cites/ Years	Cites/ Paper	Cites/ Author	Paper/ Authors	Authors/ Paper	h-Indeks	g-Indeks	hI,Norm	hI,Annual	hA,Index
44	924	184.80	21.00	283.30	20.53	2.93	11	30	7	1.40	8



Gambar 1. Skema pencarian artikel tentang Infrastruktur Biru-Hijau di wilayah Asia Tenggara

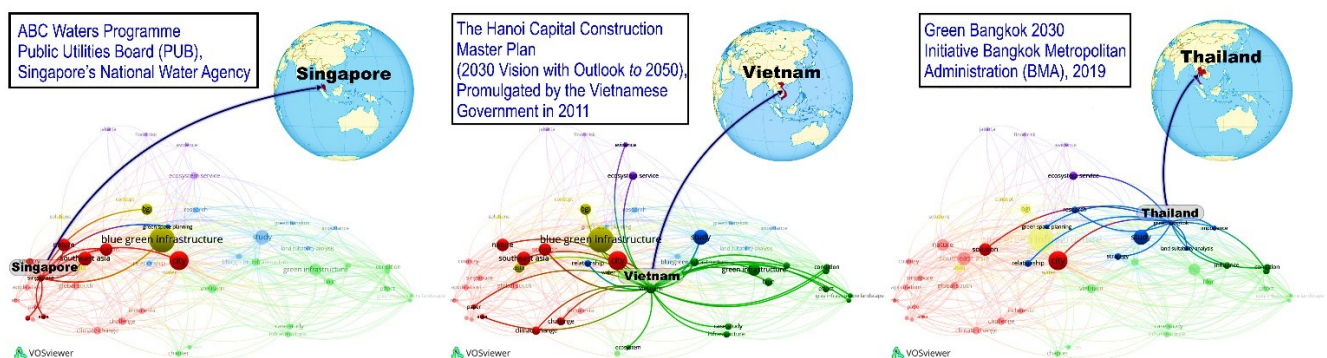
Setelah pembaruan data, analisis dilanjutkan menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Pada tahap *Choose Fields Output*, peneliti memilih parameter berdasarkan judul dan abstrak untuk memperoleh visualisasi jaringan literatur yang relevan. Ambang batas minimum kemunculan istilah ditetapkan sebanyak dua kali dari total 339 istilah yang teridentifikasi. Hasilnya, 63 istilah memenuhi kriteria dan dipilih untuk dianalisis. Tahap akhir meliputi verifikasi validitas dan relevansi istilah, dengan 3 istilah yang tidak relevan dikecualikan dari peta bibliometrik (Gambar 1, Tabel 3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

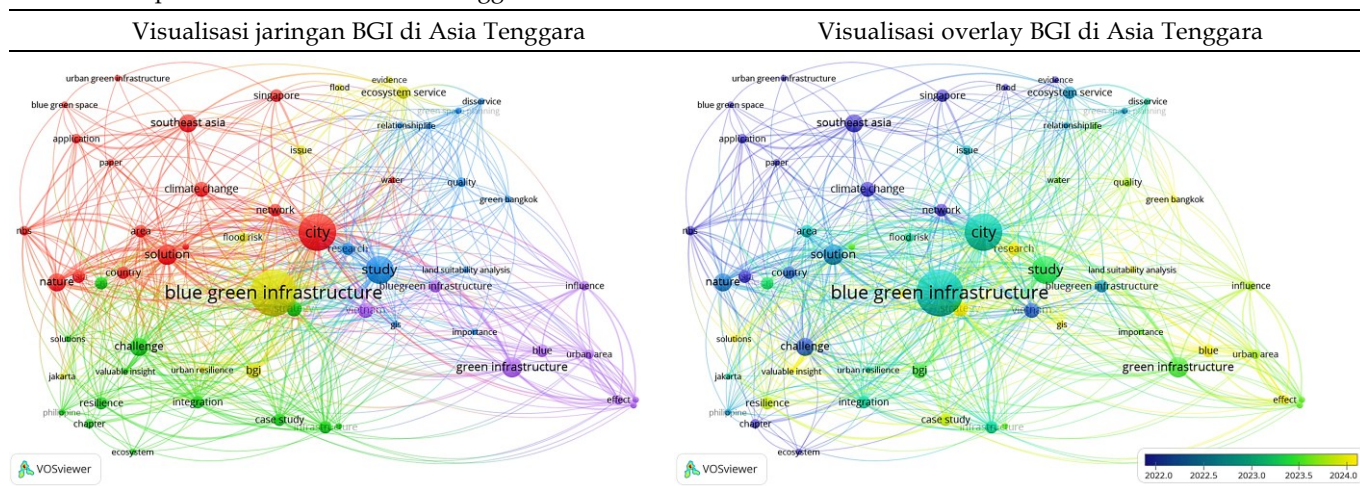
Berdasarkan hasil analisis bibliometrik yang divisualisasikan menggunakan VOSviewer, peneliti mengidentifikasi empat negara yang telah mengimplementasikan BGI sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Pendekatan BGI yang digunakan oleh keempat negara tersebut mengacu pada prinsip *Climate Change Smart Adaptation*, yang secara umum diposisikan sebagai bagian dari NbS. Namun demikian, untuk kepentingan analisis yang lebih mendalam, teknik *purposive*

sampling digunakan dengan memilih tiga negara dari empat yang teridentifikasi tersebut untuk dijadikan sebagai studi kasus (Gambar 2). Studi ini menganalisis kota-kota di kawasan Asia Tenggara yang telah menerapkan BGI untuk memastikan relevansi konteks dan memungkinkan analisis perbandingan. Tujuannya adalah merumuskan strategi praktis dan sistematis dalam perencanaan serta pengembangan elemen *Blue-Green Infrastructure*, yang mencakup infrastruktur biru dalam lanskap perkotaan seperti (sungai, danau, kolam retensi, kanal, drainase alami, dan sistem pengelolaan air hujan) serta infrastruktur hijau (taman kota, hutan kota, jalur hijau, atap hijau, dan ruang terbuka hijau lainnya) (O'Donnell *et al.* 2021; Hakim dan Sulistyantara 2024; Fazali *et al.* 2025). Pendekatan "*learning by doing*." dapat diterapkan dalam pengembangan BGI perkotaan melalui pemanfaatan studi kasus sebagai dasar pembelajaran dan bukti empiris efektivitas intervensi lanskap (Aherm 2014). Setiap rencana dipraktekan sebagai eksperimen (Felson dan Pickett 2005), sementara proyek skala besar dibagi menjadi bagian-bagian kecil agar tetap berfungsi meski sebagian sistem gagal (Czerniak dan Hargreaves 2007). Pendekatan ini mendukung pembelajaran langsung di lapangan dengan tetap mengutamakan prinsip kehati-hatian dan praktik terbaik.



Gambar 2. Distribusi geografis lokasi studi kasus kawasan Asia Tenggara untuk implementasi BGI

Tabel 3. Tahapan analisis bibliometrik menggunakan visualisasi VOSviewer



Topik Utama (Node Pusat):

“Blue Green Infrastructure” adalah istilah utama (node terbesar), menunjukkan bahwa ini adalah fokus paling dominan dalam kumpulan data atau literatur yang dianalisis.

- **Kluster merah:** isu perkotaan dan iklim, menunjukkan urgensi adaptasi perkotaan terhadap perubahan iklim di kawasan regional.
- **kluster hijau:** ketahanan dan integrasi, menandakan pentingnya ketahanan lingkungan dan integrasi solusi dalam perencanaan kota.
- **kluster biru:** kualitas dan analisis spasial. Fokus pada pengukuran kualitas lingkungan dan kajian spasial untuk mendukung perencanaan infrastruktur biru-hijau.
- **kluster ungu:** struktur infrastruktur hijau. Membahas dampak dan peran infrastruktur hijau dalam pengembangan wilayah urban.
- **kluster kuning:** struktur infrastruktur hijau. Mengulas manfaat dan tantangan dari jasa ekosistem, terutama terkait pengendalian banjir dan keberlanjutan.

Overlay Visualization - Tren Temporal dan Perkembangan Tema:

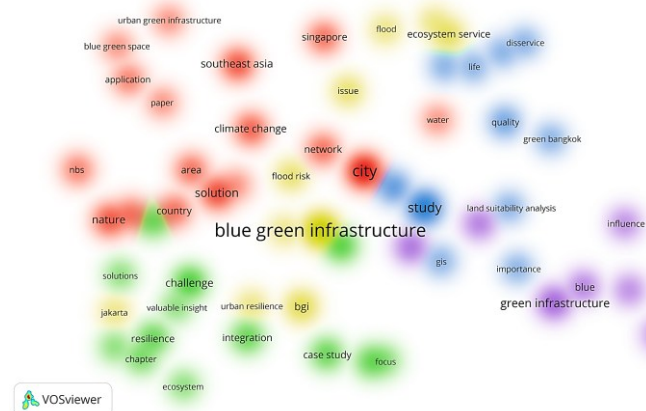
- Perkembangan topik penelitian mengenai BGI hingga 2024.
- riset mulai menitikberatkan pada analisis dampak dan teknologi pendukung, seperti terlihat dari kemunculan kata kunci *influence*, *effect*, *quality*, *importance*, GIS, dan *land suitability analysis*. Topik ini mencerminkan pendekatan evaluatif yang memanfaatkan teknologi spasial untuk mengukur efektivitas implementasi BGI terhadap kualitas lingkungan dan tata ruang perkotaan.
- Hasil visualisasi *overlay* ini mendukung dan melengkapi temuan dari *network visualization* sebelumnya, yang menunjukkan bahwa BGI dan *city* merupakan pusat dari ekosistem pengetahuan yang terus berkembang. Pergeseran dari pendekatan konseptual menuju pendekatan berbasis dampak dan teknologi menandai arah baru dalam kajian akademik dan praktik perencanaan kota yang lebih adaptif, berbasis bukti, dan berkelanjutan.

Visualisasi Kepadatan BGI di kawasan Asia Tenggara

Interpretasi visualisasi kepadatan - Fokus Kepadatan dan Signifikansi Topik:

- kepadatan istilah BGI ditandai dengan warna kuning terang hingga oranye menandakan tingkat kepadatan (frekuensi & kekuatan hubungan) yang paling tinggi, sementara warna hijau dan biru menunjukkan kepadatan yang lebih rendah.
- Istilah “*blue green infrastructure*” dan “*city*” merupakan pusat kepadatan tertinggi yang menegaskan posisi keduanya sebagai inti dari penelitian dan diskusi ilmiah.
- Kata kunci “*solution*,” “*climate change*,” “*southeast asia*,” “*study*,” dan “*ecosystem service*” merupakan tema dominan yang sering muncul dan saling berkaitan erat dengan BGI dalam konteks perkotaan dan adaptasi iklim.
- Sementara itu, istilah seperti “*land suitability analysis*,” “GIS,” “*importance*,” “*influence*,” dan “*effect*,” menempati posisi strategis dalam perluasan arah penelitian ke pendekatan berbasis data dan evaluasi dampak. Hal ini konsisten dengan tren temporal yang ditunjukkan dalam *Overlay Visualization*, yaitu pergeseran dari pendekatan konseptual ke evaluatif dan teknologi.

Dengan demikian, *Density Visualization* ini memperkuat narasi bahwa penelitian tentang BGI berfokus kuat pada integrasi konsep-konsep ekologi dengan tata kelola kota, dan saat ini mulai bergerak ke arah pemanfaatan teknologi spasial serta pengukuran efektivitas terhadap kualitas lingkungan dan ketahanan perkotaan.



Tabel 4. Tahapan pembelajaran studi kasus melalui metode “learning by doing”

Strategi 1: Menyeleksi sejumlah praktik perencanaan BGI dari kota-kota di kawasan Asia Tenggara yang telah mengimplementasikannya, sebagai dasar studi kasus dalam penyusunan <i>Systematic Review</i>
Strategi 2: Menyajikan gambaran umum dari setiap studi kasus yang dipilih berdasarkan tujuan penelitian (<i>purposive sampling</i>), dengan menekankan pada metode implementasi BGI, karakteristik geografis kota, konfigurasi spasial wilayah, dan kondisi iklim setempat. Relevansi konteks tersebut menjadi dasar penting dalam pengembangan BGI, di mana hasil kajian sistematis akan diekstraksi dan diolah menjadi konsep pengembangan yang lebih kontekstual serta aplikatif.
Strategi 3: Mengeksplorasi dampak perubahan iklim terhadap lingkungan perkotaan dan strategi BGI di tiap studi kasus, mencakup identifikasi jenis, fungsi, dan elemen BGI baik ruang hijau (taman kota, hutan kota, taman atap, kebun, koridor hijau) maupun ruang biru (drainase, pengelolaan limbah, lahan basah, sungai, kolam, rawa). Setiap elemen dievaluasi berdasarkan kontribusinya terhadap mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Tahap ini juga merumuskan definisi serta tahapan perencanaan BGI secara sistematis di tiap kota yang dikaji.
Strategi 4: Analisis perbandingan lintas studi kasus terhadap tahapan perencanaan BGI dilakukan untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, pola strategis, dan potensi kesenjangan (<i>gap</i>) dari masing-masing kasus. Temuan ini menjadi dasar dalam merumuskan pendekatan perencanaan BGI yang lebih relevan dan adaptif terhadap konteks lokal.
Strategi 5: Mengekstraksi tahapan perencanaan BGI yang telah diterapkan pada kota-kota studi kasus, untuk kemudian disesuaikan dengan kebutuhan pengembangan adaptasi cerdas berbasis alam terhadap perubahan iklim. Tahap ini bertujuan untuk merumuskan rangkaian langkah strategis yang dapat dijadikan referensi dalam penyusunan model perencanaan BGI yang kontekstual.

Tabel 5. Kriteria inklusi yang ditetapkan

<i>Southeast Asian Region</i>	<i>BGI Elements Utilised</i>	<i>Planning Methods and Strategies</i>	<i>Regional Characteristics</i>
Seluruh kasus merupakan kota-kota di kawasan Asia Tenggara yang telah menerapkan BGI sebagai bagian dari strategi CCSA.	• Tersedianya jalur aksesibilitas penghubung eksisting (<i>connectivity</i>); • Tersedianya aset UGI ataupun <i>Blue-Green Infrastructure</i>; dan • Tersedianya lahan potensial untuk pengembangan ruang terbuka hijau sebagai fungsi ekologi perkotaan dan adaptasi iklim.	Memiliki metode dan langkah-langkah perencanaan yang jelas, runtut dan sistematis, yang bertujuan aplikasi <i>Blue-Green Infrastructure</i> . Tujuan dari penyusunan strategi perencanaan tersebut untuk menganalisis perbandingan, mengidentifikasi kesamaan, perbedaan di antara setiap praktik, serta menemukan kesenjangan (<i>gap</i>) yang mungkin terjadi.	• Kawasan yang berada di daerah aliran sungai (DAS) • Memiliki kondisi ekologi daerah aliran sungai dengan gangguan signifikan akibat dampak urbanisasi (antropogenik), dan memerlukan evaluasi menyeluruh dan perumusan strategi konservasi berbasis ekologi perkotaan. • Kawasan padat permukiman; • Kawasan dengan sistem sanitasi buruk dan sulitnya akses air bersih. • Kawasan topografi rendah, yang berpotensi memengaruhi karakteristik tata ruang dan kerentanannya terhadap bencana banjir yang tinggi.

Tabel 6. Studi Kasus Implementasi BGI di Kawasan Asia Tenggara

Judul	Lokasi	Jenis Karya Ilmiah	Sinonim	Peneliti/ Tahun
<i>Planning Steps of Urban Green Infrastructure in Existing Cities</i>	Singapore	Jurnal ilmiah	<i>Urban Green Infrastructure</i> (UGI)	(Abdulateef dan Al-Alwan 2022)
<i>Study on BGI Network to Reduce Local Flooding in The Central Hanoi, Vietnam</i>	Central Hanoi, Vietnam	Disertasi	<i>Blue Green Infrastruktur (Blue-Green Infrastructure)</i>	(Ngoc 2024)
<i>Urban Green Infrastructure Planning for the Bangkok Metropolitan Region: An Empirical Study for Greenspace Expansion.</i>	Bangkok, Thailand	Jurnal ilmiah	<i>Urban Green Infrastructure</i> (UGI)	(Pramanik et al. 2024)

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan “learning by doing.” Telah banyak menghasilkan temuan penting dalam perencanaan BGI (Kato dan Ahern 2008; Mell 2010; Lennon dan Scott 2014; Grădinaru dan Hersperger 2019; Abdulateef dan Al-Alwan 2022). Oleh karena itu, pendekatan ini dinilai relevan dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan pendekatan tersebut, peneliti menyusun tahapan metode secara sistematis sebagai pedoman untuk mencapai tujuan (Table 4). Pemilihan studi

kasus dilakukan berdasarkan sejumlah kriteria inklusi yang telah ditetapkan oleh peneliti (Tabel 5), guna memastikan arah penelitian tetap fokus dan relevansi dan dengan tujuan yang ingin dicapai.

Studi Kasus Kota di Singapura

Singapura merupakan negara kepulauan sekaligus negara kota yang terletak di kawasan Asia Tenggara, dengan luas wilayah sekitar 719 km². Negara ini beriklim tropis dan

Tabel 7. Strategi Perencanaan Infrastruktur Hijau Perkotaan (UGI) di Singapura.

Strategi	Uraian
1. Memaksimalkan manfaat jalur air yang ada	Melindungi dan mengoptimalkan jalur air yang ada sebagai dasar pembangunan jaringan <i>Urban Green Infrastructure</i> (UGI) yang kuat. Pengelolaan aset tidak hanya untuk mengurangi banjir, tetapi juga menambah fungsi sosial agar menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari, dengan tujuan mengharmoniskan manusia, air, dan lingkungan (Public Utilities Board Singapore 2024a). Menentukan kondisi limpasan saat ini dan yang direncanakan di lokasi.
2. Penentuan kondisi limpasan eksisting dan perencanaan	Perencanaan Infrastruktur Hijau dan Biru di Singapura didasarkan pada penilaian risiko banjir yang mempertimbangkan topografi dan jenis pengembangan. Strategi ini fokus pada penerapan UGI di pesisir timur dan selatan yang rawan banjir (Singapore 2013), dengan prioritas pada wilayah tersebut. Klasifikasi lokasi sebagai sumber, jalur, dan penerima risiko ditentukan berdasarkan jenis risiko di lokasi (Public Utilities Board Singapore 2024a).
3. Menentukan dan merancang aset UGI baru	Program ABC Waters menggunakan aset <i>Urban Green Infrastructure</i> (UGI) sebagai bagian dari strategi pengelolaan banjir berkelanjutan (Justin Victor V. Angeles 2014) dengan memanfaatkan solusi berbasis alam seperti elemen hijau, untuk mengendalikan limpasan air hujan (memperlambat, menyaring, dan menampung) (Liao 2019). Keberhasilan program ini bergantung pada integrasi berbagai aset UGI melalui langkah-langkah teknis, termasuk pemilihan lokasi berdasarkan rencana induk nasional, penilaian kondisi limpasan saat ini dan yang direncanakan, serta perancangan aset UGI yang sesuai untuk mengatur aliran keluar sesuai pedoman PUB Singapura, dengan mempertimbangkan ruang, topografi, pemeliharaan, dan keselamatan (Public Utilities Board Singapore 2024b).

Sumber: Adaptasi dari Program ABC, Singapore (Public Utilities Board Singapore 2024a)

pesisir, yang ditandai oleh suhu dan kelembapan yang tinggi serta curah hujan yang merata sepanjang tahun. Rata-rata hujan turun selama 178 hari dalam setahun, dengan badai yang umumnya datang dalam bentuk lonjakan monsun. Secara geografis, Singapura terdiri atas wilayah datar dengan kantong-kantong dataran rendah yang tersebar di bagian timur dan selatan. Kondisi geografis ini meningkatkan kerentanan terhadap banjir, terutama ketika curah hujan intens terjadi bersamaan dengan tingginya pasang air laut (Public Utilities Board Singapore 2024b). Meskipun menghadapi keterbatasan lahan, Singapura mengalami urbanisasi yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir, menjadikannya negara dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi ketiga di dunia (United Nations Department of Economic and Social Affairs 2016).

Pembangunan yang padat menyebabkan bertambahnya luas permukaan kedap air dan berkurangnya ruang terbuka hijau. Akibatnya, kemampuan alami kawasan untuk menyerap dan menyaring air hujan mengalami penurunan signifikan, yang kemudian meningkatkan volume limpasan permukaan dan memicu terjadinya banjir besar (Public Utilities Board Singapore 2024b). Selain sebagai penyebab banjir, limpasan ini juga menjadi sumber utama pencemaran badan air (Liao 2019).

Dalam menghadapi tantangan tersebut, pemerintah Singapura secara konsisten mengembangkan strategi cerdas untuk mengurangi risiko banjir dan mengoptimalkan pemanfaatan setiap tetes air hujan guna menjamin ketahanan air secara berkelanjutan (Angeles 2014; Arifin dan Kaswanto 2023). Program *Active, Beautiful, Clean Waters Programme* (ABC) mencakup berbagai subprogram dan aplikasi yang saling terintegrasi. Dalam penelitian ini, fokus utama diarahkan pada aspek pengelolaan air hujan berkelanjutan di Singapura, yang secara khusus membahas proses perencanaan UGI. Berdasarkan studi yang mengeksplorasi pengelolaan air hujan berkelanjutan di Singapura, tahapan perencanaan strategi UGI dapat dijelaskan pada Tabel 7.

Studi Kasus Hanoi – Vietnam

Hanoi, ibu kota Vietnam, terletak di antara 20°34'–21°18' LU dan 105°17'–106°02' BT. Dengan luas wilayah 3.359,82 km² dan populasi 8,4 juta jiwa, kota ini merupakan pusat perkotaan terbesar kedua di Vietnam. Mayoritas penduduk tinggal di 12 distrik pusat, sementara 17 distrik pinggiran didominasi oleh aktivitas pertanian (Ngoc 2024).

Secara geografis, kontur tanah Hanoi menurun dari utara ke selatan dan dari barat ke timur, mengikuti aliran sungai utama. Kota ini terdiri atas wilayah dataran rendah yang relatif datar dan wilayah pegunungan di utara dan barat pinggiran kota. Hanoi berada dalam zona iklim muson tropis yang panas dan lembap, dengan suhu tinggi pada April–Juni dan curah hujan tinggi pada Juni–September. Rata-rata curah hujan tahunan mencapai 1.760 mm (van Horen 2005), dengan 114 hari hujan per tahun yang kerap memicu banjir (Tran *et al.* 2020).

Proyek BGI diterapkan di Hanoi untuk mengurangi risiko banjir dan meningkatkan kualitas lingkungan. Kota ini terbagi menjadi 12 distrik pusat berpenduduk padat dan 17 distrik pinggiran yang didominasi pertanian dan koridor hijau. Survei menunjukkan kawasan pusat kota kekurangan Blue-Green Infrastructure, dengan taman dan danau yang tersebar serta dominasi permukaan kedap air seperti semen (Ngoc 2024).

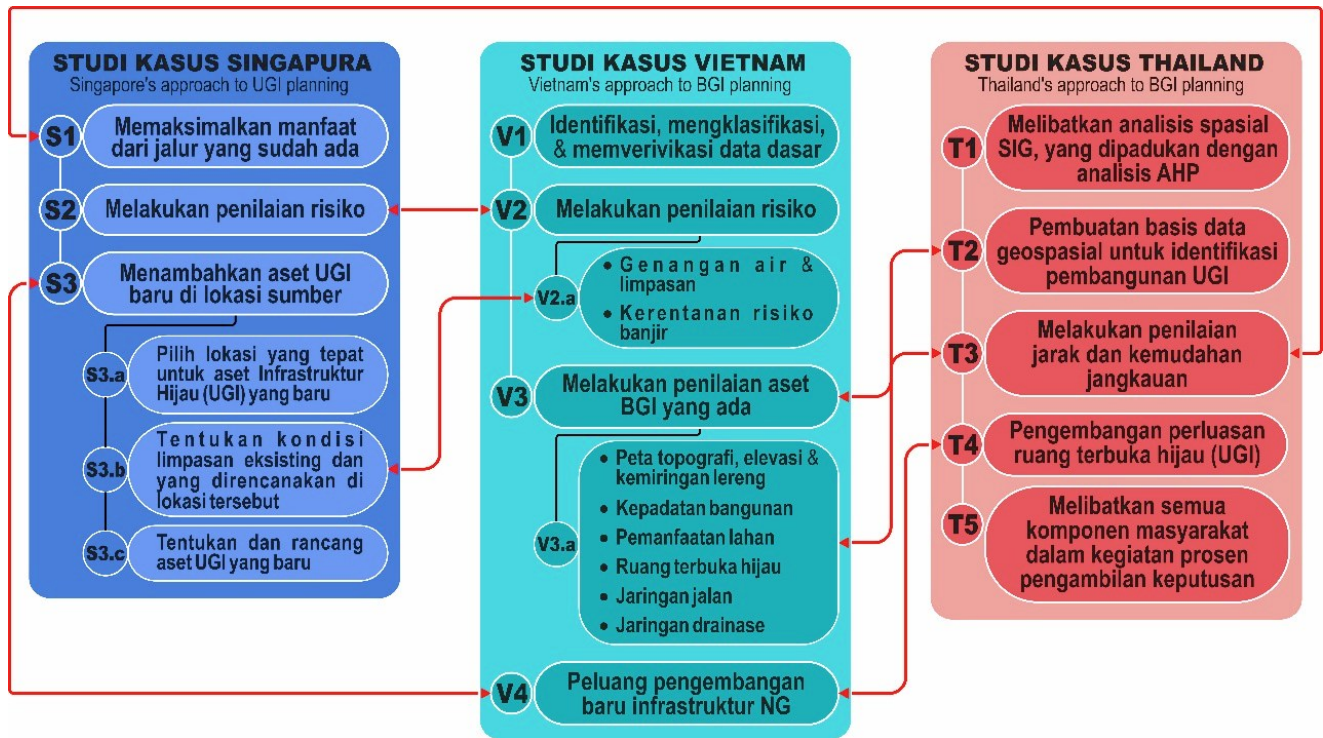
Sementara itu, wilayah pinggiran yang memiliki ruang hijau justru mengalami alih fungsi lahan pertanian, yang berdampak pada pencemaran air, degradasi ekosistem, berkurangnya keanekaragaman hayati, dan penurunan kualitas lanskap. Penerapan BGI menghadapi berbagai kendala, seperti rendahnya kesadaran masyarakat, keterbatasan anggaran, dan tantangan regulasi. Meskipun demikian, integrasi BGI terus didorong melalui kebijakan tata ruang. Sebagai respons, Pemerintah Vietnam meluncurkan *Hanoi Master Plan* (HMP) pada Juli 2011, dengan target menjadikan Hanoi sebagai kota berkelanjutan dan tangguh pada 2030, serta layak huni pada 2050. Kondisi alami Hanoi, seperti lokasinya di Delta Sungai Merah, hidrologi musiman, dan maraknya alih fungsi lahan, meningkatkan kerentanan terhadap banjir. Situasi ini diperburuk oleh infrastruktur yang tidak memadai. Dampak banjir tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga memengaruhi kesehatan masyarakat, ketersediaan air bersih, pendidikan, dan mata pencaharian.

Menurut Bank Dunia (McElwee 2010), antara 1985–2010, Vietnam mengalami 96 kejadian banjir, terutama di Delta Sungai Merah, pesisir tengah, dan Delta Mekong. Banjir terbesar di Hanoi terjadi pada tahun 2008 menyebabkan 92 kematian (Luo *et al.* 2018), kerusakan lebih dari 55.000 rumah, serta pengungsian sekitar 40.000 orang (Luo *et al.* 2018). Proses penelitian akan dilakukan dalam empat tahap utama. Tahap

Tabel 8. Strategi perencanaan BGI di Hanoi, Vietnam

Strategi	Uraian
1. Mengidentifikasi, mengklasifikasi, dan memverifikasi informasi dasar tentang kondisi fisik, sosial, lingkungan, dan tata ruang yang relevan dengan wilayah studi	Memanfaatkan metode survei lapangan, sketsa di lokasi, wawancara, atau pengumpulan data dari instansi pemerintah dan lembaga lokal, serta laporan terbuka, informasi, dan studi yang tersedia secara umum. Data yang dikumpulkan kemudian diklasifikasikan dan diproses (Ngoc 2024). - Memahami karakteristik eksisting wilayah: seperti topografi, infrastruktur, penggunaan lahan, dan kondisi lingkungan. - Mendapatkan informasi aktual dan faktual melalui metode (survei lapangan, wawancara, data primer dan data sekunder). - Menjadi dasar analisis lebih lanjut pada tahap berikutnya, seperti identifikasi permasalahan, potensi, dan penentuan strategi intervensi. - Membangun kerangka kerja spasial dan sosial yang tepat sesuai dengan kebutuhan lokal.
2. Melakukan analisis dan evaluasi mendalam terhadap data dan memilih faktor-faktor yang paling relevan dalam perhitungan dan pemodelan risiko atau potensi suatu wilayah secara ilmiah dan spasial.	- Melibatkan analisis, evaluasi, dan pemilihan faktor yang sesuai untuk perhitungan. Proses ini didasarkan pada dasar ilmiah dari studi yang telah ada dan pendapat para ahli guna meningkatkan akurasi hasil. Setelah itu, peta untuk faktor-faktor ini akan dikembangkan dalam lingkungan GIS (Ngoc 2024). - Menyaring dan memilih faktor-faktor penting dari hasil pengumpulan data awal (Step 1), agar hanya data yang relevan dan berdampak yang dipakai dalam analisis lanjutan. - Mengintegrasikan pendekatan ilmiah dengan referensi studi terdahulu dan masukan para ahli, agar proses analisis lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik dan profesional. - Mempersiapkan data spasial untuk dimasukkan ke dalam sistem informasi geografis (GIS), guna memudahkan visualisasi dan pemodelan.
3: Melakukan pemetaan spasial menggunakan data dan faktor yang telah dipilih, dengan tujuan menghasilkan visualisasi dan prediksi kondisi wilayah, serta melakukan verifikasi dan penyesuaian agar hasil model akurat dan dapat diandalkan.	Adalah fase pemodelan, di mana model dijalankan menggunakan perangkat lunak GIS. Hasilnya kemudian diverifikasi dan dilakukan penyesuaian pada model sesuai kebutuhan (Ngoc 2024). - Mengembangkan peta tematik berbasis GIS untuk setiap faktor penting seperti topografi, curah hujan, kepadatan penduduk, jenis tanah, penggunaan lahan, dan lainnya. - Menjalankan proses pemodelan menggunakan perangkat lunak GIS dalam hal ini ArcGIS, dengan input data yang sudah dianalisis dan dipetakan pada Step 2. - Membuat representasi spasial dalam bentuk peta tematik atau pemodelan digital yang menggambarkan kondisi tertentu (misalnya kepadatan penduduk, risiko banjir, sistem drainase, tingkat aksesibilitas, ruang terbuka hijau yang ada, dan pemanfaatan lahan). - Melakukan verifikasi hasil model untuk mengecek kesesuaian antara hasil pemodelan dengan kondisi riil di lapangan atau dengan data yang valid. - Melakukan penyesuaian model apabila ditemukan ketidaksesuaian, guna meningkatkan validitas dan keakuratan pemodelan. - Menghasilkan peta akhir atau model spasial yang siap digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, perencanaan wilayah, atau kebijakan mitigasi.
4. Ringkasan temuan yang menjadi rekomendasi pemodelan UGI baru.	Melalui analisis mendalam terhadap dinamika banjir kota, infrastruktur, dan karakteristik lingkungan, sejumlah temuan penting diperoleh (Ngoc 2024): - Penelitian ini memetakan kerentanan banjir berdasarkan sejumlah faktor, seperti tutupan lahan, jenis tanah, kemiringan lereng, serta kedekatan dengan badan air dan jaringan jalan. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat kerentanan banjir bervariasi antar wilayah, dengan beberapa area memiliki risiko tinggi akibat kondisi geografisnya. Meskipun Hanoi tidak tergolong rentan terhadap banjir besar yang bersifat katastrofik, kota ini tetap cukup rawan terhadap banjir berskala sedang, di mana sekitar 65% wilayahnya berada pada tingkat kerentanan sedang terhadap banjir. - Penilaian risiko banjir dilakukan dengan mempertimbangkan bahaya banjir, kerentanan, dan faktor paparan. Melalui analisis yang mengintegrasikan data alam, demografi, dan sosial-ekonomi, berbagai wilayah dengan tingkat risiko banjir yang berbeda teridentifikasi. Sebagian besar kota (sekitar 67%) tergolong dalam kategori risiko banjir sedang, dengan distrik-distrik perkotaan pusat menghadapi risiko yang lebih tinggi dibandingkan area lainnya. Faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, tingkat kemiskinan, dan probabilitas kejadian banjir memainkan peran penting dalam meningkatkan risiko banjir, memberikan wawasan krusial untuk perencanaan kota dan manajemen bencana. - Peta dan jaringan kesesuaian BGI dikembangkan untuk mengidentifikasi lokasi dan desain yang tepat bagi intervensi BGI di Hanoi. Dengan mempertimbangkan faktor spasial seperti kemiringan lereng, kepadatan bangunan, drainase, tutupan lahan, jenis tanah, dan kedekatan dengan jalan, area dengan potensi tinggi untuk pengembangan BGI berhasil teridentifikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa 39% lahan di Hanoi memiliki kesesuaian tinggi untuk BGI, sementara 53% lainnya menunjukkan kesesuaian sedang. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi pembuat kebijakan dan perencana kota untuk mengoptimalkan penggunaan lahan, meningkatkan ketahanan kota terhadap banjir, dan memperbaiki kondisi lingkungan perkotaan secara keseluruhan.

Sumber: Adaptasi dari Rencana Induk Hanoi (HMP)



Gambar 3. Analisis silang yang dilakukan pada tiga studi kasus: Singapura, Vietnam, dan Thailand

pertama mencakup pengumpulan data, identifikasi dan klarifikasi data. Tahap kedua berfokus pada persiapan faktor-faktor yang terlibat dalam proses analisis, tahap ketiga adalah tahap penggambaran data-data spasial (eksisting), dan tahap keempat tahap rekomendasi pemodelan.

Studi ini membahas risiko banjir perkotaan di Hanoi, Vietnam, serta mengeksplorasi kelayakan penerapan BGI sebagai pendekatan berkelanjutan untuk mengurangi risiko tersebut. Melalui analisis mendalam terhadap dinamika banjir, kondisi infrastruktur, dan karakteristik lingkungan Kota Hanoi – Vietnam Tabel 8.

Studi Kasus Bangkok – Thailand

Kota Bangkok adalah ibu kota Thailand dengan iklim tropis, terletak di antara 13° 45' 2.09" N, 100° 29' 33.29" E 13.75058, 100.49258, pada bagian tengah negara ini dan memiliki sejumlah fitur topografi yang unik. Kawasan Metropolitan Bangkok (BMR) berada di delta Sungai *Chao Phraya*, yang terletak di Teluk Thailand sepanjang garis pantai tengah negara. Kota ini terletak di sisi timur sungai, sekitar 40 kilometer (25 mil) dari Teluk Thailand. Sungai *Chao Phraya* memainkan peran penting dalam geografi Bangkok, membelah kota menjadi dua bagian, yaitu sisi barat dan sisi timur. Selain itu, sungai ini juga berfungsi sebagai jalur transportasi utama yang memengaruhi perkembangan dan perencanaan kota (Pramanik *et al.* 2024).

Dalam upaya memperluas ruang hijau di wilayah perkotaan, otoritas lingkungan Bangkok (BMA) memanfaatkan potensi berbagai lahan terbengkalai di kota mulai dari kolong jalan tol, sela antargedung, jalur pedestrian, hingga pinggir jalan kanal. Inisiatif ini diwujudkan melalui peluncuran *Green Bangkok 2030*, sebuah gerakan bersama yang melibatkan sektor pemerintah, pelaku usaha, dan masyarakat sipil untuk menciptakan kota yang lebih hijau dan ramah lingkungan.

Untuk mencapai tujuan Perjanjian Paris, Pemerintah Kerajaan Thailand menargetkan pengurangan emisi gas rumah kaca sebesar 20% hingga 25% pada tahun 2030 dibandingkan dengan skenario *Business As Usual* (BAU). Tahun 2030 juga merupakan tahun yang ditetapkan oleh

Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Proyek *Green Bangkok 2030* mendukung pencapaian SDG 11, yaitu Kota dan Komunitas yang Berkelanjutan, serta SDG 13, yaitu aksi iklim melindungi planet (C40CITIES 2020).

Proyek *Green Bangkok 2030* bertujuan menciptakan ruang hijau yang berkelanjutan dan berkualitas melalui lima indikator utama (C40CITIES 2020). Secara sosial, ruang hijau harus inklusif, mudah diakses, dan mendorong interaksi. Secara ekonomi, mampu mendukung ekonomi lokal, meningkatkan nilai lahan, dan menarik wisata. Dari aspek lingkungan, ruang hijau diharapkan memperkuat keanekaragaman hayati, mengurangi polusi, dan meredam pulau panas. Pengelolaan diarahkan pada efisiensi dengan dukungan teknologi. Keterlibatan komunitas menjadi kunci agar ruang hijau sesuai kebutuhan warga dan membangun rasa memiliki.

Penelitian ini menitikberatkan pada sejumlah aspek spasial dan ekologis, antara lain penggunaan atau tutupan lahan (*land use/land cover*), indeks bangunan terbangun (*normalized difference built-up index*), kedekatan dengan infrastruktur, nilai tanah, indeks vegetasi (*normalized difference vegetation index*), jarak terhadap badan air dan garis pantai, kedekatan dengan wilayah rawan banjir, serta karakteristik elevasi dan kemiringan topografi kawasan perkotaan (Tabel 9).

Untuk mengidentifikasi definisi yang paling umum digunakan serta menguraikan tahapan sistematis dalam perencanaan BGI, dilakukan analisis silang terhadap tiga studi kasus di Singapura, Vietnam, dan Thailand (Gambar 3). Setiap tahapan perencanaan dalam masing-masing praktik dikodekan dengan simbol yang terdiri atas huruf dan angka, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Huruf mewakili lokasi studi kasus "S" untuk Singapura, "V" untuk Vietnam, dan "T" untuk Thailand, sedangkan angka menunjukkan urutan logis dari setiap langkah, dimulai dari "1" sebagai tahap awal hingga seterusnya.

Analisis perbandingan antara strategi implementasi perencanaan UGI maupun BGI dari ketiga praktik tersebut menunjukkan beberapa poin penting yang disajikan dalam Tabel 10.

Tabel 9. Strategi Perencanaan Infrastruktur Hijau Perkotaan (UGI) di Bangkok, Thailand

Strategi	Uraian
1. Metode	Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan Analytic Hierarchy Process (AHP) dan Sistem Informasi Geografis (SIG), yang bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian lahan berdasarkan berbagai parameter peta, seperti: peta penggunaan lahan, peta aksesibilitas, peta topografi dan kemiringan lereng, peta kondisi lalu lintas, dan peta lainnya terkait dengan kondisi fisik lingkungan penelitian (Pramanik <i>et al.</i> 2024).
2. Pembuatan basis data geospasial untuk identifikasi lokasi ideal untuk pengembangan ruang terbuka hijau	Data satelit spasial, termasuk citra multispektral dan Model Elevasi Digital (DEM), bersama dengan lapisan vektor, menjalani pemrosesan komprehensif menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4. Teknik GIS memainkan peran penting dalam pembuatan basis data dan pengembangan berbagai peta kriteria. Proses Hirarki Analitik (AHP) kemudian digunakan untuk merumuskan kerangka kecocokan lokasi yang dirancang khusus untuk penciptaan ruang terbuka hijau di kota dengan menggunakan 14 peta kriteria (Pramanik <i>et al.</i> 2024). • Pembuatan basis data geospasial untuk identifikasi lokasi ideal pengembangan infrastruktur ruang hijau. • Faktor Pengondisi dalam Penilaian Kesesuaian Ruang Hijau: • Mencakup; a) Penggunaan lahan/tutupan lahan (LULC), b) Indeks Bangunan Tertutup Normalisasi (NDBI). c) Jarak dari infrastruktur, d) Nilai tanah, e) Jarak dari jalan, f) Kedekatan dengan titik lalu lintas, g) Jarak dari situs ekowisata, h) Jarak dari ruang hijau, i) Jarak dari badan air, j) Jarak dari garis pantai, k) Jarak dari daerah yang terendam banjir, dan l) Karakteristik elevasi perkotaan (topografi dan kemiringan).
3. Tahap analisis	Selanjutnya, penilaian aksesibilitas ke ruang terbuka hijau yang ada di dalam wilayah kota, yang penting untuk mengevaluasi kesetaraan ruang terbuka hijau, dilakukan dengan menggunakan alat AccessMod 5. Metodologi ini menambah wawasan signifikan dalam evaluasi pertumbuhan ruang terbuka hijau perkotaan dengan menawarkan cara yang sistematis untuk mengukur ketersediaan dan jangkauan ruang terbuka hijau. Akurasi dan ketergantungan studi ini ditingkatkan dengan penggabungan metodologi GIS dan alat khusus seperti AccessMod 5, yang menyediakan analisis yang kuat dan canggih. Dari analisis tersebut menunjukkan bahwa lokasi-lokasi ini dapat memberikan kondisi yang menguntungkan untuk penciptaan ruang hijau. Luas lahan yang tertutup oleh tanah gundul adalah 106,5 km ² , yang mencakup 6,73%; struktur bangunan mencakup 1198,5 km ² , yang mencakup 75,70%; tutupan vegetasi di bawah area yang terendam air adalah 269,4 km ² , yang mencakup 17,02%; vegetasi (selain area yang terendam air) adalah 2,4 km ² , yang mencakup 0,15%; dan badan air mencakup 6,4 km ² , yang mencakup 0,40% dari total luas area penelitian (Pramanik <i>et al.</i> 2024).
4. Tahap validasi	Keefektifan model bergantung pada akurasi, yang divalidasi melalui metode seperti kurva Receiver Operating Characteristics (ROC) untuk menganalisis kesesuaian lokasi ruang hijau. Perhitungan Area Under Curve (AUC) diperlukan untuk mengukur akurasi model. Nilai AUC berkisar antara 0 hingga 1.0, dengan nilai 1.0 menunjukkan kemampuan klasifikasi yang sempurna, dan nilai 0 berarti model tidak lebih baik dari acak (Pramanik <i>et al.</i> 2021).
5. Tahap identifikasi temuan dan tahap rekomendasi pemodelan	Penelitian ini merekomendasikan integrasi hasilnya ke dalam sistem pendukung keputusan untuk perencanaan kota, dengan menekankan perlunya pendekatan berkelanjutan dalam pengembangan ruang hijau perkotaan. Temuan penelitian menunjukkan pentingnya mempertimbangkan prinsip-prinsip ekologi dan konektivitas dalam merencanakan infrastruktur hijau. Selain itu, penelitian ini juga mengungkap tantangan yang dihadapi oleh Wilayah Metropolitan Bangkok akibat urbanisasi dan industrialisasi yang pesat, serta menekankan perlunya perencanaan yang cermat untuk menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dengan pelestarian lingkungan. Secara keseluruhan, temuan ini memberikan kontribusi signifikan terhadap diskusi mengenai perencanaan kota yang berkelanjutan dan manajemen penggunaan lahan, dengan menawarkan informasi penting tentang kesesuaian lahan untuk pengembangan ruang hijau perkotaan (Pramanik <i>et al.</i> 2024). Rekomendasi: • Integrasi SIG dan AHP untuk perencanaan ruang terbuka hijau di Bangkok; • Bagian selatan BMR dinilai sangat cocok untuk perencanaan infrastruktur ruang terbuka hijau UGI; • Bagian barat BMR menunjukkan aksesibilitas lebih tinggi terhadap ruang terbuka hijau; • Metode ini menandakan pendukung pertumbuhan metropolitan yang berfokus pada fasilitas infrastruktur; • Peta kesesuaian dan aksesibilitas ruang terbuka hijau digunakan sebagai dasar perencanaan strategis dalam mengidentifikasi dan mengembangkan potensi perluasan ruang terbuka hijau di kawasan penelitian; • Melakukan penghitungan efektivitas vegetasi dalam menurunkan tingkat polusi udara dan meredam efek pulau panas perkotaan melalui proses evapotranspirasi; dan • Memastikan bahwa perencanaan dan implementasi infrastruktur biru-hijau selaras dengan prinsip ekologi, termasuk keberlanjutan siklus air, keanekaragaman hayati, serta konektivitas ekologis antar ruang terbuka hijau dan biru untuk mendukung fungsi ekosistem yang saling terhubung secara optimal.
7. Pembuatan dokumen manajemen pemeliharaan	Dokumen manajemen pemeliharaan berfungsi sebagai panduan strategis untuk menjamin keberlanjutan kualitas ruang hijau dan infrastruktur secara optimal. Melalui pelaksanaan perawatan berkala yang efisien, dokumen ini memungkinkan evaluasi dini terhadap kondisi aset, sehingga mencegah kerusakan besar dan secara signifikan menekan biaya jangka panjang yang timbul akibat perbaikan menyeluruh.

Sumber: Adaptasi dari Program Green Bangkok

Tabel 10. Analisis komparatif antara Singapura, Vietnam, dan Thailand

Strategi	Skenario
1	Skenario "S1" berfokus pada upaya memaksimalkan manfaat dari jalur (<i>path</i>), yaitu dengan mengoptimalkan akses yang telah ada melalui penataan dan penghijauan di sepanjang jalur tersebut. Berbeda dengan pendekatan "T3", yang lebih menitikberatkan pada analisis kemudahan pencapaian menuju ruang terbuka hijau, serta menawarkan metode yang sistematis untuk mengukur tingkat ketersediaan dan jangkauan ruang terbuka hijau.
2	Skenario "S2" melakukan analisis penilaian risiko, sebagaimana dilakukan juga pada skenario "V2". Keduanya bertujuan untuk menggambarkan dan memahami potensi risiko serta pola dampak perubahan iklim di wilayah studi, mengingat kedua kawasan tersebut memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap risiko banjir.
3	Skenario "S3" difokuskan pada identifikasi lokasi yang tersedia untuk pengembangan UGI potensial di wilayah studi. Berbeda dengan skenario "V3" yang menekankan penilaian kelayakan terhadap aset BGI yang telah ada. Sementara itu, skenario "T3" menganalisis tingkat aksesibilitas menuju fasilitas UGI di kawasan kota, dengan tujuan memberikan informasi terkait kemudahan akses, kesetaraan pemanfaatan, dan kenyamanan penggunaan UGI.
4	Skenario "S3.a", yang merupakan turunan dari skenario "S3", menekankan pada pemilihan dan penentuan lokasi yang tepat untuk pengembangan UGI baru, dengan mempertimbangkan kapasitas dukung infrastruktur biru serta risiko banjir yang kerap terjadi di wilayah studi. Sementara itu, langkah "V3.a" sebagai bagian dari skenario "V3" berfokus pada analisis spasial-geometrik ruang dalam merespons dampak perubahan iklim, melalui optimalisasi infrastruktur hijau dan biru yang telah ada. Adapun skenario "T4" mengevaluasi peluang perluasan UGI dengan pendekatan peningkatan ekosistem, penguatan ekonomi lokal, serta pengelolaan ruang hijau yang menekankan efisiensi dalam biaya dan tenaga pemeliharaan.
5	Skenario "S3.c" memodelkan titik-titik pengembangan UGI yang telah ditentukan, dengan memperhatikan aspek mitigasi terhadap potensi risiko bencana di kawasan studi. Sementara itu, strategi "V4" memanfaatkan hasil verifikasi terhadap kesesuaian dan kelayakan dari penilaian pada skenario "V3" sebagai dasar dalam mengidentifikasi peluang pengembangan BGI baru, yang tentunya telah memperhitungkan potensi genangan air dan limpasan. Adapun skenario "T5" menitikberatkan pada keterlibatan partisipatif komunitas dan warga dalam proses pengambilan keputusan untuk pengembangan UGI pada skala yang lebih makro.
6	Meskipun tidak secara eksplisit disebutkan sebagai langkah dasar dalam pengembangan UGI maupun GBI, kecuali pada "V1" (evaluasi kondisi eksisting) proses ini sebenarnya merupakan bagian implisit yang dilakukan dalam semua studi kasus.

Membandingkan langkah-langkah yang serupa menunjukkan adanya sejumlah perbedaan rinci dalam pendekatannya. Sebagai contoh, skenario "S2" dan "V2" sama-sama berfokus pada proses identifikasi dan penilaian risiko dampak perubahan iklim, khususnya limpasan air akibat bencana banjir, melalui upaya perlindungan serta peningkatan aset UGI - BGI yang telah ada.

Sementara itu, skenario "T3" lebih menitikberatkan pada aspek aksesibilitas, yaitu menilai kemudahan pencapaian, kesetaraan dalam pemanfaatan, serta kenyamanan penggunaan ruang hijau UGI. Selain itu, skenario "T3" juga mengintegrasikan prinsip-prinsip ekologi, sosial, dan ekonomi secara holistik dalam penguatan konektivitas antar ruang.

Pembahasan

Ekstraksi Strategi Pemodelan Blue-Green Infrastructure

Melalui analisis tiga studi kasus, para perencana menemukan bahwa perencanaan BGI umumnya mengikuti pola yang serupa, tetapi berbeda dalam definisi dan urutan langkah implementasi karena dipengaruhi oleh konteks lokal masing-masing kota. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, peneliti menyintesis teori dan studi kasus praktis terbaik (*best-practice*) serta merumuskan kerangka konseptual yang memuat delapan strategi dasar sebagai tahapan BGI untuk adaptasi spasial terhadap perubahan iklim CCSA di kawasan perkotaan eksisting. Kerangka ini bertujuan menjadi pedoman praktis untuk memperkuat ketahanan lingkungan dan tata kelola ruang dan lanskap yang adaptif terhadap perubahan iklim, pencemaran, dan tekanan ekologis lainnya dengan mengadaptasi *nature based solutions* (Tabel 11, Gambar 4).

Kesenjangan Pengetahuan dan Tantangan Implementasi Infrastruktur Biru-Hijau dalam Konteks Kawasan Perkotaan yang Padat Penduduk.

Keterbatasan data mengenai desain dan implementasi praktis masih menjadi hambatan utama (Tabel 12). Oleh karena itu, diperlukan simulasi skenario integrasi antara BGI dan infrastruktur abu-abu guna memahami kebutuhan investasi serta efektivitasnya dalam menghadapi tantangan seperti penurunan tanah dan kenaikan muka air laut. Ke depan, pendekatan eksperimental yang sistematis dengan mempertimbangkan proyeksi perubahan iklim menjadi sangat penting. Kajian biaya dan manfaat sosial, termasuk kontribusinya terhadap mitigasi panas perkotaan, juga perlu diperluas untuk menggali potensi sinergi dan multifungsi BGI secara lebih mendalam.

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik yang divisualisasikan menggunakan VOSviewer, Untuk mengidentifikasi kekosongan atau celah penelitian dalam kajian mengenai BGI di kawasan Asia Tenggara, dilakukan analisis gap sebagaimana disajikan pada Tabel 13.

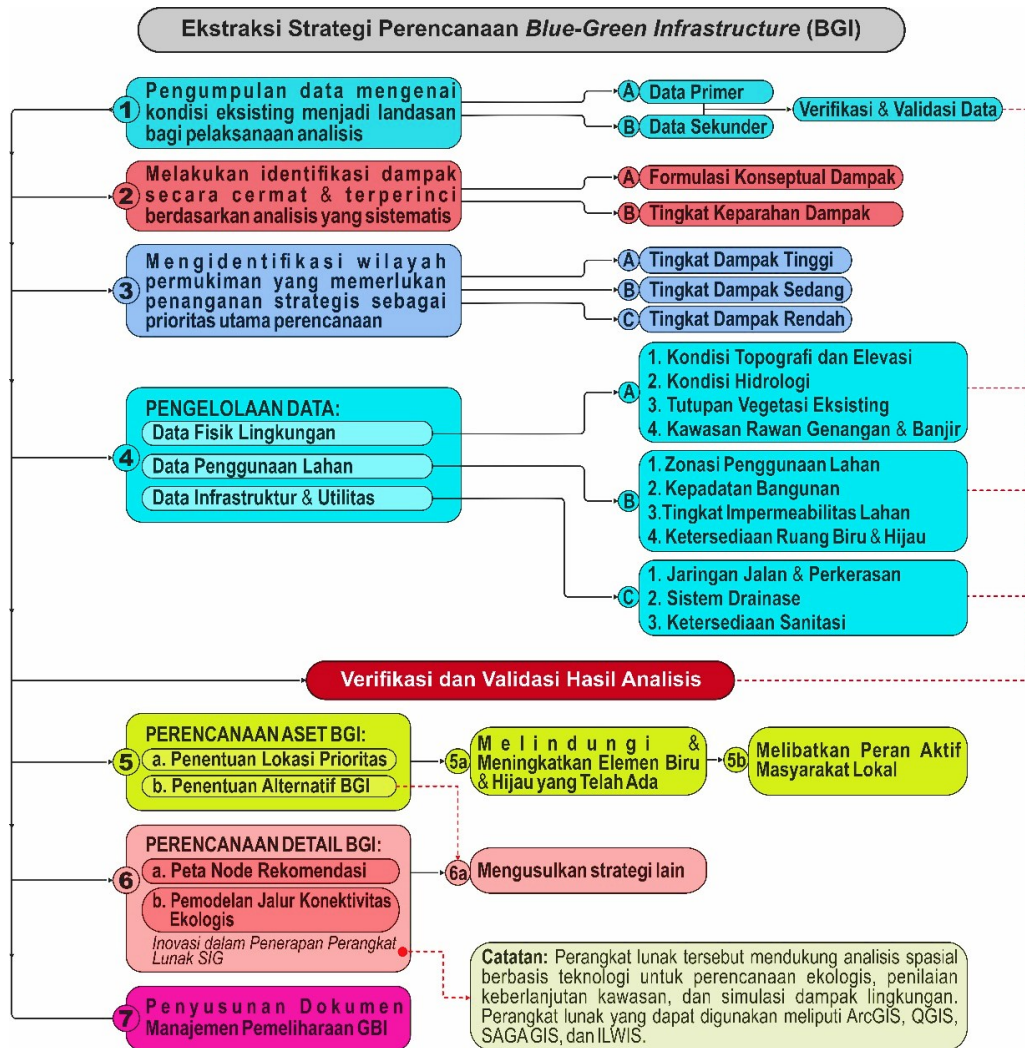
SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil studi melalui visualisasi bibliometrik menunjukkan bahwa kajian BGI di Asia Tenggara masih terbatas secara geografis, kebijakan, dan pendekatan berbasis bukti. Hal ini menegaskan pentingnya riset kontekstual yang mengintegrasikan BGI dalam kebijakan pembangunan kawasan padat dan rentan hidrometeorologi. Studi yang ada belum banyak mengeksplorasi hubungan BGI dengan mitigasi bencana, pengelolaan air sisa pakai, teknologi spasial

Tabel 11. Sintesis strategi hasil ekstraksi di tiga negara: Singapura, Vietnam, dan Thailand

Strategi	Strategi yang Disesuaikan dengan Studi Kasus	Skenario
Strategi 1: Identifikasi dampak secara tepat	Walaupun secara eksplisit tidak disebutkan ketiga studi kasus diyakini telah membahasnya	Dalam merancang strategi berbasis <i>Blue-Green Infrastructure</i> , strategi awal yang krusial adalah menganalisis dampak perubahan iklim secara komprehensif. Proses ini mencakup mengidentifikasi jenis dampak, menilai intensitasnya, serta mengevaluasi faktor-faktor penyebab yang berkontribusi. Lebih jauh lagi, diperlukan kemampuan mencipta proyeksi jangka panjang untuk memperkirakan risiko yang mungkin timbul di masa depan, sebagai adaptasi terhadap perubahan iklim.
Strategi 2: Identifikasi kawasan berisiko tinggi	S2 dan V2	Strategi ini difokuskan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan area yang memiliki urgensi tinggi dalam penerapan <i>Blue-Green Infrastructure</i> . Penentuan prioritas dilakukan melalui proses analisis risiko, yang didasarkan pada pemetaan tumpang tindih antara dua elemen utama, yakni tingkat intensitas dampak (hasil dari tahap sebelumnya) dan tingkat kerentanan lokal. Tingkat kerentanan ini dievaluasi secara spesifik berdasarkan sektor yang menjadi fokus intervensi, baik itu masyarakat, struktur bangunan, maupun sistem ekologi di kawasan tersebut.
Strategi 3: Pengumpulan data kondisi eksisting	V1 dan T2, S1 juga membahas walaupun secara eksplisit tidak disebutkan	Strategi ini merupakan tahapan yang mencakup pengumpulan dan pengorganisasian data spasial maupun non-spasial yang berkaitan dengan kondisi fisik di wilayah prioritas tinggi. Informasi yang dihimpun meliputi lokasi geografis, luas total area, batas administratif, konfigurasi geometri kawasan permukiman informal, pola penggunaan lahan dan tutup lahan, status kepemilikan bangunan, ketentuan hukum dan peraturan lokal, serta rencana pembangunan yang sedang berlangsung maupun yang direncanakan di masa depan. Selain itu, faktor-faktor penghambat di tingkat lokal juga perlu diidentifikasi. Seluruh parameter tersebut harus disajikan dalam bentuk representasi spasial (lapisan peta) dan data dalam bentuk tabel guna mendukung analisis lanjutan secara lebih efektif.
Strategi 4: Perlindungan dan peningkatan elemen hijau dan biru yang ada	V3	Strategi ini melibatkan dua aktivitas utama, yaitu identifikasi dan pemetaan aset hijau eksisting, serta perumusan kebijakan strategis yang mendukung pengelolaan dan pengembangannya. Kebijakan tersebut ditujukan untuk melindungi, mengoptimalkan, dan merehabilitasi aset BGI berdasarkan analisis menyeluruh terhadap kondisi masa lalu, situasi terkini, dan potensi keberlanjutan di masa depan. Fokus dari strategi ini adalah mempertahankan dan mengembalikan fungsi optimal dari aset yang telah bekerja dengan baik serta meningkatkan kinerja aset yang belum mencapai potensi maksimalnya. Selain itu, penting untuk mengevaluasi kemampuan multifungsi dari BGI yang ada sebagai bagian dari upaya memperkuat kontribusinya terhadap kesejahteraan masyarakat dan pertumbuhan ekonomi lokal.
Strategi 5: Penambahan aset BGI baru	S3, V4 dan T4	Strategi ini terdiri atas beberapa sub-proses penting, yang dimulai dengan identifikasi lokasi strategis, baik berupa ruas jalan maupun bidang lahan tertentu, yang memiliki potensi untuk pengembangan BGI. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap ketersediaan dan kelayakan lokasi, mencakup aspek teknis, sosial, dan legal. Setelah itu, dilakukan penentuan jenis BGI yang paling sesuai untuk masing-masing lokasi berdasarkan karakteristik lingkungan setempat. Proses ini juga mencakup seleksi alternatif BGI yang paling efektif berdasarkan pertimbangan multifungsi, efisiensi ruang, dan dampak lingkungan. Terakhir, aset-aset BGI yang telah dipilih dikelompokkan ke dalam unit-unit yang serupa dan berdekatan secara spasial guna mempermudah integrasi dalam skala kawasan.
Strategi 6: Modeling	S3.c, V3.a, T4, dan T5	Strategi ini mencakup penyusunan peta komprehensif yang memadukan antara aset BGI yang telah ada dengan usulan pengembangan baru dalam satu peta dasar. Tujuan utamanya adalah untuk memahami secara menyeluruh distribusi spasial BGI serta mengevaluasi efektivitas lingkungan sekitarnya. Melalui peta tersebut, peneliti dapat menyajikan jarak antara jaringan infrastruktur hijau yang satu dengan yang lainnya, serta mengidentifikasi lokasi-lokasi yang memerlukan intervensi lebih lanjut. Informasi ini juga menjadi dasar untuk merumuskan solusi yang sesuai dan berbasis data. Strategi ini juga merekomendasikan melibatkan seluruh komponen masyarakat setempat, praktisi, akademisi dan stakeholder untuk hasil yang maksimal.
Strategi 7: Penyusunan Dokumen Manajemen Pemeliharaan	T4.c	Strategi terakhir adalah penyiapan dokumen manajemen pemeliharaan, yang merupakan proses sistematis untuk menjaga, melindungi, dan mengevaluasi kegiatan pemeliharaan guna memastikan bahwa fasilitas BGI tetap berfungsi secara optimal, aman, dan berkelanjutan. Dokumen tersebut akan digunakan untuk BGI yang direncanakan sebagai asset baru ataupun BGI yang sudah ada sebelumnya.
Strategi 8: Sinergi Lintas Disiplin dan Masyarakat	5.b	Libatkan seluruh elemen masyarakat, para ahli lintas disiplin, serta pemangku kepentingan terkait.



Gambar 4. Visualisasi strategi perencanaan BGI berdasarkan hasil ekstraksi data

Tabel 12. Tinjauan kesenjangan pengetahuan utama terkait BGI

Blue-Green Infrastructure	Blue-Green Infrastructure
Apakah perlu dilakukan studi pemantauan jangka pendek dan jangka panjang terhadap Blue-Green Infrastructure eksisting, pada skala daerah aliran sungai atau sub-daerah aliran sungai, untuk memberikan bukti mengenai kinerja BGI.	(Hatt <i>et al.</i> 2008; Walsh <i>et al.</i> 2015)
Bagaimana peluang pengembangan kapasitas pemodelan serta melakukan analisis skenario dengan berbagai kombinasi antara infrastruktur biru-hijau dan infrastruktur abu-abu (<i>greywater</i>), khususnya pada kawasan eksisting.	(Joshi <i>et al.</i> 2021)
Bagaimana memanfaatkan air bekas (<i>greywater</i>), termasuk air hujan di kawasan permukiman informal yang memiliki keterbatasan akses terhadap sistem sanitasi modern, sehingga dapat menjadi solusi alternatif yang efektif.	(Limthongsakul <i>et al.</i> 2017; Zhang <i>et al.</i> 2020)
Peluang pengembangan budidaya pertanian modern (insentif) yang ramah lingkungan di sepanjang aliran sungai dapat menjadi upaya efektif untuk konservasi sungai serta peningkatan ekologi perkotaan.	(Agus <i>et al.</i> 2006; Hamzens dan Moestopo 2018; Payne <i>et al.</i> 2019)
Atap hijau memiliki potensi untuk dikembangkan di kawasan permukiman informal yang padat sebagai strategi mitigasi efek pulau panas melalui <i>evapotranspirasi</i> , sekaligus berperan dalam mengurangi limpasan air hujan yang langsung ke sistem drainase.	(O'Donnell <i>et al.</i> 2021; Gupta <i>et al.</i> 2024; Saleh <i>et al.</i> 2025)
Konservasi vegetasi riparian di bantaran sungai merupakan langkah strategis untuk memulihkan fungsi ekologis sungai perkotaan sebagai habitat alami spesies lokal. Upaya ini mendukung kelestarian lingkungan sekaligus memperkuat peran sungai sebagai ekosistem yang tidak hanya berkelanjutan, namun juga sebagai elemen estetis.	(Marteau <i>et al.</i> 2018; Luke <i>et al.</i> 2019)
Bagaimana pemodelan BGI dapat secara sistematis memasukkan perubahan iklim di masa depan dalam skenario pemodelannya.	(Zhang <i>et al.</i> 2019; Zhang <i>et al.</i> 2020)
Bagaimana melibatkan seluruh pemangku kepentingan, mendorong kerja sama antar disiplin ilmu, dan mendorong kolaborasi interdisipliner antara berbagai pihak dari berbagai bidang dalam perencanaan untuk menghasilkan solusi yang lebih holistik dan efektif dalam pengembangan BGI.	(Satterthwaite <i>et al.</i> 2020; Zhang <i>et al.</i> 2020)

Tabel 13. Analisis Kesenjangan dalam Topik Infrastruktur Biru-Hijau (Blue-Green Infrastructure) di Asia Tenggara

Kesenjangan	Temuan	Kekosongan	Rekomendasi
Konsentrasi topik di 'blue green infrastructure' dan 'city'.	Tema "blue green infrastructure" dan "city" mendominasi dengan keterhubungan sangat tinggi.	Kurangnya eksplorasi terhadap konteks sosial dan kelembagaan dalam penerapan BGI di kota-kota berkembang.	Perlu penelitian yang menggali dinamika sosial-politik dan tata kelola lokal dalam implementasi BGI di Asia Tenggara.
Dominasi wilayah negara tertentu.	Negara seperti Filipina dan Indonesia, muncul namun sebagian besar referensi masih terfokus pada studi kasus perkotaan tertentu.	Minimnya literatur tentang negara-negara lain di Asia Tenggara seperti Laos, Myanmar, atau Brunei.	Perluasan kajian ke negara-negara Asia Tenggara lain untuk menciptakan pemahaman regional yang lebih menyeluruh
Ketimpangan antara konsep dan implementasi.	Terdapat banyak istilah konseptual seperti "ecosystem service", "concept", "strategy", namun keterkaitan dengan kata "application" dan "implementation" sangat rendah.	Indikasi bahwa BGI lebih banyak dibahas secara teoritis daripada diimplementasikan secara nyata.	Dorong penelitian berbasis praktik (practice-based research) dan dokumentasi proyek nyata BGI di lapangan.
Minimnya keterhubungan antara "Nature base Solutions" dan "Blue-Green Infrastructure".	Meskipun keduanya saling terkait, kata "Nature base Solutions" tidak menunjukkan konektivitas yang kuat dengan istilah kunci seperti "blue green infrastructure".	Kurangnya integrasi antara kerangka Nature base Solutions dengan pendekatan BGI secara eksplisit.	Perlunya penguatan kerangka konseptual yang menghubungkan Nature base Solutions dengan BGI, khususnya dalam konteks urban Asia Tenggara.
Fokus yang rendah pada risiko bencana dan iklim	Istilah seperti "climate change" dan "flood risk" ada tetapi tidak menonjol dan kurang terkoneksi langsung dengan Blue-Green Infrastructure.	Aspek mitigasi dan adaptasi bencana dalam kerangka Blue-Green Infrastructure belum menjadi perhatian utama.	Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menekankan Blue-Green Infrastructure sebagai strategi pengurangan risiko bencana di wilayah rentan seperti Asia Tenggara.
Kurangnya pendekatan evaluatif.	Istilah seperti "effect", "importance", dan "evidence" muncul secara sporadis.	Tidak cukup bukti yang menunjukkan evaluasi atau pengukuran dampak implementasi BGI.	Perlu metode evaluasi berbasis indikator yang jelas untuk menilai efektivitas BGI dalam berbagai konteks kota.

(ArcGIS, QGIS, SAGA GIS, ILWIS) dalam pemodelan kota, intensifikasi pertanian urban, serta pelibatan masyarakat. Hal ini menunjukkan perlunya pendekatan aplikatif yang relevan dengan konteks Asia Tenggara dan negara berkembang.

Penelitian ini menawarkan kontribusi orisinal melalui empat inovasi: (1) fokus geografis pada Asia Tenggara; (2) sintesis lintas studi kasus di tiga negara dengan pendekatan CCSA berbasis *Nature base Solutions*; (3) integrasi kerangka konseptual ke dalam sistem manajemen risiko bencana, terutama banjir; dan (4) pendekatan interdisipliner yang menggabungkan teknologi spasial dan evaluasi sistem tata ruang. Inovasi ke (5) adalah penguatan dimensi sosial-humanistik melalui pelibatan aktif masyarakat, untuk mengoreksi dominasi pendekatan teknokratis yang mengabaikan aspek inklusif dan keberlanjutan sosial.

Hasil ekstraksi dari berbagai studi menunjukkan adanya pola umum sekaligus variasi dalam definisi dan tahapan implementasi BGI. Penelitian ini berhasil merumuskan secara sintesis delapan strategi utama (Tabel 11) yang adaptif terhadap tantangan lokal, termasuk analisis dampak dan kerentanan, pemilihan lokasi, studi kelayakan, serta keterlibatan lintas pemangku kepentingan, sebagaimana disajikan pada Gambar 4.

Saran

Keterbatasan kajian ini terletak pada penggunaan literatur berbahasa Inggris dari satu basis data dan satu kata kunci (Esmail dan Suleiman 2020). Karena itu, riset lanjutan perlu memperluas terminologi dan sumber data, khususnya dalam konteks tropis Asia Tenggara.

Meskipun belum mewakili seluruh pengetahuan BGI di Asia Tenggara, studi ini memperkuat asumsi bahwa prinsip BGI sesuai dengan kondisi ekologis regional. Hambatan teknis tidak signifikan, namun minimnya data empiris menjadi tantangan utama, karena sebagian besar studi masih berbasis simulasi atau tinjauan literatur.

Ke depan, riset BGI perlu berfokus pada pemantauan jangka pendek dan panjang, serta kolaborasi lintas disiplin antara akademisi, praktisi, dan pembuat kebijakan. Transfer pengetahuan dari program seperti ABC Waters (Singapura) (Abdulateef dan Al-Alwan 2022), Hanoi Master Plan (Ngoc 2024), Green Bangkok 2030 (Pramanik *et al.* 2024), dan inisiatif di Indonesia (Payne *et al.* 2019), menjadi referensi penting. Forum akademik dan ilmiah juga berperan strategis dalam mempercepat adopsi BGI, seperti terbukti di Amerika Serikat (Meerow 2020) dan Uni Eropa (Hansen dan Pauleit 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulateef MF, Al-Alwan HAS. 2022. Planning Steps of Urban Green Infrastructure in Existing Cities. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum* 21(4): 465–478. <https://doi.org/10.31648/aspl.7815>.
- Agus F, Irawan I, Suganda H, Wahyunto W, Setiyanto A, Kundarto M. 2006. Environmental Multifunctionality of Indonesian Agriculture. *Paddy and Water Environment* 4(4): 181–188. <https://doi.org/10.1007/s10333-006-0047-5>.
- Ahern J. 2014. Green Infrastructure for Cities: the Spatial Dimension. Di dalam: *Cities of the Future: Towards*

- Integrated Sustainable Water and Landscape Management*. IWA Publishing. hlm. 267–283.
- Angeles JV V. 2014. Water Quality Modelling for Recreational Use in the Kallang River Basin, Singapore. Massachusetts Institute of Technology.
- Arifin HS, Kaswanto RL. 2023. Manajemen Ruang Terbuka Biru untuk Pengendali Banjir. IPB Press. Bogor.
- Ariyaningsih, Sukmara RB, Pratomo RA, Wijaya N, Shaw R. 2024. Blue-Green Infrastructure for Flood Resilience: Case Study of Indonesia. Di dalam: *Blue-Green Infrastructure for Sustainable Urban Settlements*. Cham: Springer Nature Switzerland. hlm. 247–273.
- Aziizah NA, Budiarti T. 2024. Evaluasi Fungsi Ekologis Taman Kota pada Lanskap Riparian Sungai Cimanuk, Indramayu. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(2): 109–116. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.44391>.
- C40CITIES. 2020. The Green Bangkok 2030 Project. C40. [diunduh 2026 Jun 15]. Tersedia pada: <https://www.c40.org/case-studies/the-green-bangkok-2030-project/>
- Czerniak J, Hargreaves G. 2007. *Large Parks*. Czerniak J, Hargreaves G, editor. New York: Princeton Architectural Press.
- Davoudi S. 2009. Framing the Role of Spatial Planning in Climate Change. Report No.: 43.
- Demuzere M, Orru K, Heidrich O, Olazabal E, Geneletti D, Orru H, Bhawe AG, Mittal N, Feliu E, Faehnle M. 2014. Mitigating and Adapting to Climate Change: Multi-Functional and Multi-scale Assessment of Green Urban infrastructure. *Journal of Environmental Management* 146: 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025>.
- Dewi AP, Arifin HS, Munibah K, Machfud M, Kaswanto RL, Nurhayati, Septian DE, Prawira SK. 2026. Quantifying Ecosystem Services of Urban Green Spaces Using i-Tree Canopy: Evidence from a Rapidly Urbanizing Region in Indonesia. *Ecological Engineering and Environmental Technology* 27(6): 59–75. <https://doi.org/10.12912/27197050/220998>
- Esmail BA, Suleiman L. 2020. Analyzing Evidence of Sustainable Urban Water Management Systems: A Review Through the Lenses of Sociotechnical Transitions. *Sustain* 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114481>.
- Fazali MFA, Arifin HS, Kaswanto RL. 2025. Pengelolaan Situ sebagai Ruang Terbuka Biru yang Berkelanjutan di Sekitar Kawasan Kampus IPB. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 12(2): 95–107. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v12i2.63018>
- Felson AJ, Pickett ST. 2005. Designed Experiments: New Approaches to Studying Urban Ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(10): 549–556. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0549:DENATS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0549:DENATS]2.0.CO;2).
- Grădinaru SR, Hersperger AM. 2019. Green Infrastructure in Strategic Spatial Plans: Evidence from European Urban Regions. *Urban For. Urban Green* 40(May 2018): 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.018>.
- Gupta K, Ghale B, Sarath R, Kaur R, Roy A. 2024. Understanding the Role of Blue-Green Infrastructure in Abatement of Urban Heat Island Effect. Di dalam: Joshi PK, Rao KS, Bhadouria R, Tripathi S, Singh R, editor. *Blue-Green Infrastructure for Sustainable Urban Settlements*. Cham: Springer Nature Switzerland. hlm. 83–109.
- Hakim AL, Sulistiyantara B. 2024. Perencanaan Green Infrastructure pada Kawasan Transit Oriented Development (TOD) Lebak Bulus, Jakarta Selatan. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(2): 99–108. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.39278>.
- Hamel P, Tan L. 2022. Blue-Green Infrastructure for Flood and Water Quality Management in Southeast Asia: Evidence and Knowledge Gaps. *Environmental Management* 69(4): 699–718. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01467-w>.
- Hamzens WPS, Moestopo MW. 2018. Pengembangan Potensi Pertanian Perkotaan di Kawasan Sungai Palu. *Jurnal Pengembangan Kota* 6(1): 75–83. <https://doi.org/10.14710/jpk.6.1.75-83>.
- Hansen R, Pauleit S. 2014. From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas. *Ambio* 43(4): 516–529. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0510-2>.
- Harlis TA, Seo SB. 2024. Land Suitability Analysis for Blue-Green Infrastructure Implementation in an Urban Stormwater Management System in Surabaya, Indonesia. *Water Science & Technology* 90(5): 1501–1519. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.265>.
- Hatt BE, Fletcher TD, Deletic A. 2008. Hydraulic and Pollutant Removal Performance of Fine Media Stormwater Filtration Systems. *Environmental Science & Technology* 42(7): 2535–2541. <https://doi.org/10.1021/es071264p>.
- van Horen B. 2005. City Profile Hanoi. *Cities* 22(2): 161–173. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2005.01.006>.
- Hunt A, Watkiss P. 2011. Climate Change Impacts and Adaptation in Cities: A Review of the Literature. *Climatic Change* 104(1):13–49. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9975-6>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change., Ed ke-1st Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, Roberts D, Skea J, Shukla PR, editor. Cambridge, New York, Melbourne, New Delhi, Singapore: Cambridge University Press.
- International Energy Agency. 2024. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/space-cooling>. *Energy Syst.* [diunduh 2026 Jun 15]. Tersedia pada: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/space-cooling>
- Joshi P, Leitão JP, Maurer M, Bach PM. 2021. Not All SuDS are Created Equal: Impact of Different Approaches on Combined Sewer Overflows. *Water Research* 191:116780. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116780>.
- Kato S, Ahern J. 2008. Learning by Doing: Adaptive Planning as a Strategy to Address Uncertainty in Planning. *Journal of Environmental Planning and Management* 51(4): 543–559. <https://doi.org/10.1080/09640560802117028>.
- Kaushik P, Kakoty S. 2025. Is the Blue-Green Infrastructure (BGI) Key to Sustainable Development of South Asian Cities? Di dalam: Anand S, Bhattacharyya R, Das M, Das TK, Pradhan PK, editor. *Sustainability in South Asian Cities*. Springer Nature Singapore. hlm. 19–36.
- Lennon M, Scott M. 2014. Delivering ecosystems Services Via Spatial Planning: Reviewing the Possibilities and Implications of a Green Infrastructure Approach.

- Town Planning Review* 85(5): 563–587. <https://doi.org/10.3828/tpr.2014.35>.
- Liao KH. 2019. The Socio-ecological Practice of Building Blue-Green Infrastructure in High-density Cities: What Does the ABC Waters Program in Singapore Tell Us? *Socio-Ecological Practice Research* 1: 67–81. <https://doi.org/10.1007/s42532-019-00009-3>.
- Limthongsakul S, Nitivattananon V, Arifwidodo SD. 2017. Localized Flooding and Autonomous Adaptation in Peri-Urban Bangkok. *Environment and Urbanization* 29(1): 51–68. <https://doi.org/10.1177/0956247816683854>.
- Lourdes KT, Gibbins CN, Hamel P, Sanusi R, Azhar B, Lechner AM. 2021. A Review of Urban Ecosystem Services Research in Southeast Asia. *Land* 10(1):1–21. <https://doi.org/10.3390/land10010040>.
- Luke SH, Slade EM, Gray CL, Annammala KV., Drewer J, Williamson J, Agama AL, Ationg M, Mitchell SL, Vairappan CS, et al. 2019. Riparian Buffers in Tropical Agriculture: Scientific Support, Effectiveness and Directions for Policy. *Journal of Applied Ecology* 56(1): 85–92. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13280>.
- Luo P, Mu D, Xue H, Ngo-Duc T, Dang-Dinh K, Takara K, Nover D, Schladow G. 2018. Flood Inundation Assessment for the Hanoi Central Area, Vietnam under Historical and Extreme Rainfall Conditions. *Sci. Rep.* 8(1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30024-5>.
- Marteau B, Gibbins C, Batalla RJ, Vericat D. 2018. Review of good practice in managing riverbank instability and erosion - A WWF-Malaysia Report.
- McElwee P. 2010. The Social Dimensions of Adaptation to Climate Change in Vietnam. Washington.
- Meerow S. 2020. The Politics of Multifunctional Green Infrastructure Planning in New York City. *Cities*. 100(January):102621. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102621>.
- Mell IC. 2010. Green Infrastructure: Concepts, Perceptions. Newcastle University.
- Mukim M, Roberts M. 2023. Thriving: Making Cities Green, Resilient, and Inclusive in a Changing Climate. Mukim M, Roberts M, editor. Washington, DC: World Bank Group.
- National Academy of Sciences. 2014. Climate Change - Evidence and Causes: An Overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences. Washington, DC: The National Academies Press.
- Ngoc NH. 2024. Study on Blue-Green Infrastructure Network to Reduce Local Flooding in Central Hanoi, Vietnam. University of Kitakyushu Faculty.
- O'Donnell EC, Gosling SN, Netusil NR, Shun Chan FK, Dolman NJ. 2021. Perceptions of Blue-Green and Grey Infrastructure as Climate Change Adaptation Strategies for Urban Water Resilience. *Journal of the British Academy* 9(S9): 143–182. <https://doi.org/10.5871/jba/009s9.143>.
- Payne E, Fowdar H, Marthanty DR, Pawitan H, Marsudiantoro D, McCarthy D. 2019. Application of Green Infrastructure for Water Management in Bogor: a Review. Holden J, editor.
- Pramanik M, Kumar A, Paramanik S. 2024. Urban Green Infrastructure Planning for the Bangkok Metropolitan Region: An Empirical Study for Greenspace Expansion. *Qeios*. (June): 1–34. <https://doi.org/10.32388/15YZL3>.
- Pramanik M, Singh P, Dhiman RC. 2021. Identification of Bio-Climatic Determinants and Potential Risk Areas for Kyasanur Forest Disease in Southern India Using MaxEnt Modelling Approach. *BMC Infectious Diseases* 21(1): 1226. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-06908-9>.
- Pratiwi RD, Fatimah IS, Munandar A. 2019. Persepsi dan Preferensi Masyarakat terhadap Infrastruktur Hijau Kota Yogyakarta. *Jurnal Lanskap Indonesia* 11(1): 33–42. <https://doi.org/10.29244/jli.v11i1.20563>.
- Public Utilities Board Singapore. 2024a. Active, Beautiful, Clean Waters (ABC Waters) Design Guidelines – 5th Edition. Ed ke-5. Singapore: Public Utilities Board Singapore.
- Public Utilities Board Singapore. 2024b. Managing Urban Runoff: Drainage Handbook. Ed ke-2nd. Singapore: Public Utilities Board (PUB) and the Institution of Engineers Singapore (IES).
- Saleh M, Fitriaty P, Bassaleng AJR. 2025. Performance of Green Roofs on Building Energy Efficiency in Tropical and Subtropical Climates. *Technium Social Sciences Journal* 68(4): 316–331. <https://doi.org/10.47577/tssj.v68i1.12411>.
- Sanusi R, Jalil M. 2021. Blue-Green Infrastructure Determines the Microclimate Mitigation Potential Targeted for Urban Cooling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 918(1): 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/918/1/012010>.
- Satterthwaite D, Archer D, Colenbrander S, Dodman D, Hardoy J, Mitlin D, Patel S. 2020. Building Resilience to Climate Change in Informal Settlements. *One Earth* 2(2): 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.002>.
- Tran D, Xu D, Dang V, Alwiah AAQ. 2020. Predicting Urban Waterlogging Risks by Regression Models and Internet Open-data sources. *Water (Switzerland)* 12(3): 1–23. <https://doi.org/10.3390/w12030879>.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2016. The world's cities in 2016.
- United Nations Habitat. 2025. Climate Change. [diunduh 2026 Jun 27]. Tersedia pada: <https://unhabitat.org/topic/climate-change>
- Walsh CJ, Fletcher TD, Bos DG, Imberger SJ. 2015. Restoring a Stream Through Retention of Urban Stormwater Runoff: A Catchment-scale Experiment in a Social-ecological System. *Freshwater Science* 34(3): 1161–1168. <https://doi.org/10.1086/682422>.
- Zhang K, Deletic A, Dotto CBS, Allen R, Bach PM. 2020. Modelling a 'Business Case' for Blue-Green Infrastructure: Lessons from the Water Sensitive Cities Toolkit. *Blue-Green Systems* 2(1): 383–403. <https://doi.org/10.2166/bgs.2020.018>.
- Zhang K, Manuelpillai D, Raut B, Deletic A, Bach PM. 2019. Evaluating the Reliability of Stormwater Treatment Systems Under Various Future Climate Conditions. *Journal of Hydrology* 568(June 2018): 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.056>.