

# PENERAPAN NATURE-BASED SOLUTIONS DALAM PENGELOLAAN AIR HUJAN UNTUK INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI BERKELANJUTAN

Agustina Kiky Anggraini<sup>1\*</sup>, Imam Basuki<sup>2</sup>, dan Nectaria Putri Pramesti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>\*Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No. 44, Depok, Sleman, Yogyakarta  
e-mail: agustina.kiky@uajy.ac.id

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil Program Doktor, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No. 44, Depok, Sleman, Yogyakarta  
e-mail: imam.basuki@uajy.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Program Magister, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari No. 44, Depok, Sleman, Yogyakarta  
e-mail: nectaria.putri@uajy.ac.id

## ABSTRAK

Perubahan iklim yang ditandai oleh peningkatan intensitas curah hujan, perubahan tata guna lahan, serta dominasi permukaan kedap air di kawasan perkotaan telah memperburuk masalah genangan dan mempercepat kerusakan infrastruktur transportasi. Sistem drainase konvensional yang mengandalkan pendekatan infrastruktur abu-abu semakin menunjukkan keterbatasannya dalam merespons tantangan hidrologi yang kompleks. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Nature-Based Solutions (NbS) hadir sebagai strategi yang memanfaatkan fungsi ekosistem alami untuk mengelola air hujan secara efisien, mengurangi limpasan permukaan, dan meningkatkan ketahanan infrastruktur terhadap risiko banjir serta degradasi struktural. Makalah ini mengkaji konsep, prinsip, dan bentuk penerapan NbS dalam konteks pengelolaan air hujan untuk mendukung pembangunan infrastruktur transportasi yang berkelanjutan. Beberapa pendekatan yang dibahas meliputi penggunaan perkerasan berpori, taman resapan, saluran bioretensi, serta rekayasa vegetatif pada lereng jalan. Selain itu, integrasi NbS dalam siklus manajemen konstruksi—mulai dari tahap perencanaan hingga pemeliharaan—juga menjadi fokus pembahasan. Hasil kajian menunjukkan bahwa NbS tidak hanya meningkatkan efektivitas teknis sistem drainase, tetapi juga memberikan manfaat ekologis, sosial, dan ekonomi secara simultan. Dengan penerapan yang terarah dan berbasis konteks lokal, NbS berpotensi menjadikan infrastruktur transportasi di Indonesia lebih tangguh, efisien, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: nature based solutions, pengelolaan air hujan, drainase, transportasi berkelanjutan

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur transportasi di kawasan perkotaan dan antarwilayah menjadi salah satu pendorong utama pertumbuhan ekonomi. Namun, pembangunan yang tidak memperhatikan keseimbangan lingkungan sering kali menimbulkan permasalahan baru, khususnya terkait pengelolaan air hujan. Sistem drainase konvensional yang didominasi oleh saluran tertutup dan permukaan kedap air terbukti tidak lagi memadai untuk menghadapi peningkatan intensitas hujan ekstrem akibat perubahan iklim (Hendryarto et al., 2025). Akibatnya, banyak ruas jalan, jembatan, dan simpang mengalami genangan bahkan kerusakan struktural yang mengganggu kelancaran transportasi serta menurunkan umur layanan infrastruktur (Rezvani et al., 2024).

Di sisi lain, paradigma pembangunan berkelanjutan menuntut adanya inovasi dalam perencanaan dan manajemen konstruksi. Infrastruktur tidak hanya harus memenuhi fungsi teknis, tetapi juga harus tangguh (resilient), efisien dalam penggunaan sumber daya, dan ramah terhadap ekosistem sekitar. Dalam konteks ini, Nature-Based Solutions (NbS) muncul sebagai pendekatan strategis yang mengintegrasikan proses dan sistem alami ke dalam desain serta pengelolaan infrastruktur (Bush and Doyon, 2019). NbS berupaya meniru atau memanfaatkan fungsi alam seperti infiltrasi air, penyerapan karbon, pengaturan suhu mikroklimat, dan perlindungan tanah untuk mendukung ketahanan infrastruktur terhadap bencana hidrometeorologis (Shindi et al., 2025).

Penerapan NbS dalam pengelolaan air hujan pada sektor transportasi dapat diwujudkan melalui berbagai bentuk, antara lain taman resapan (rain garden), saluran bioretensi (bioswale), perkerasan berpori (permeable pavement), dan kolam retensi alami (Oliver et al., 2021). Solusi-solusi tersebut tidak hanya berfungsi mengendalikan limpasan permukaan, tetapi juga meningkatkan kualitas air, memperkuat estetika lingkungan, serta menambah nilai sosial-ekologis kawasan transportasi. Pendekatan ini sekaligus menurunkan ketergantungan terhadap infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*) yang berbiaya tinggi dalam konstruksi maupun pemeliharaan (Bush and Doyon, 2019).

Meskipun demikian, penerapan NbS di Indonesia masih menghadapi sejumlah tantangan, seperti keterbatasan pedoman teknis, kurangnya integrasi antarinstansi, serta persepsi bahwa infrastruktur alami kurang andal dibandingkan solusi konvensional. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang komprehensif untuk menilai potensi, manfaat, serta kendala implementasi NbS dalam konteks infrastruktur transportasi nasional, terutama dalam

pengelolaan air hujan dan peningkatan ketahanan terhadap perubahan iklim.

Artikel ini bertujuan untuk mengulas konsep, prinsip, dan penerapan NbS pada infrastruktur transportasi berkelanjutan, dengan fokus pada aspek manajemen rekayasa konstruksi dan pengelolaan air hujan. Melalui pendekatan ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih luas mengenai integrasi infrastruktur hijau dalam sistem transportasi, sehingga mampu mendukung tercapainya tujuan pembangunan infrastruktur yang tangguh, efisien, dan ramah lingkungan di Indonesia.

## 2. KONSEP DAN PRINSIP NbS

Nature-Based Solutions (NbS) menurut IUCN (2016) dalam Shindi et al. (2025) adalah pendekatan yang memanfaatkan ekosistem alami atau yang telah dimodifikasi untuk menghadapi tantangan sosial seperti perubahan iklim, bencana alam, dan ketahanan pangan, sambil memberikan manfaat bagi manusia dan lingkungan. Dalam konteks infrastruktur, NbS mengintegrasikan proses ekologis ke dalam perencanaan, desain, konstruksi, dan operasional sistem.

Berbeda dengan infrastruktur abu-abu (*grey infrastructure*) yang mengandalkan struktur buatan seperti saluran beton dan tanggul, NbS memanfaatkan elemen alami seperti tanah, vegetasi, dan air untuk menyerap, menyimpan, dan memurnikan air hujan. Menurut Bush and Doyon (2019), NbS berpotensi lebih tangguh dan hemat biaya jika dibandingkan dengan metode yang menggunakan infrastruktur abu-abu. Selain fungsi teknis, pendekatan ini juga memberikan nilai tambah ekologis dan sosial, seperti peningkatan estetika, penyerapan karbon, dan penyediaan ruang hijau (Raspati et al., 2023).

Dalam pengelolaan air dan transportasi, NbS dapat didasarkan pada empat prinsip utama, yaitu (Raspati et al., 2023; Sun et al., 2024):

1. Memanfaatkan proses alami seperti infiltrasi dan retensi untuk mengendalikan limpasan dan meningkatkan pengisian air tanah.
2. Meningkatkan ketahanan iklim melalui vegetasi dan sistem drainase hijau yang berfungsi sebagai penyangga terhadap hujan ekstrem.
3. Menggabungkan infrastruktur hijau dan abu-abu untuk meningkatkan efisiensi dan umur layanan sistem drainase.
4. Memberikan manfaat ganda, baik teknis, sosial, ekonomi, maupun lingkungan.

Menurut Sun et al. (2024), terdapat beberapa jenis teknologi NbS yang dapat diterapkan. Dalam konteks transportasi dan konstruksi, terdapat beberapa tipe NbS yang relevan, antara lain perkerasan berpori (*permeable pavement*), taman resapan (*rain garden*), saluran bioretensi (*bioswale*), kolam retensi dan detensi alami, dan *bioengineering* lereng (*vegetated slope protection*). Perkerasan berpori dapat digunakan pada area parkir, trotoar, dan jalan lingkungan untuk memungkinkan air meresap ke tanah dan mengurangi beban saluran drainase. Taman resapan dapat didesain dengan menggunakan vegetasi tertentu yang dapat menampung limpasan air dari permukaan jalan dan memfasilitasi infiltrasi serta filtrasi alami. Saluran bioretensi merupakan saluran terbuka yang ditanami vegetasi untuk memperlambat aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi, dan memfilter sedimen serta polutan. Kolam retensi dan detensi alami dapat digunakan untuk menahan air hujan sementara, mengurangi puncak debit, serta menjaga stabilitas drainase jalan. *Bioengineering* lereng memanfaatkan kombinasi vegetasi dan struktur sederhana untuk menstabilkan lereng di sekitar jalan, rel, atau jembatan, menggantikan dinding penahan beton.

Nature-Based Solutions (NbS) memiliki kontribusi yang signifikan dalam mendukung pencapaian berbagai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs). Secara langsung, NbS berperan dalam mewujudkan SDG 6 (air bersih dan sanitasi) melalui pengelolaan air hujan yang lebih efisien dan peningkatan kualitas air permukaan. NbS juga mendukung SDG 9 (industri, inovasi, dan infrastruktur) dengan mendorong pengembangan infrastruktur yang tangguh, inovatif, dan berwawasan lingkungan. Dalam konteks perkotaan, NbS berkontribusi terhadap SDG 11 (kota dan permukiman berkelanjutan) melalui penyediaan ruang hijau publik, pengurangan risiko banjir, dan peningkatan kenyamanan lingkungan. Selain itu, NbS berperan penting dalam SDG 13 (aksi terhadap perubahan iklim) dengan memperkuat kapasitas adaptasi terhadap dampak iklim ekstrem serta mendukung mitigasi emisi karbon melalui vegetasi dan sistem ekologi. Tidak kalah penting, NbS juga mendukung SDG 15 (kehidupan di darat) dengan memperkuat konservasi keanekaragaman hayati dan pemulihian ekosistem lokal. Melalui pendekatan NbS, infrastruktur transportasi tidak hanya menjadi sarana mobilitas, tetapi juga bagian dari sistem ekologis kota yang adaptif terhadap perubahan iklim dan ramah terhadap masyarakat.

## 3. PENERAPAN NATURE-BASED SOLUTIONS (NBS) PADA INFRASTRUKTUR TRANSPORTASI BERKELANJUTAN

Sektor transportasi merupakan bagian penting dari sistem infrastruktur yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim, khususnya peningkatan intensitas dan frekuensi hujan ekstrem. Permukaan jalan, area parkir, dan trotoar yang umumnya dilapisi material kedap air menghasilkan limpasan air hujan dalam jumlah besar. Tanpa sistem pengendalian yang memadai, limpasan ini dapat menyebabkan genangan, merusak lapisan perkerasan, dan mempercepat kerusakan

struktur jalan serta jembatan.

Nature-Based Solutions (NbS) menawarkan pendekatan alternatif yang inovatif untuk mengatasi tantangan pengelolaan air hujan dalam infrastruktur transportasi, khususnya di wilayah yang semakin terdampak oleh perubahan iklim dan urbanisasi (Plovnick & Filosa, 2023). Berbeda dengan sistem konvensional yang mengandalkan saluran tertutup dan struktur beton, NbS memanfaatkan fungsi alami tanah dan vegetasi untuk menyerap, menyimpan, dan memurnikan air hujan. Pendekatan ini memungkinkan air dikelola secara lokal melalui proses infiltrasi dan retensi, sehingga mengurangi tekanan terhadap sistem drainase eksisting dan menurunkan risiko genangan serta kerusakan infrastruktur. Dengan mengintegrasikan elemen ekologis ke dalam desain teknis, NbS tidak hanya berfungsi sebagai solusi hidrologi, tetapi juga memperkuat hubungan antara infrastruktur dan lingkungan.

Lebih jauh, NbS memberikan fleksibilitas dalam desain dan penerapan, yang memungkinkan adaptasi terhadap berbagai kondisi geografis dan iklim. Sistem seperti taman resapan, bioswale, dan perkerasan berpori dapat disesuaikan dengan karakteristik tanah dan vegetasi lokal, serta dikombinasikan dengan infrastruktur abu-abu untuk meningkatkan efektivitas keseluruhan. Selain itu, NbS mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan memberikan manfaat tambahan seperti peningkatan kualitas udara, penyediaan ruang hijau publik, dan penguatan ketahanan iklim. Dalam konteks transportasi, NbS berperan penting dalam menciptakan jaringan infrastruktur yang tidak hanya fungsional, tetapi juga responsif terhadap tantangan lingkungan dan sosial yang semakin kompleks.

Menurut Plovnick and Filosa (2023), penerapan Nature-Based Solutions (NbS) pada sektor transportasi memberikan berbagai manfaat yang signifikan. Dari sisi teknis, NbS mampu mengurangi debit limpasan air hujan, memperpanjang umur infrastruktur, dan meningkatkan kualitas air. Secara ekonomi, pendekatan ini dapat menekan biaya operasional dan pemeliharaan sistem drainase dalam jangka panjang. Dari aspek lingkungan, NbS berkontribusi terhadap peningkatan keanekaragaman hayati dan perbaikan mikroklimat perkotaan. Sementara itu, secara sosial, NbS menciptakan ruang publik yang lebih nyaman, sehat, dan estetis di sekitar jaringan transportasi.

Dengan demikian, integrasi NbS dalam proyek transportasi tidak hanya menjawab tantangan hidrologi dan perubahan iklim, tetapi juga memperkuat arah pembangunan menuju sistem infrastruktur yang tangguh, efisien, dan berkelanjutan.

#### 4. MANFAAT DAN TANTANGAN IMPLEMENTASI NbS

Penerapan NbS dalam infrastruktur transportasi memberikan manfaat strategis yang tidak hanya terbatas pada aspek teknis pengendalian air hujan (Plovnick and Filosa, 2023). Pendekatan ini menawarkan solusi multidimensi yang mencakup aspek teknik, ekonomi, lingkungan, dan sosial secara terpadu. Secara teknis, NbS mampu meningkatkan efektivitas sistem drainase dengan memperlambat aliran permukaan, memperbesar kapasitas infiltrasi, dan menurunkan debit puncak banjir. Vegetasi dan lapisan tanah yang digunakan dalam komponen seperti bioswale dan taman resapan juga berfungsi menyaring sedimen dan polutan dari limpasan jalan, sehingga kualitas air yang masuk ke badan air atau tanah menjadi lebih baik. Dampak ini turut memperpanjang umur layanan infrastruktur transportasi seperti jalan, jembatan, dan rel.

Dari sisi ekonomi, NbS memberikan efisiensi biaya jangka panjang karena tidak memerlukan sistem mekanis yang kompleks dan biaya pemeliharaan yang tinggi (Bush and Doyon, 2019). Infrastruktur hijau juga dapat meningkatkan nilai kawasan, mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, dan membuka peluang wisata berbasis ekologi. Secara lingkungan, NbS mendukung pemulihan siklus hidrologi alami dan memperkuat ekosistem lokal. Vegetasi yang digunakan membantu penyerapan karbon dioksida dan menurunkan suhu mikroklimat perkotaan, serta berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim dan pelestarian keanekaragaman hayati.

Dari perspektif sosial dan estetika, NbS menciptakan ruang publik yang lebih nyaman, sehat, dan menarik secara visual di sepanjang koridor transportasi. Jalur hijau, taman resapan, dan area vegetatif tidak hanya berfungsi sebagai ruang interaksi sosial dan edukasi lingkungan, tetapi juga mencerminkan komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan yang inklusif dan adaptif.

Meskipun memiliki potensi manfaat yang besar, penerapan Nature-Based Solutions (NbS) dalam infrastruktur transportasi masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari aspek teknis, kelembagaan, maupun sosial-ekonomi (Qi et al., 2020). Di Indonesia, salah satu hambatan utama adalah keterbatasan regulasi dan pedoman teknis yang secara spesifik mengatur desain serta konstruksi NbS dalam sektor transportasi. Standar nasional yang ada masih berfokus pada pendekatan konvensional berbasis infrastruktur abu-abu, sehingga implementasi NbS sering kali tidak memiliki dasar kebijakan yang kuat. Selain itu, koordinasi lintas sektor menjadi kendala tersendiri karena pelaksanaan NbS melibatkan berbagai pemangku kepentingan, seperti Dinas Perhubungan, PUPR, Bappeda, dan instansi lingkungan hidup. Kurangnya sinergi antarinstansi menyebabkan kesulitan dalam perencanaan terpadu dan pembagian tanggung jawab pemeliharaan.

Di tingkat pelaksana, persepsi terhadap NbS juga menjadi tantangan. Masih terdapat anggapan bahwa pendekatan berbasis alam kurang efektif dibandingkan sistem beton atau mekanis. Keterbatasan kapasitas teknis dan minimnya pelatihan bagi tenaga lapangan turut menghambat penerapan NbS yang sesuai standar. Di sisi lain, keterbatasan lahan di kawasan perkotaan padat serta tekanan alih fungsi ruang untuk kepentingan komersial mempersempit peluang penerapan NbS dalam skala kawasan. Dari aspek pembiayaan, biaya awal untuk perencanaan dan instalasi NbS sering

dianggap tinggi karena memerlukan studi hidrologi dan vegetasi yang mendalam. Selain itu, sistem berbasis alam membutuhkan pemeliharaan rutin seperti pemangkasan vegetasi dan pembersihan sedimen, yang memerlukan komitmen anggaran jangka panjang.

Untuk mengoptimalkan penerapan NbS dalam sektor transportasi, diperlukan strategi yang bersifat lintas disiplin dan berjangka panjang. Berikut ini akan dijabarkan beberapa usulan terkait strategi yang dapat dilakukan. Salah satu langkah penting adalah penyusunan standar dan pedoman teknis nasional yang secara khusus mengatur penerapan NbS, mulai dari tahap perencanaan, desain, konstruksi, hingga pemeliharaan. Selain itu, integrasi NbS perlu dilakukan secara menyeluruh dalam siklus manajemen proyek transportasi. Setiap tahapan, mulai dari studi kelayakan hingga evaluasi pasca-konstruksi, harus mengakomodasi komponen NbS agar manfaat ekologis dan ekonominya dapat diukur secara sistematis dan menjadi bagian dari indikator keberhasilan proyek.

Peningkatan kapasitas teknis juga menjadi aspek krusial dalam mendukung implementasi NbS. Pelatihan bagi perencana, kontraktor, dan pemerintah daerah perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk memperkuat pemahaman mengenai desain dan pemeliharaan infrastruktur hijau. Di samping itu, kolaborasi dengan perguruan tinggi dan lembaga penelitian sangat penting untuk mendorong pengembangan inovasi lokal yang sesuai dengan karakteristik lingkungan dan kebutuhan masyarakat Indonesia. Dari sisi pembiayaan, pemerintah dapat mendorong penerapan NbS melalui insentif ekonomi, seperti kemudahan fiskal atau skema pembiayaan hijau, termasuk green bond dan kemitraan publik-swasta yang berbasis pada manfaat lingkungan. Langkah ini tidak hanya memperluas peluang pendanaan, tetapi juga memperkuat komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan.

Tak kalah penting, kampanye publik dan edukasi masyarakat perlu diperkuat untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya infrastruktur hijau. Ruang publik berbasis alam, seperti taman resapan dan jalur hijau, dapat dimanfaatkan sebagai sarana edukasi dan partisipasi warga dalam menjaga keberlanjutan sistem transportasi. Dengan pendekatan yang komprehensif dan partisipatif, NbS memiliki potensi besar untuk menjadi solusi utama dalam menghadapi tantangan hidrologi, perubahan iklim, dan urbanisasi yang semakin kompleks.

## 5. KESESUAIAN KARAKTERISTIK TEKNOLOGI NbS UNTUK WILAYAH INDONESIA

Sub bab ini menjabarkan usulan terkait karakteristik teknologi NbS untuk wilayah Indonesia. Karakteristik teknologi harus disesuaikan dengan kondisi lokal untuk menjamin keberlanjutan dari teknologi yang akan diterapkan.

Wilayah tropis seperti Indonesia memiliki karakteristik iklim dan lingkungan yang sangat khas, yang secara langsung memengaruhi efektivitas penerapan NbS dalam pengelolaan air hujan untuk infrastruktur transportasi. Curah hujan yang tinggi, disertai intensitas hujan yang tidak merata sepanjang tahun, menjadi tantangan utama dalam pengendalian limpasan permukaan. Dalam kondisi seperti ini, sistem NbS harus dirancang untuk mampu merespons volume air yang besar dalam waktu singkat, sekaligus mendukung proses infiltrasi dan retensi secara alami. Vegetasi tropis yang beragam dan memiliki laju pertumbuhan tinggi memberikan peluang besar untuk mendukung fungsi ekosistem dalam menyerap air, menyaring polutan, dan memperbaiki kualitas lingkungan (Latuamury, 2025). Namun, keberhasilan NbS sangat bergantung pada pemahaman terhadap kondisi tanah lokal yang sangat bervariasi. Di beberapa wilayah, tanah liat yang kurang permeabel dapat menghambat infiltrasi, sementara di wilayah lain, tanah berpasir yang sangat poros dapat mempercepat peresapan air tetapi kurang efektif dalam menyaring polutan. Oleh karena itu, pendekatan desain NbS di wilayah tropis harus bersifat kontekstual dan berbasis data lokal, termasuk analisis karakteristik tanah, vegetasi, dan pola curah hujan.

Selain faktor fisik, aspek ekologis dan sosial juga memainkan peran penting dalam kesesuaian NbS di wilayah tropis. Suhu udara yang tinggi dan kelembaban yang konsisten sepanjang tahun mempercepat pertumbuhan vegetasi dan proses biodegradasi, sehingga pemeliharaan rutin terhadap elemen NbS seperti taman resapan, bioswale, dan perlindungan lereng vegetatif menjadi sangat penting. Pemilihan jenis tanaman lokal yang adaptif, tahan genangan, dan memiliki daya serap tinggi menjadi faktor kunci dalam keberhasilan sistem (Latuamury, 2025). Di sisi lain, tekanan terhadap lahan di kawasan perkotaan tropis yang padat menuntut inovasi desain NbS yang berskala mikro dan modular, seperti penggunaan perkerasan berpori di jalur pejalan kaki, taman vertikal, atau rain garden kecil di ruang terbatas. Selain itu, penerapan NbS juga harus mempertimbangkan aspek sosial dan budaya lokal, termasuk partisipasi masyarakat dalam pemeliharaan ruang hijau dan pemahaman terhadap fungsi ekologis NbS (Partarini dan Wirastri, 2024). Dengan pendekatan yang adaptif terhadap iklim, tanah, vegetasi, dan dinamika sosial, NbS dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur transportasi di wilayah tropis, sekaligus memperkuat integrasi antara sistem teknis dan ekologi dalam pembangunan perkotaan.

Selain aspek hidrologi dan geologi, karakteristik iklim tropis seperti suhu udara yang tinggi dan kelembaban yang konsisten sepanjang tahun turut memengaruhi efektivitas dan keberlanjutan penerapan Nature-Based Solutions (NbS). Kondisi ini mempercepat pertumbuhan vegetasi, yang di satu sisi mendukung fungsi ekosistem dalam menyerap air dan menyaring polutan, namun di sisi lain juga mempercepat proses biodegradasi dan akumulasi biomassa. Akibatnya, elemen NbS seperti taman resapan, bioswale, dan perlindungan lereng vegetatif memerlukan pemeliharaan yang lebih intensif dan berkelanjutan. Pemangkasan vegetasi, pembersihan sedimen, serta pengelolaan drainase alami menjadi bagian penting dari siklus pemeliharaan yang tidak dapat diabaikan. Jika tidak dikelola dengan baik, sistem NbS dapat kehilangan efektivitasnya dan bahkan menimbulkan masalah baru seperti penyumbatan saluran atau proliferasi spesies

invasif.

Keberhasilan NbS di wilayah tropis sangat bergantung pada pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lokal. Tanaman yang adaptif terhadap genangan, memiliki daya serap tinggi, dan tahan terhadap fluktuasi iklim tropis menjadi pilihan ideal untuk mendukung fungsi NbS secara optimal. Selain itu, tekanan terhadap lahan di kawasan perkotaan tropis yang padat menuntut pendekatan desain yang inovatif dan fleksibel. NbS harus dirancang dalam skala mikro dan modular agar dapat diterapkan di ruang terbatas, seperti jalur pejalan kaki, median jalan, atau area parkir. Contoh penerapan yang relevan meliputi perkerasan berpori, taman vertikal, dan rain garden kecil yang terintegrasi dengan elemen infrastruktur eksisting. Pendekatan ini memungkinkan NbS tetap berfungsi secara ekologis meskipun berada di lingkungan yang padat dan terfragmentasi, sekaligus memperkuat nilai estetika dan sosial dari ruang publik perkotaan.

Kesesuaian Nature-Based Solutions (NbS) dengan karakteristik wilayah tropis tidak hanya bergantung pada aspek fisik seperti iklim, tanah, dan vegetasi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor sosial dan budaya lokal. Dalam konteks ini, partisipasi masyarakat menjadi elemen kunci dalam keberlanjutan sistem NbS (Partarini dan Wirastri, 2024). Ruang hijau yang dikelola secara berbasis komunitas memiliki peluang lebih besar untuk dipelihara secara konsisten, karena masyarakat merasa memiliki dan memahami manfaat ekologisnya. Pemahaman terhadap fungsi NbS sebagai bagian dari sistem lingkungan perkotaan perlu ditanamkan melalui edukasi dan pelibatan aktif warga dalam proses perencanaan dan pemeliharaan. Studi di Thailand menunjukkan bahwa pendekatan berbasis komunitas dan pemodelan berbasis lokasi dapat meningkatkan efektivitas NbS dalam konteks tropis, terutama dalam hal adaptasi terhadap kondisi lokal dan peningkatan rasa tanggung jawab sosial terhadap ruang publik yang berfungsi ekologis (Ahmed et al., 2024).

Lebih jauh, keberhasilan NbS juga bergantung pada kemampuan untuk mengintegrasikan nilai-nilai budaya lokal dalam desain dan pengelolaannya. Di banyak wilayah tropis, praktik tradisional dalam pengelolaan air dan lanskap dapat menjadi sumber inspirasi untuk desain NbS yang lebih kontekstual dan diterima oleh masyarakat. Misalnya, pemanfaatan tanaman lokal yang telah lama digunakan dalam sistem pertanian atau konservasi air dapat memperkuat efektivitas dan keberlanjutan NbS. Selain itu, pendekatan yang adaptif terhadap dinamika sosial—seperti pola kepemilikan lahan, struktur komunitas, dan preferensi estetika—akan memperkuat integrasi antara sistem teknis dan ekologi dalam pembangunan perkotaan. Dengan menggabungkan aspek fisik dan sosial secara holistik, NbS dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur transportasi di wilayah tropis, sekaligus memperkuat hubungan antara manusia dan lingkungan dalam konteks urban yang terus berkembang.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian konseptual dan telaah terhadap penerapan Nature-Based Solutions (NbS) dalam infrastruktur transportasi, dapat disimpulkan bahwa NbS merupakan pendekatan strategis yang relevan untuk menjawab tantangan perubahan iklim dan keterbatasan sistem drainase konvensional. Dengan memanfaatkan fungsi ekosistem alami seperti infiltrasi, retensi, dan filtrasi air hujan, NbS mampu mengurangi limpasan permukaan, menekan risiko genangan, serta memperpanjang umur layanan infrastruktur transportasi.

Penerapan NbS juga memberikan kontribusi nyata terhadap keberlanjutan dari berbagai aspek. Secara teknis, infrastruktur hijau seperti taman resapan, bioswale, dan perkerasan berpori terbukti meningkatkan kinerja sistem hidrologi. Dari sisi ekonomi, pendekatan ini dapat menurunkan biaya operasional dan pemeliharaan dalam jangka panjang. Sementara itu, secara lingkungan, NbS berperan dalam memperbaiki kualitas udara dan air, serta meningkatkan keanekaragaman hayati di kawasan perkotaan.

Integrasi NbS dalam siklus manajemen konstruksi memperkuat prinsip pembangunan berkelanjutan. Pendekatan ini menuntut perencanaan lintas disiplin yang mencakup aspek desain, pelaksanaan, dan pemeliharaan, serta mendorong penerapan konsep life cycle management dalam proyek-proyek transportasi. Namun demikian, implementasi NbS di Indonesia masih menghadapi sejumlah kendala, seperti keterbatasan regulasi, minimnya kapasitas teknis, dan kurangnya koordinasi antarinstansi. Kondisi ini menegaskan perlunya kebijakan dan pedoman teknis nasional yang jelas dan terintegrasi agar NbS dapat diterapkan secara luas dan efektif.

Selain memberikan manfaat teknis dan ekologis, Nature-Based Solutions (NbS) juga berkontribusi langsung terhadap pencapaian berbagai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs). NbS mendukung SDG 6 yang berfokus pada penyediaan air bersih dan sanitasi layak, melalui peningkatan kualitas air permukaan dan pengelolaan air hujan yang lebih efisien. Dalam konteks SDG 9, NbS mendorong inovasi dalam pembangunan infrastruktur yang tangguh dan berkelanjutan, dengan mengintegrasikan pendekatan ekologis ke dalam sistem rekayasa teknik. NbS juga berperan penting dalam mewujudkan SDG 11, yaitu kota dan permukiman yang inklusif, aman, dan berkelanjutan, melalui penyediaan ruang hijau publik, peningkatan kenyamanan lingkungan, dan pengurangan risiko banjir. Lebih jauh, NbS berkontribusi terhadap SDG 13 dengan memperkuat aksi terhadap perubahan iklim, baik melalui mitigasi emisi karbon maupun adaptasi terhadap dampak hidrologi ekstrem.

Dengan kontribusi yang luas terhadap berbagai aspek pembangunan berkelanjutan, NbS bukan sekadar alternatif teknis untuk pengelolaan air hujan, tetapi merupakan instrumen strategis dalam transformasi sistem infrastruktur transportasi menuju arah yang lebih tangguh, efisien, inklusif, dan berwawasan lingkungan. Pendekatan ini

memungkinkan terciptanya sinergi antara fungsi teknis, nilai ekologis, dan manfaat sosial, yang secara keseluruhan memperkuat ketahanan kota terhadap tekanan lingkungan dan perubahan iklim. Oleh karena itu, integrasi NbS dalam kebijakan, perencanaan, dan pelaksanaan proyek transportasi perlu didorong secara sistematis agar dapat memberikan dampak jangka panjang yang positif bagi masyarakat dan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, F., Loc, H. H., Babel, M. S., & Stamm, J. (2024). A community-scale study on nature-based solutions (NBS) for stormwater management under tropical climate: The case of the Asian Institute of Technology (AIT), Thailand. *Journal of Hydroinformatics*, 26(5), 1080-1099.
- Bush, J., and Doyon, A. (2019). "Building urban resilience with nature-based solutions: How can urban planning contribute?". *Cities*, 95, 102483.
- Hendryarto, K.T., Suwandi, S., and Setiyadi, T. (2025). "Pengembangan Sistem Drainase Berkelanjutan untuk Mengatasi Banjir Perkotaan". *Jurnal Rekayasa Sipil dan Arsitektur*, 1(1), 18-32.
- Latuamury, B. (2025). *Buku Ajar Hutan Kota: Teori Dan Aplikasi Berbasis Tata Air*. Deepublish.
- Oliver, E., Ozment, S., Grunwaldt, A., Zuniga, M. C. S., and Watson, G. (2021). Nature-based Solutions in Latin America and the Caribbean: Support from the Inter-American Development Bank.
- Partarini, N. M. C., & Wirastri, M. V. (2024). Community-Based Flood Resilience: Upaya Mitigasi Banjir Kawasan Semi-Perkotaan Berbasis Nature Based Solution. *Jurnal Atma Inovasia*, 4(2), 52-59.
- Plovnick, A., and Filosa, G. (2023). *Transportation Resilience in the United States and the Netherlands: Summary of Collaboration on Nature-Based Solutions and Application of Infrastructure Resilience Tools, 2016-2022* (No. DOT-VNTSC-FHWA-23-10; FHWA-HPL-23-014). United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Natural Environment.
- Qi, Y., Chan, F. K. S., Thorne, C., O'Donnell, E., Quagliolo, C., Comino, E., Pezzoli, A., Li, L., Griffiths, J., Sang, Y., and Feng, M. (2020). Addressing challenges of urban water management in Chinese sponge cities via nature-based solutions. *Water*, 12(10), 2788.
- Raspati, G. S., Bruaset, S., Azrague, K., Ugarelli, R. M., Muthanna, T. M., Time, B., and Sivertsen, E. (2023). Framework for the documentation of nature-based solutions for stormwater management. *Blue-Green Systems*, 5(2), 135-151.
- Rezvani, S. M., Silva, M. J. F., & de Almeida, N. M. (2024). Urban resilience index for critical infrastructure: A scenario-based approach to disaster risk reduction in road networks. *Sustainability*, 16(10), 4143.
- Shindi, M. F., Wijaya, N., & Ikhsan, M. (2025). Effectiveness of Nature-Based Solution Implementation for Flood Disaster Mitigation in Jakarta, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1447, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Sun, C., Rao, Q., Chen, B., Liu, X., Adnan Ikram, R. M., Li, J., Wang, M., and Zhang, D. (2024). Mechanisms and applications of nature-based solutions for stormwater control in the context of climate change: a review. *Atmosphere*, 15(4), 403.