

Penerapan Fitoteknologi sebagai Solusi Berbasis Alam (NbS) untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Muakhilah Febi Bariya^{*1}, Dian Tristi Agustini², Rony Irawanto³

¹ Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta - Indonesia

² Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur - Indonesia

³ Badan Riset dan Inovasi Nasional – Indonesia

*Penulis korespondensi: febibariya@gmail.com

ABSTRACT

Global environmental change demands innovative approaches that integrate ecosystem functions with human needs. One emerging approach is Nature-Based Solutions (NbS), which utilize natural processes to address environmental and social challenges. This article reviews the application of phytotechnology as a practical form of NbS in supporting the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). Through a literature review, it was found that phytotechnology plays an important role in water quality management, contaminated soil remediation, and biodiversity conservation. This approach is aligned with SDG 6 (clean water and sanitation), SDG 13 (climate action), and SDG 15 (life on land). However, challenges in its implementation in Indonesia include policy limitations, scale of application, and community engagement. This article recommends strengthening local research, integrating NbS policies, and developing phytotechnology education models to promote sustainable development.

Key words:

Nature-Based Solutions, Sustainable Development Goals, Biodiverstas, Ekosistem, Fitoteknologi.

Riwayat artikel

Diterima:16/11/2025

Diperbaiki:-

Terbit:8/5/2026

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan hidup seperti pencemaran serta dampak perubahan iklim semakin menjadi isu global yang mendesak untuk ditangani. Isu lingkungan global seperti pencemaran air, degradasi tanah, dan kehilangan keanekaragaman hayati telah menjadi tantangan besar dalam pembangunan berkelanjutan. Nature-Based Solutions (NbS) menjadi pendekatan yang menjanjikan karena mengandalkan fungsi alami ekosistem untuk mengatasi masalah lingkungan sekaligus meningkatkan kesejahteraan manusia (Cohen-Shacham et al., 2016). Salah satu bentuk implementasi NbS di bidang pengelolaan lingkungan adalah fitoteknologi, yaitu penggunaan tumbuhan untuk memperbaiki atau mengelola lingkungan tercemar (Salt et al., 1998). Dua pendekatan ini, mulai dikembangkan untuk mengatasi masalah global tersebut, baik melalui inovasi teknologi maupun melalui pemanfaatan proses-proses alami. Fitoteknologi (Phytotechnology) dan Nature-based Solutions (NbS).

NbS didefinisikan oleh IUCN (2020) sebagai intervensi yang menggunakan proses dan fungsi alamiah untuk mengatasi tantangan sosial dan lingkungan. Pendekatan ini meliputi konservasi, restorasi, dan pengelolaan ekosistem yang berkelanjutan, serta inovasi infrastruktur hijau (Raymond et al., 2017).

Fitoteknologi merupakan teknologi lingkungan yang memanfaatkan tumbuhan dan mikroorganisme di zona perakaran untuk remediasi tanah, air, dan udara (Arthur et al., 2005). Jenis utamanya meliputi fitoremediasi, fitoekstraksi, fitostabilisasi, dan rhizofiltrasi. Tanaman akuatik seperti *Typha angustifolia* dan *Eichhornia crassipes* efektif menyerap logam berat seperti Pb, Cd, dan Zn (Vymazal, 2011).

Fitoteknologi berfokus pada penggunaan tanaman dan proses biologisnya untuk memperbaiki kondisi lingkungan yang tercemar, sedangkan NbS merupakan pendekatan yang lebih luas yang memanfaatkan alam dan ekosistemnya untuk menghadapi berbagai tantangan lingkungan. Fitoteknologi dapat dianggap sebagai bentuk spesifik NbS di sektor pengelolaan sumber daya air dan rehabilitasi lahan (Nesshöver et al., 2017). Pendekatan ini memadukan nilai ekologis dan sosial dengan memanfaatkan fungsi alami tumbuhan sebagai agen penyaring dan penyerap polutan.

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji konsep dan penerapan fitoteknologi sebagai solusi berbasis alam, menelaah perannya dalam mendukung pencapaian SDGs, serta mengidentifikasi tantangan dan peluang penerapannya di Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur kualitatif deskriptif. Data dikumpulkan dari berbagai sumber sekunder, seperti jurnal internasional, buku akademik, dan laporan kebijakan. Analisis dilakukan secara tematik dengan mengelompokkan literatur berdasarkan hubungan konsep antara NbS, fitoteknologi, dan SDGs (Creswell, 2014; Snyder, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Nature-based Solutions (NbS) mulai dikenal pada akhir abad ke-20, tetapi penggunaan pendekatan berbasis alam dalam pengelolaan lingkungan sebenarnya telah ada sejak lama. Masyarakat tradisional di berbagai belahan dunia telah mengembangkan sistem pengelolaan alam yang sejalan dengan prinsip NbS, seperti agroforestri, pengelolaan hutan secara berkelanjutan, dan konservasi lahan basah. Namun, istilah "Nature-based Solutions" sendiri pertama kali diperkenalkan oleh International Union for Conservation of Nature (IUCN) pada tahun 2008, yang mendefinisikannya sebagai solusi berbasis alam untuk memenuhi tantangan yang dihadapi manusia dalam bidang pembangunan, perubahan iklim, dan pengelolaan sumber daya alam. Sejak saat itu, NbS berkembang pesat sebagai pendekatan yang lebih holistik dan integratif, yang tidak hanya berfokus pada aspek lingkungan, tetapi juga mencakup dimensi sosial dan ekonomi.

Pada tahun 2012, dalam konferensi Rio+20 tentang Pembangunan Berkelanjutan, konsep NbS semakin mendapat perhatian internasional. Beberapa negara mulai mengintegrasikan NbS dalam kebijakan pembangunan mereka. Pada saat yang sama, lembaga-lembaga internasional, seperti PBB, mulai mempromosikan NbS sebagai bagian dari strategi untuk mencapai SDGs.

Setelah konferensi Rio+20, IUCN memainkan peran penting dalam memperjelas dan mengembangkan kerangka konseptual NbS. Pada tahun 2016, IUCN secara resmi mendefinisikan NbS sebagai tindakan untuk melindungi, mengelola secara berkelanjutan, dan memulihkan ekosistem alami atau yang dimodifikasi yang secara efektif dan adaptif menangani tantangan masyarakat sambil memberikan manfaat bagi kesejahteraan manusia dan keanekaragaman hayati (Cohen-Shacham, Walters, Janzen, & Maginnis, 2016). Publikasi ini menjadi tonggak penting dalam standarisasi konsep NbS di tingkat global dan menjembatani pendekatan ekologi dengan agenda pembangunan berkelanjutan.

Selanjutnya, pada tahun 2015, PBB secara resmi mengadopsi Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan, yang berisi 17 tujuan global (SDGs). Meskipun istilah NbS belum secara eksplisit disebutkan dalam dokumen resmi Agenda 2030, berbagai tujuan seperti SDG 6, 11, 13, 14, 15 mencerminkan prinsip dan nilai dasar dari NbS (United Nations, 2015). Sejak saat itu, badan-badan di bawah PBB seperti UNEP, UNDP, FAO, dan UNESCO semakin aktif mendorong implementasi NbS dalam proyek dan kebijakan pembangunan untuk mendukung pencapaian SDGs.

Memasuki dekade 2018–2020, NbS semakin diakui sebagai strategi global untuk menghadapi krisis iklim dan degradasi ekosistem. Banyak studi dan laporan, termasuk dari UN Environment Programme (UNEP) dan World Bank, menegaskan bahwa NbS merupakan pendekatan yang hemat biaya dan memiliki manfaat ganda (co-benefits) bagi mitigasi perubahan iklim, ketahanan pangan, serta konservasi biodiversitas (UNEP, 2019; Raymond et al., 2017). Untuk memperkuat implementasi, IUCN pada tahun 2020 menerbitkan dokumen penting berjudul IUCN Global Standard for Nature-based Solutions, yang berfungsi sebagai panduan global dalam merancang, memantau, dan mengevaluasi proyek NbS agar memenuhi prinsip keberlanjutan, inklusivitas, dan efektivitas (IUCN, 2020).

Puncak integrasi NbS dalam kerangka global PBB terjadi pada tahun 2021, ketika PBB menetapkan Dekade Restorasi Ekosistem 2021–2030 yang dipimpin oleh UNEP dan FAO. Inisiatif ini menempatkan NbS sebagai strategi utama dalam memperbaiki ekosistem yang rusak sekaligus mempercepat pencapaian berbagai target SDG, terutama yang terkait dengan iklim, air, pangan, dan biodiversitas (United Nations Environment Programme [UNEP] & Food and Agriculture Organization [FAO], 2021). Dekade ini menandai pengakuan resmi NbS sebagai bagian integral dari agenda global untuk memulihkan keseimbangan antara pembangunan manusia dan keberlanjutan alam.

Hingga saat ini, NbS terus berkembang menjadi pendekatan lintas-sektor yang melibatkan pemerintah, akademisi, swasta, dan masyarakat sipil. Berbagai proyek demonstrasi di seluruh dunia—seperti restorasi hutan mangrove, taman kota berkelanjutan, dan sistem fitoteknologi untuk air limbah—menunjukkan bahwa NbS bukan sekadar konsep ekologis, tetapi juga solusi strategis untuk mencapai kesejahteraan sosial-ekonomi yang selaras dengan keberlanjutan lingkungan global (Seddon et al., 2020).

Keuntungan pendekatan NbS, antara lain:

1. Melindungi keanekaragaman hayati: NbS melestarikan atau memperluas ekosistem, dan karenanya melindungi keanekaragaman hayati dari perubahan iklim dan hilangnya habitat.
2. Reversibilitas: NbS menyimpan karbon dalam biomassa, bukan dalam reservoir permanen, dan oleh karena itu, penyerapan karbon NbS bersifat reversible, artinya karbon yang ditangkap dapat dilepaskan kembali ke atmosfer melalui kebakaran hutan, perubahan penggunaan lahan atau pengelolaan lahan, atau hanya perubahan iklim.
3. Manfaat tambahan dan metodologi: metode yang berbeda memiliki manfaat tambahan yang berbeda, mulai dari udara dan air yang lebih bersih hingga pengendalian erosi, perlindungan banjir dan lain-lain, dengan berbagai masalah dan tantangan yang berkaitan dengan metodologi pelaksanaan.

Fitoteknologi sebagai Solusi Berbasis Alam

Meskipun Fitoteknologi dan NbS memanfaatkan proses alami, terdapat beberapa perbedaan utama antara Fitoteknologi dan NbS:

1. Ruang lingkup: Fitoteknologi berfokus secara sempit pada pemanfaatan tumbuhan untuk memperbaiki lingkungan yang tercemar, sedangkan NbS mencakup berbagai strategi berbasis ekosistem untuk mengatasi beragam tantangan, termasuk sosial dan ekonomi.
2. Pendekatan ilmiah: Fitoteknologi bersifat teknis dan bioteknologis, sering diterapkan di tingkat mikro atau lokal. Sebaliknya, NbS bersifat ekologis dan sistemik, diterapkan di tingkat lanskap atau regional.
3. Tujuan: Fitoteknologi bertujuan utama untuk remediasi atau perbaikan lingkungan, sedangkan NbS bertujuan multifungsi — mencakup mitigasi perubahan iklim, konservasi keanekaragaman hayati, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat.
4. Disiplin ilmu: Fitoteknologi banyak melibatkan bioteknologi dan rekayasa lingkungan, sedangkan NbS bersifat multidisipliner, termasuk ekologi, tata ruang, sosial-ekonomi, dan kebijakan publik.

Fitoteknologi dapat dianggap sebagai subset dari NbS karena sama-sama menggunakan mekanisme alami untuk memperbaiki lingkungan. Namun, NbS memiliki konteks penerapan yang lebih luas, di mana fitoteknologi dapat menjadi salah satu komponen dalam implementasi NbS.

Fitoteknologi efektif dalam pengelolaan air limbah domestik, pertanian, dan industri. IPAL model CWs merupakan contoh nyata penerapan NbS yang menggabungkan fungsi ekologis dan teknologi sederhana (Vymazal, 2018). Sebagai contoh, sistem constructed wetlands (lahan basah buatan) yang memanfaatkan tanaman air untuk mengolah limbah cair merupakan penerapan fitoteknologi. Namun, apabila sistem tersebut juga dirancang untuk menyediakan habitat bagi satwa, meningkatkan keindahan lanskap, dan melibatkan masyarakat lokal, maka model tersebut dapat dikategorikan sebagai bagian dari NbS (Raymond et al., 2017).

Kontribusi terhadap SDGs

Pembangunan yang berkelanjutan telah menjadi fokus utama dalam agenda global sejak disepakatinya Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) oleh negara-negara anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015. SDGs mencakup 17 tujuan dari berbagai aspek kehidupan manusia, mulai dari pengentasan kemiskinan, peningkatan kualitas pendidikan, hingga kesetaraan gender dan perlindungan lingkungan. Tujuan utama SDGs adalah untuk menciptakan kesejahteraan sosial, ekonomi, dan lingkungan yang berkelanjutan bagi seluruh umat manusia, dengan jangka waktu pencapaiannya hingga tahun 2030.

Nature-Based Solutions (NbS) terkait erat dengan beberapa SDGs, seperti : SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi): NbS berperan dalam pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien dan berkelanjutan. SDG 11 (Kota dan Pemukiman): Implementasi NbS di daerah perkotaan membantu menciptakan lingkungan yang lebih hijau dan lebih sehat. SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim): NbS membantu mengurangi emisi karbon dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim. SDG 14 (Ekosistem Lautan), SDG 15 (Ekosistem Daratan): Proyek NbS mendukung konservasi dan restorasi ekosistem darat, termasuk hutan dan lahan basah.

Beberapa contoh kegiatan NbS, adalah:

1. Restorasi Hutan dan Mangrove
 - a) Reboisasi dan penghijauan sebagai upaya untuk mengurangi emisi karbon
 - b) Restorasi ekosistem mangrove untuk melindungi wilayah pesisir dari erosi
2. Manajemen Lanskap Berkelanjutan
 - a) Agroforestri, yang mengintegrasikan pertanian dengan kehutanan untuk meningkatkan produktivitas lahan

- b) Konservasi lahan basah sebagai penyangga ekosistem air tawar
- 3. Infrastruktur Hijau di Daerah Perkotaan
 - a) Pengembangan taman kota untuk mengurangi efek pulau panas perkotaan
 - b) Sistem drainase berbasis alam untuk mengelola banjir perkotaan
- 4. Manajemen Sumber Daya Air Berbasis Ekosistem
 - a) Perlindungan daerah aliran sungai untuk menjaga kualitas dan ketersediaan air
 - b) Pembuatan waduk alami untuk penyimpanan air dan pencegahan kekeringan

Manfaat Solusi Berbasis Alam (NbS) dalam SDGs:

- 1. Manfaat Lingkungan
 - a) Mengurangi emisi karbon dengan meningkatkan penyerapan CO₂ dari atmosfer
 - b) Meningkatkan keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem
 - c) Menurunkan risiko bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan kekeringan
- 2. Manfaat sosial
 - a) Meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui lingkungan yang lebih sehat
 - b) Menciptakan peluang ekonomi hijau, seperti ekowisata dan pertanian berkelanjutan
 - c) Memperkuat ketahanan masyarakat terhadap dampak perubahan iklim
- 3. Manfaat Ekonomi
 - a) Mengurangi biaya infrastruktur buatan dengan memanfaatkan solusi alami
 - b) Meningkatkan produktivitas pertanian melalui sistem agroforestri
 - c) Menarik investasi hijau dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan

Tantangan dan Peluang di Indonesia

Secara historis, fondasi konsep NbS dapat ditelusuri dari pendekatan-pendekatan yang berorientasi pada ekosistem. Peran krusial dalam memformalkan NbS sebagai kerangka kerja yang terdefinisi dimainkan oleh International Union for Conservation of Nature (IUCN). Pada tahun 2009, IUCN memperkenalkan NbS sebagai strategi adaptasi iklim pada Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (COP 15), yang menjadi titik awal pengakuan global. Puncaknya, pada Kongres Konservasi Dunia tahun 2016, anggota IUCN secara resmi mengadopsi definisi formal NbS melalui resolusi WCC-2016-Res-069, yang memberikan landasan teoritis yang kuat bagi pengembangan konsep ini. Definisi ini kemudian diperkuat oleh pengesahan resolusi oleh Majelis Lingkungan PBB (UNEA) pada tahun 2022, yang menandai pengarusutamaan NbS ke dalam agenda pembangunan berkelanjutan internasional. Untuk implementasinya, IUCN juga mengeluarkan Standar Global NbS pada tahun 2020 yang menyediakan kerangka kerja dan kriteria yang rinci.

Di Indonesia, perkembangan historis NbS sejalan dengan tren global, meskipun penerapannya disesuaikan dengan konteks lokal. Sebelum pengarusutamaan istilah NbS, Indonesia telah memiliki pengalaman panjang dalam pengelolaan ekosistem, seperti restorasi mangrove dan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS), yang sejalan dengan prinsip-prinsip NbS. Setelah tahun 2016, adopsi istilah NbS semakin meningkat, terutama dalam proyek-proyek yang berfokus pada mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Sejak tahun 2022, implementasi NbS di Indonesia semakin terintegrasi dalam kebijakan nasional, seperti yang terlihat pada proyek-proyek kredit karbon yang melibatkan restorasi hutan dan inisiatif pembangunan berkelanjutan di Ibu Kota Nusantara (IKN). Seiring dengan itu, riset-riset ilmiah yang spesifik mengenai efektivitas dan implementasi NbS di Indonesia juga mulai marak, termasuk studi kasus yang mengkaji efektivitas penerapan NbS. Implementasi Solusi Berbasis Alam (NbS) dapat berupa:

- 1. Pemulihan Lahan Basah: Lahan basah seperti rawa dan mangrove merupakan ekosistem yang kaya akan keanekaragaman hayati dan memiliki peran penting dalam menyimpan karbon serta mengatur pola air. Di banyak wilayah, lahan basah telah

rusak akibat aktivitas manusia seperti pertanian intensif dan pembangunan. Namun, melalui solusi berbasis alam, banyak upaya dilakukan untuk memulihkan lahan basah ini.

2. **Penghijauan Kota:** Dalam menghadapi masalah urbanisasi dan peningkatan populasi di perkotaan, solusi berbasis alam seperti penghijauan kota menjadi sangat penting. Penanaman pepohonan, dan taman di dalam kota tidak hanya meningkatkan kualitas udara dan kesehatan masyarakat, tetapi juga membantu menyerap karbon dioksida dan mengurangi efek panas perkotaan.
3. **Pengelolaan Air:** Dalam menghadapi masalah kekeringan dan banjir yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim, solusi berbasis alam seperti pengelolaan air berbasis ekosistem menjadi sangat penting. Penanaman vegetasi di sepanjang sungai dan sungai bawah tanah, restorasi hutan di daerah tangkapan air, serta pembangunan hibrida antara saluran air buatan dan fitur-fitur alami seperti hutan riparian adalah contoh-contoh implementasi solusi berbasis alam dalam pengelolaan air.
4. **Agricultural Buffer Zones:** Di sektor pertanian, solusi berbasis alam seperti pengembangan zona buffer pertanian bisa membantu mengurangi erosi tanah, meningkatkan kualitas air, dan menyediakan habitat bagi satwa liar.

Meskipun Indonesia, memiliki bentang alam yang beragam dan tantangan ekologis yang kompleks (deforestasi, banjir, abrasi pesisir), dengan mengimplementasikan NbS, baik proyek berskala besar maupun inisiatif komunitas kecil. Beberapa penerapan NbS yang telah dilakukan, antara lain:

1. **Restorasi Ekosistem Mangrove dan Karbon Biru**

Salah satu contoh paling menonjol dari NbS di Indonesia adalah restorasi ekosistem pesisir, khususnya hutan bakau (mangrove). Mangrove berfungsi sebagai benteng alami terhadap abrasi dan intrusi air laut, serta berperan vital sebagai penyerap karbon biru (blue carbon).

Studi Kasus: Proyek Restorasi Mangrove di Ogan Komering Ilir (OKI), Sumatera Selatan. Inisiatif ini berfokus pada pemulihan kawasan mangrove yang terdegradasi untuk melindungi desa-desa pesisir dari gelombang pasang. Selain manfaat perlindungan fisik, proyek ini juga meningkatkan stok ikan lokal, mendukung mata pencaharian masyarakat nelayan, dan menyimpan karbon dalam jumlah signifikan. Pendekatan ini melibatkan partisipasi aktif masyarakat lokal dalam pembibitan, penanaman, dan pengelolaan berkelanjutan.

2. **Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Pengendalian Air**

Masalah banjir di perkotaan dan pencemaran air telah mendorong penerapan NbS dalam pengelolaan DAS.

Studi Kasus: Sub-DAS Cikapundung, Jawa Barat. Penelitian dan inisiatif di kawasan ini mengeksplorasi potensi NbS, seperti pembangunan kolam retensi alami, pengelolaan lahan resapan, dan penanaman vegetasi riparian, untuk mengendalikan pencemaran air dan mengurangi limpasan air hujan yang menyebabkan banjir. Pendekatan ini terbukti lebih adaptif dan efektif secara biaya dibandingkan pembangunan saluran beton semata, sekaligus memperbaiki kualitas habitat akuatik dan estetika lingkungan.

3. **Penerapan di Lingkungan Perkotaan**

Konsep NbS juga relevan di perkotaan padat penduduk.

Studi Kasus: Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Jakarta dan Surabaya. Meskipun menghadapi tantangan lahan, pemerintah daerah mulai mengintegrasikan infrastruktur hijau seperti taman atap, kebun vertikal, dan bioswale (vegetated swales) untuk mengurangi efek pulau panas perkotaan, mengelola air hujan lokal, dan menyediakan ruang publik yang sehat.

Riset dari ITS Surabaya menunjukkan bagaimana NbS di perkotaan dapat menjamin ketersediaan air bersih dan meningkatkan kualitas udara.

Meskipun Solusi Berbasis Alam menawarkan banyak manfaat, implementasi penerapan di Indonesia menghadapi beberapa tantangan, meliputi: Rendahnya kesadaran publik: Pendidikan diperlukan untuk membantu masyarakat memahami dan mendukung NbS. Keterbatasan penelitian lokal dan pendanaan: Banyak riset dan proyek NbS membutuhkan investasi awal yang signifikan. Minimnya kebijakan dan peraturan: Dukungan pemerintah dan kebijakan yang memadai sangat penting untuk keberhasilan proyek. Namun peluang besar terbuka melalui program green infrastructure dan kampus hijau.

SIMPULAN

Fitoteknologi dan Nature-Based Solutions (NbS) sama-sama berperan penting dalam upaya mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan. Fitoteknologi merupakan bentuk konkret NbS yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah untuk mengatasi pencemaran serta mendukung keberlanjutan ekosistem.

Fitoteknologi merupakan pendekatan yang spesifik dan teknis, berfokus pada penggunaan tumbuhan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Sementara itu, NbS merupakan pendekatan holistik dan multidisipliner yang mencakup berbagai tindakan berbasis alam untuk meningkatkan ketahanan ekosistem sekaligus kesejahteraan manusia.

Dengan demikian, fitoteknologi dapat dipandang sebagai bagian dari NbS yang lebih luas. Integrasi antara kedua pendekatan ini dapat menghasilkan strategi pengelolaan lingkungan yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan dalam menghadapi berbagai tantangan lingkungan global. Dari hasil riset ini, disarankan untuk meningkatkan riset lokal, mengintegrasikan NbS dan fitoteknologi dalam kebijakan, dan mengembangkan model edukasi publik.

DAFTAR RUJUKAN

- Arthur, E. L., et al. (2005). Phytoremediation: An overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(2), 109–122.
- Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). (2024). NBS sebagai Solusi Pengelolaan DAS.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.). (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage.
- Digilib ITB. (2024). EFEKTIVITAS PENERAPAN NATURE BASED SOLUTION.
- IUCN. (2009). *Position Paper: Nature-based Solutions for Climate Change Adaptation*. Gland, Switzerland: IUCN. (Relevansi: Referensi untuk pengenalan awal NbS oleh IUCN)
- IUCN. (2016). *Resolution WCC-2016-Res-069-EN "Defining Nature-based Solutions"*.
- IUCN. (2020). *IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature.
- LindungiHutan. (2024). *Nature Based Solution: Solusi Berbasis Alam untuk Keberlanjutan*. Diakses dari.
- Nesshöver, C., et al. (2017). The science, policy and practice of Nature-Based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 77, 82–91.
- Otorita Ibu Kota Nusantara (OIKN). (2023). *Solusi Berbasis Alam untuk Bangun Kota Spons IKN*.
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Geneletti, D., & Calafapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>
- Salt, D. E., Smith, R. D., & Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 643–668.

- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375*(1794), 20190120.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Trisakti. (2025). Kajian nature-based solutions (nbs) dalam menangani
- UNEP & FAO. (2021). **UN Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030 Strategy**. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- UNEP. (2019). **Nature-based Solutions for Climate Change**. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- UNEP. (2021). *State of Finance for Nature*. United Nations Environment Programme.
- United Nations Environment Assembly (UNEA). (2022). Resolution 5/5 "Nature-based solutions for supporting sustainable development".
- United Nations. (2015). **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: United Nations.
- Vymazal, J. (2018). Constructed wetlands for wastewater treatment: 40 years of experience. *Environmental Science & Technology*, 52(24), 13683–13691.
- WRI Indonesia. (2022). Siaran Pers: Cities4Forests Dukung 8 Kota di Indonesia Integrasikan Solusi Berbasis Alam.