

Tinjauan Penggunaan Tanaman dalam Perencanaan dan Reka Bentuk Lanskap untuk Mitigasi Longsor

Ni Wayan Febriana Utami^{1*}

1. Program Studi Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana, Denpasar, Indonesia

*E-mail: wayan_febriana@unud.ac.id

Abstract

The use of plants in landscape planning and design for landslide mitigation – a review. Landforms vary from flat to undulating and steep. Steepness in a landscape can enhance aesthetic value but also poses challenges if not managed properly. Landslides are a significant risk associated with steep topography, and to mitigate this impact, landscape architects can incorporate mitigation strategies within landscape planning and design. A biotechnological approach for landslide mitigation has been effectively proven to stabilise unstable slope. The using of a variety of plant strata—from groundcovers such as grasses to herbs, shrubs, and trees—can be integrated into landscape plans and design to support landslide mitigation. This paper presents a qualitative literature review, employing descriptive-analytical methods to identify optimal criteria for plant-based landslide mitigation in landscape planning and design.

Keywords: *landscape planning and design, landscape plants, landslide stabilization, environmental services*

1. Pendahuluan

Proses merencana serta melakukan reka bentuk suatu kawasan dalam arsitektur lanskap melibatkan proses yang panjang yang disertai dengan tahapan menganalisis kondisi eksisting lanskap (Russ, 2009). Analisis kondisi eksisting membutuhkan pemahaman karakter lanskap dilihat dari berbagai aspek termasuk diantaranya adalah aspek biofisik seperti kondisi tanah, topografi, hidrologi, dan vegetasi. Kondisi lanskap eksisting tidak selamanya ada dalam kondisi ideal untuk dapat difungsikan, baik untuk tujuan ekologis maupun oleh pemanfaatan ruang oleh pengguna. Kawasan yang memiliki bentukan lahan datar hingga bergelombang, baik bentukan lahan alami maupun buatan, menjadi preseferensi jika dilihat dari kemudahan dalam mengakses suatu kawasan. Namun, studi menunjukkan bahwa adanya bentukan lahan buatan berupa tanggul pada badan air diketahui memberi manfaat pula dalam meningkatkan kualitas estetika kawasan selain kontribusinya terhadap permasalahan lingkungan (Bondarenko et al., 2019). Aspek lainnya seperti kondisi tanah yang subur juga dapat mendukung suatu kawasan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Stockdale et al., 2013). Keberadaan fitur badan air, baik yang sifatnya alami maupun buatan dalam kawasan lanskap eksisting dapat menambah nilai estetika pada lanskap tersebut (Li et al., 2024) sekaligus mendukung kehidupan berbagai mahluk hidup yang ada di sekitarnya (Finlayson et al., 2005). Keberadaan vegetasi eksisting juga dapat menambah kualitas visual lanskap (Li et al., 2024) sekaligus berfungsi sebagai ameliorasi iklim mikro yang nyaman bagi pengguna (Bakx & Lenzholzer, 2023), selain juga dapat menjaga keseimbangan ekosistem suatu kawasan (Erell, 2017). Penilaian terkait kondisi eksisting dari berbagai elemen pembentuk lanskap ini dapat memberi gambaran kepada perencana dalam mengembangkan konsep kawasan yang sesuai sekaligus aplikasi konsep oleh perancang dalam reka bentuk lanskap.

Merujuk pada nilai penting dalam melakukan penilaian terhadap kondisi eksisting kawasan termasuk kondisi vegetasi eksisting pada suatu kawasan dalam perencanaan dan pengembangan konsep vegetasi yang sesuai dalam reka bentuk lanskap menjadikan pentingnya penelaahan mendalam terhadap keberadaan vegetasi dalam berbagai tipe lanskap. Dilihat dari habitusnya, vegetasi dapat dikelompokkan berdasarkan strata vertikal paling rendah mulai dari vegetasi penutup tanah, semak, hingga pohon (Walker, 1991). Dalam aspek reka bentuk, secara spesifik habitus tanaman yang terkait dengan bentuk kanopi, tekstur dan warna secara keseluruhan memberikan kesan yang berbeda pada lanskap (Li et al., 2024). Berdasarkan habitatnya, vegetasi dapat ditelaah dari tipe vegetasi yang hidup di daratan (terrestrial) baik itu dalam habitat pesisir hingga pegunungan, maupun vegetasi yang hidup pada habitat perairan (akuatik) seperti dalam badan-badan air

maupun lahan basah (Robinson, 2004). Dilihat dari fungsi dalam reka bentuk, vegetasi dapat ditelaah untuk fungsi visual seperti harmoni, kontras, keseimbangan, penekanan dan aksent, sekuen, skala (Robinson, 2004). Selanjutnya untuk fungsi tanaman sebagai fungsi fisik yaitu ruang terbuka, ruang tertutup, fungsi arsitektur, proporsi vertikal, kemiringan, simetri dan asimetri, serta pembatas (Robinson, 2004). Lebih lanjut, vegetasi juga berperan dalam menjaga fungsi ekologis seperti menyediakan habitat bagi satwa liar, rekayasa iklim mikro, hingga mitigasi bahaya yang dapat ditimbulkan dari bencana baik alam maupun non alam, salah satunya adalah erosi atau longsor (Walker, 1991).

Telaah terkait fungsi vegetasi dalam perencanaan dan reka bentuk lanskap dapat dimulai dari pemahaman tentang karakter morfologi individu tanaman serta komposisi vegetasi secara komunal pada kawasan sebagai bagian dari strategi berbasis resiko. Pemahaman terhadap karakter morfologi tanaman dapat dilakukan dengan melihat pertumbuhan tanaman di bagian atas permukaan tanah (batang dan tajuk) maupun pertumbuhan tanaman di bagian bawah permukaan tanah (akar). Saat longsor terjadi dan tanah di bagian puncak lereng menjadi tidak stabil akibat pergerakan tanah hingga ke kaki lereng, batang, tajuk, dan akar tanaman dapat menunjang longsor tanah (Nono et al., 2022). Karakter tanaman, terutama akar tanaman, menjadi bagian terpenting dalam memberikan kekuatan secara vertikal dengan daya tunjangnya maupun secara horisontal (lateral) dengan daya cengkramannya pada tanah (Zayadi et al., 2022). Elastisitas akar juga mampu memberi kekuatan dalam merespon tarikan pada saat tanah bergerak yang menyebabkan modifikasi akar lateral (Chiatante et al., 2002), selain bagian batang dan tajuk tanaman yang berfungsi untuk memecah butiran air hujan (Subagyono et al., 2003) terutama untuk jenis longsor yang diakibatkan oleh hujan. Sedangkan komposisi spasial berupa jarak tanam diantara vegetasi dan antar jenis vegetasi untuk stabilisasi lereng (Kelbore & Wote, 2023) dapat memberikan pemahaman tentang keragaman dan variasi komposisi individu tanaman terhadap efektivitas dalam memitigasi longsor.

Penggunaan tanaman sebagai salah satu elemen lunak dalam perencanaan maupun reka bentuk lanskap menjadi penting dengan melihat berbagai fungsi yang diberikan tanaman baik dalam memenuhi kebutuhan pengembangan kawasan selain untuk fungsi estetika. Integrasi yang tepat bagi kesesuaian jenis tanaman untuk memenuhi fungsi estetika sekaligus fungsi ekologis dalam memitigasi kawasan yang rentan longsor menjadi pertimbangan penting dalam proses perencanaan maupun reka bentuk lanskap. Oleh sebab itu, artikel ini bertujuan untuk menelaah pustaka ilmiah yang telah dipublikasikan terkait kriteria-kriteria apa saja yang harus dimiliki atau karakter utama tanaman yang dibutuhkan dalam rekayasa lingkungan untuk tujuan mitigasi longsor, sehingga diharapkan dapat merumuskan konsep dan jenis tanaman yang sesuai untuk pengembangan dan reka bentuk lanskap.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam menyusun telaah ini adalah metode deskriptif dengan melakukan teknik penelusuran pustaka dengan menggunakan mesin pencarian daring seperti Google cendekia maupun melalui perpustakaan daring penyedia artikel ilmiah. Pencarian difokuskan dengan menggunakan kata kunci seperti "disain lanskap", "longsor", "mitigasi longsor", "morfologi tanaman", "perencanaan lanskap", "rekayasa biologi (*bioengineering*)", "rencana penanaman", maupun "stabilisasi longsor". Hasil penelusuran pustaka relevan kemudian digunakan dalam menyusun pembahasan keragaman strata jenis tanaman maupun komposisi dan kepadatan (jarak tanam) yang dianjurkan. Selanjutnya, dari hasil telaah tersebut disusun kriteria dan jenis tanaman yang disarankan untuk digunakan dalam perencanaan maupun reka bentuk lanskap khususnya untuk tujuan mitigasi longsor. Kriteria detail dalam unsur reka bentuk yang dimanfaatkan dari tanaman seperti tekstur maupun wana tidak menjadi topik pembahasan dalam tinjauan ini.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Variasi parameter morfologi tanaman untuk tujuan mitigasi longsor

Terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam memitigasi longsor, diantaranya yaitu dengan memahami karakter morfologi tanaman baik di atas permukaan tanah yang berupa batang dan tajuk, serta karakter morfologi tanaman di bawah permukaan tanah yaitu akar. Tabel di bawah menjelaskan rincian beberapa referensi dari berbagai jenis tanaman yang dapat

dipertimbangkan untuk mitigasi longsor beserta daftar morfologi tanaman yang berpengaruh, deskripsi morfologi, dan lokasi dimana studi tentang tanaman terkait longsor tersebut dilakukan, yaitu:

Tabel 1. Beberapa contoh parameter morfologi tanaman yang dapat digunakan untuk tujuan mitigasi longsor

| Jenis tanaman/famili | Morfologi tanaman yang berpengaruh | Deskripsi morfologi | Referensi | Lokasi |
|---|------------------------------------|---|--|---|
| A. <i>Penutup tanah:</i> | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Poaceae (Akar wangi, Rumput Desho) | Akar | Perakaran pendek dan diameter besar, namun diameter akar yang lebih kecil mampu menembus tanah lebih dalam | (Chakraborty & Khan, 2024; Ismayani & Febrianto, 2020; Jandyal & Shah, 2024; Kelbore & Wote, 2023; Mickovski & van Beek, 2009) | Seluruh dunia; Indonesia (Sumatera Utara); India (Jammu & Kashmir); Ethiopia (DAS Danau Hawassa); Spanyol (Almudaina) |
| B. <i>Herba:</i> | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Asteracea (Blue fleabane) Caryophyllaceae (Red campion) Polygonaceae (Broad-leaved dock) | Akar | Sistem perakaran tanaman menyebar pada kedalaman profil tanah 0-30 cm | (Gonzalez-Ollauri & Mickovski, 2016) | Skotlandia Timur Laut, Inggris |
| C. <i>Semak:</i> | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Amaranthaceae (Joshua Tree) Fabaceae (Semak Korshinsk) Nitrariaceae (Semak Berry) Solanaceae (Chinese Boxthron) Zygophyllaceae Fabaceae (Kaliandra Merah, Lamtoro) | Akar | Akar yang panjang dan menyebar | (Hu et al., 2013) | Timur Laut Qinghai, Cina |
| <ul style="list-style-type: none"> Fabaceae (Kaliandra) | Akar dan tajuk | Akar tunggang yang dalam dan bercabang serta variasi bentuk tajuk ringan, ramping, dan menyebar ke segala arah dan tidak rimbun | (Nono et al., 2022) | NTT, Indonesia |
| <ul style="list-style-type: none"> Fabaceae (Kaliandra) | Akar | Akar dapat menahan erosi | (Zakaria et al., 2013) | Jawa Barat, Indonesia |
| D. <i>Pohon:</i> | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Meliaceae (Mimba) | Akar | Akar kuat | (Ismayani & Febrianto, 2020) | Sumatera Utara, Indonesia |

| Jenis tanaman/famili | Morfologi tanaman yang berpengaruh | Deskripsi morfologi | Referensi | Lokasi |
|---|------------------------------------|--|---|----------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Araucariaceae (Damar) • Meliaceae (Mahoni India) • Myrtaceae (Ekaliptus) • Pinaceae (Tusam Sumatera) • Rubiaceae (Kopi Arabica) | Akar | Akar memiliki sistem kohesi akar-tanah yang tinggi sehingga mampu meningkatkan resistensi tanah saat longsor | (Zayadi et al., 2020) | Jawa Timur, Indonesia |
| <ul style="list-style-type: none"> • Anacardiaceae (Mangga) • Arecaceae (Enau) • Euphorbiaceae (Kemiri) • Fabaceae (Sengon, Dadap) • Lamiaceae (Jati Putih) • Lauraceae (Alpukat, Kayu Manis) • Meliaceae (Suren, Mahoni) • Moraceae (Nangka, Beringin) • Myrtaceae (Ekaliptus) • Poaceae (Bambu) | Akar dan tajuk | Variasi akar tunggang maupun akar serabut serta bentuk tajuk kecil hingga sedang | (Nono et al., 2022) | NTT, Indonesia |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bignoniaceae (Tabebuaya) • Fabaceae (Gamal, Cangkring) | Batang dan akar | Batang yang tinggi dan rumpun yang agak padat serta akar yang padat dan kuat (rimpang) | (Ismayani & Febrianto, 2020; Tardio et al., 2018) | India, Cina, Asia Tenggara |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bignoniaceae (Tabebuaya) • Fabaceae (Gamal, Cangkring) | Batang dan tajuk | Batang lurus dan tajuk sempit, irregular | (Petrone & Preti, 2010) | Nikaragua |

Analisis terkait variasi parameter morfologi tanaman untuk tujuan mitigasi longsor berdasarkan Tabel 1 dikelompokkan berdasarkan strata tanaman yang lazim digunakan dalam konsep rencana maupun reka bentuk lanskap yaitu tanaman penutup tanah, herba, semak, dan pohon. Terdapat 21 famili tanaman yang diidentifikasi dari hasil penelusuran Pustaka dalam Tabel 1, yaitu: Amaranthaceae, Anacardiaceae, Araucariaceae, Arecaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Caryophyllaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Moraceae, Myrtaceae, Nitrariaceae, Pinaceae, Poaceae, Polygonaceae, Rubiaceae, Solanaceae, dan Zygophyllaceae. Masing-masing memiliki karakter morfologi yang berbeda mulai dari batang, tajuk, hingga akar yang kemudian diidentifikasi dari setiap strata tanaman. Selain itu, telaa cakupan studi dilakukan berdasarkan beberapa lokasi dilakukannya studi baik di Indonesia maupun di kawasan lainnya yang memiliki kemiripan iklim atau secara umum bisa mewakili tiap jenis strata tanaman. Secara lebih lengkap, hasil analisis diuraikan pada sub-topik berikutnya.

3.2. *Strategi pemilihan tanaman yang tepat untuk fungsi perencanaan dan reka bentuk lanskap sekaligus fungsi mitigasi longsor*

Kehadiran tanaman dalam konsep rencana maupun reka bentuk lanskap memberi solusi terhadap fungsi ruang luar maupun estetika sekaligus berdampak terhadap ekosistem sekitar. Pada saat tanaman dipilih untuk memenuhi unsur maupun prinsip disain tertentu, misalnya pemilihan tanaman dengan tekstur, warna, maupun bentuk tertentu sekaligus memberikan memberi fungsi keseimbangan dalam disain lanskap. Selain itu, pertimbangan pemilihan tanaman untuk konsep mitigasi longsor menjadi kriteria tambahan dalam pemilihan tanaman sebagai kontribusi tanaman untuk jasa perbaikan lanskap. Pertimbangan yang bisa diperhatikan untuk fungsi ini antara lain adalah dengan mengkuantifikasi fungsi dari batang dan tajuk, serta akar (Subagyono et al., 2003). Hasil penelusuran referensi (Subagyono et al., 2003) menyebutkan bahwa batang memiliki fungsi untuk mengalirkan air saat hujan dari tajuk ke permukaan tanah, dimana bentuk tajuk akan berpengaruh terhadap kerapatan kanopi yaitu tutupan kanopi yang rapat diketahui dapat mengurangi erosi karena dapat melindungi tanah dari pukulan air hujan. Sedangkan keberadaan akar sangat jelas fungsinya dalam mencengkram tanah dengan meningkatkan kohesi akar dengan tanah. Selain pemilihan tanaman untuk memenuhi unsur maupun prinsip disain, pemilihan jenis tanaman asli dalam rencana penanaman dan reka bentuk juga lebih disukai dibandingkan dengan tanaman eksotik karena dapat mengurangi biaya pemeliharaan terkait penggunaan pestisida atau pupuk (Russ, 2009).

Tabel 1 menjelaskan mengenai variasi dari berbagai strata tanaman yang dapat dijadikan pilihan untuk mitigasi longsor, mulai dari jenis penutup tanah, herba, semak, dan pohon. Untuk jenis tanaman penutup tanah, terutama akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) telah diidentifikasi oleh Chakraborty & Khan, (2024); Ismayani & Febrianto, (2020); Jandyal & Shah, (2024); dan Mickovski & van Beek, (2009) secara kolektif mengenai keefektifan jenis tanaman tersebut dalam rekayasa biologi tanah. Sistem perakarannya yang dalam dan dengan jenis akar serabut meningkatkan kekuatan geser tanah, kohesi, dan retensi air, sehingga cocok untuk stabilisasi lereng dan pengendalian longsor. Hasil studi-studi tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan jenis tanaman akar wangi selain untuk konservasi lahan sekaligus berfungsi untuk dimanfaatkan dalam perencanaan lanskap, terutama untuk area yang memiliki kelerengan seperti area sempadan sungai, atau untuk rekayasa biologi untuk dinding penahan (*retaining wall*). Secara khusus, di area dataran tinggi Ethiopia, penanaman rumput Desho (jenis rumput di Ethiopia) dengan jarak tanam 5 × 10 cm pada tanggul setinggi 40-60 cm (dikenal dengan istilah fanyaaaju) diketahui dapat mencapai kepadatan dan ketinggian tutupan tanaman secara maksimal (Kelbore & Wote, 2023).

Untuk jenis tanaman herba, studi di area beriklim sedang lembab (*humid temperate climate*) mengindikasikan bahwa sistem perakaran yang menyebar dan padat dari tanaman herba pionir sangat penting dalam meningkatkan kohesi tanah dan kekuatan geser (Gonzalez-Ollauri & Mickovski, 2016). Jenis herba pionir adalah tumbuhan yang tumbuh dengan cepat sehingga dapat memberikan manfaat stabilisasi langsung di daerah rawan longsor. Dalam lanskap, jenis tanaman pionir diperlukan terutama untuk kawasan yang terganggu atau ekosistemnya masih dalam tahap awal perkembangan, misalnya pada lahan bekas tambang (Navarro-Cano et al., 2019), kebakaran, lahan gundul, di lereng bukit atau area riparian sungai (Galindo et al., 2017). Lebih lanjut dijelaskan oleh Galindo et al., (2017) bahwa pemulihan lahan terganggu pada riparian sungai dapat dicapai dengan menggunakan jenis tanaman Kipait (*Tithonia diversifolia*) dimana jenis tanaman ini yang dapat mendorong pertumbuhan pohon yang ditanam untuk tujuan pemulihan lahan serta meningkatkan perekrutan tanaman berkayu. Untuk jarak penanamannya, tidak terdapat panduan khusus dari studi yang dilakukan oleh Navarro-Cano et al., (2019), namun penekanan pemilihan tanaman berdasarkan keragaman fungsional antara kombinasi penanaman dengan perakaran dalam untuk stabilisasi lereng dan tanaman dengan kemampuan fiksasi nitrogen untuk menyuburkan tanah dengan penanaman tanaman yang memiliki perakaran dalam yang dapat membantu pemulihan ekosistem.

Begitu pula untuk jenis strata tanaman semak, kekuatan dalam menjangkar dan mencengkram tanah oleh akar menjadi karakteristik penting tanaman dalam mitigasi longsor. Jenis akar yang padat dan dalam dari beberapa jenis tanaman semak mengindikasikan kemampuan kekuatan dan kohesi tanah (Hu et al., 2013) terutama pada saat tanah menjadi jenuh oleh air saat terjadi hujan. Lebih lanjut Hu et al., (2013) menjelaskan bahwa perlunya penanaman campuran antara jenis semak *Caragana korshinskii* Kom. dan *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. dengan tanaman penutup tanah seperti rumput *Achnatherum splendens* dan *Elymus nutans*

untuk meningkatkan efektifitas mekanisme mitigasi longsor kawasan lereng bukit. Berdasarkan studi yang sama, diterapkan pola penanaman semai dengan jarak penanaman antar benih sebesar 10 cm dan lebar antar baris sebesar 24 cm pada area bukit setinggi 10 m dan kelerengan sebesar 40°. Pola penanaman pada studi ini bersifat uji coba, karena benih ditanam kemudian dipanen untuk kemudian diukur kekuatan akarnya setelah berusia dua tahun. Pertimbangan jarak tanam dalam rencana penanaman dalam perencanaan dan reka bentuk lanskap perlu memperhatikan tanaman sesuai ukuran saat dewasa (Russ, 2009).

Penentuan jenis tanaman yang sesuai untuk mitigasi longsor pada strata pohon banyak mendapat perhatian, terutama di Indonesia yang termasuk kawasan tropis dengan curah hujan tinggi sehingga memiliki potensi terjadinya longsor yang sangat tinggi pula (Dandridge et al., 2023; Kirschbaum et al., 2015). Dari hasil penelusuran beberapa studi yang dilakukan oleh Nono et al., (2022); Ismayani & Febrianto, (2020); Zayadi et al., (2020); Tardio et al., (2018); dan Petrone & Preti, (2010) diketahui beberapa jenis tanaman kehutanan yang juga berfungsi sebagai tanaman untuk mitigasi longsor. Tanaman tersebut diantara adalah Mimba, Damar, Mahoni, Ekaliptus, Tusam Sumatera, Jati Putih, Dadap, Sengon, Beringin, Suren, Bambu, Gamal, dan Enau. Sedangkan terdapat beberapa jenis tanaman strata pohon yang juga bersifat edibel yang bisa digunakan untuk mitigasi longsor seperti Kopi Arabika, Mangga, Kemiri, Alpukat, Kayu Manis, dan Nangka. Untuk jenis tanaman strata pohon yang potensial karena memiliki unsur estetika dengan kehadiran bunganya dengan warna yang mencolok seperti Cangkring dan Tabebuya. Tanaman-tanaman tersebut merupakan jenis tanaman yang diamati dalam studi yang dilakukan di Indonesia mulai dari bagian barat di Sumatera Utara, Jawa Timur, hingga bagian timur di Nusa Tenggara Timur. Jenis-jenis tanaman tersebut diketahui memiliki karakter morfologi dengan perakaran yang kuat, sistem kohesi tanah dan akar yang tinggi, serta variasi jenis akar tunggang dan serabut. Tajuk yang dimiliki secara umum berukuran kecil hingga sedang. Untuk jenis tanaman strata pohon lainnya yang juga diamati dari referensi studi yang dilakukan di beberapa negara lainnya, seperti di India, Cina dan Asia tenggara adalah bambu. Bambu memiliki karakteristik batang khusus yaitu batang bambu yang lurus dengan jenis akar rimpang yang padat dan kuat yang menjadi karakter utama tanaman ini dalam memitigasi longsor.

4. Simpulan

Mitigasi longsor merupakan salah satu fungsi ekologis yang diberikan tanaman dalam bentang ruang luar. Kehadiran tanaman dalam lanskap perlu direncanakan untuk berbagai tujuan yaitu memenuhi unsur dan prinsip disain maupun fungsi lainnya terkait kemanfaatannya terhadap lingkungan sekitar termasuk memitigasi longsor. Karakteristik yang dapat dijadikan kriteria dalam pemilihan tanaman untuk fungsi khusus ini dapat dilakukan dengan telaah menggunakan pendekatan kriteria morfologi tanaman dengan melihat pertumbuhan tanaman di atas permukaan tanah yaitu batang dan tajuk, serta kriteria morfologi tanaman dengan melihat pertumbuhan tanaman di bawah permukaan tanah yaitu akar. Spesifikasi dalam penelusuran pustaka dengan pendekatan ini dapat dijadikan referensi lebih lanjut untuk mendalami karakter dari masing-masing individu dari setiap strata tanaman, terutama kaitannya dengan komposisi dari masing-masing jenis secara spasial melalui studi eksperimental.

5. Daftar Pustaka

- Bakx, M., & Lenzholzer, S. (2023). Historical vegetation for microclimate amelioration: a case study for The Netherlands. *Landscape Research*, 48(3), 412–426. <https://doi.org/10.1080/01426397.2022.2161496>
- Bondarenko, I., Kokhan, N., Gonchar, O., & Bondarenko, B. (2019). MANMADE-LANDFORMS-IN-LANDSCAPE-DESIGN-OF-TERRITORIES-AS-A-MEANS-OF-SOLVING-ENVIRONMENTAL-PROBLEMS. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 7–14. <https://doi.org/10.21307/ACEE-2019-047>
- Chakraborty, A., & Khan, S. (2024). Soil Bioengineering Using Vetiver for Climate-Adaptive Slope Repair: Review. *Natural Hazards Review*, 25(3). <https://doi.org/10.1061/nhinfo.nheng-2014>
- Chiatante, D., Scippa, S. G., Di Iorio, A., & Sarnataro, M. (2002). The influence of steep slopes on root system development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(4), 247–260. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0012-0>

- Dandridge, C., Stanley, T. A., Kirschbaum, D. B., & Lakshmi, V. (2023). Spatial and temporal analysis of global landslide reporting using a decade of the Global Landslide Catalog. *Sustainability*, 15(3323), 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15043323>
- Erell, E. (2017). Urban Greening and Microclimate Modification. In P. Y. Tan & C. Y. Jim (Eds.), *Greening Cities: Forms and Functions* (pp. 73–93). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6_4
- Finlayson, C. M., D'Cruz, R., & Davidson, N. (2005). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water: synthesis*. World Resources Institute.
- Galindo, V., Calle, Z., Chará, J., & Armbrrecht, I. (2017). Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forests in the Central Andes of Colombia. *Restoration Ecology*, 25(5), 731–737. <https://doi.org/10.1111/rec.12490>
- Gonzalez-Ollauri, A., & Mickovski, S. B. (2016). Using the root spread information of pioneer plants to quantify their mitigation potential against shallow landslides and erosion in temperate humid climates. *Ecological Engineering*, 95, 302–315. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.028>
- Hu, X. song, Brierley, G., Zhu, H. li, Li, G. rong, Fu, J. tao, Mao, X. qing, Yu, Q. qin, & Qiao, N. (2013). An exploratory analysis of vegetation strategies to reduce shallow landslide activity on loess hillslopes, Northeast Qinghai-Tibet Plateau, China. *Journal of Mountain Science*, 10(4), 668–686. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2584-x>
- Ismayani, N., & Febrianto, H. (2020). PENCEGAHAN LONGSOR MELALUI KONSERVASI LAHAN DI KECAMATAN SIMPANG EMPAT KABUPATEN KARO. *Jurnal Azimut*, 9–14. <https://ojs.unitas-pdg.ac.id/index.php/azimuthttps://ojs.unitas-pdg.ac.id/index.php/azimut|9>
- Jandyal, T., & Shah, M. Y. (2024). An experimental investigation on the effect of vetiver grass root system on the engineering properties of soil. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s41872-024-00257-7>
- Kelbore, Z. A., & Wote, T. T. (2023). Fanyaaaju stabilization and productivity of Pennisetum Pedicellatum in response to planting position and spacing at Hawassa Lake watershed, Southern Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 9(2). <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2275401>
- Kirschbaum, D., Stanley, T., & Zhou, Y. (2015). Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog. *Geomorphology*, 249, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.016>Li, J., Huang, Z., Zhu, Z., & Ding, G. (2024). Coexistence Perspectives: Exploring the impact of landscape features on aesthetic and recreational values in urban parks. *Ecological Indicators*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112043>
- Mickovski, S. B., & van Beek, L. P. H. (2009). Root morphology and effects on soil reinforcement and slope stability of young vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plants grown in semi-arid climate. *Plant and Soil*, 324(1), 43–56. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0130-y>
- Navarro-Cano, J. A., Goberna, M., & Verdú, M. (2019). Using plant functional distances to select species for restoration of mining sites. *Journal of Applied Ecology*, 56(10), 2353–2362. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13453>
- Nono, K. M., Toly, S. R., Bhuja, P., Boro, T. L., Danong, M. T., & Ragha, T. B. (2022). Inventarisasi jenis tumbuhan yang berperan sebagai mitigasi longsor di Taman Wisata Rohani Wolowio Kecamatan Bajawa Kabupaten Ngada. *Jurnal Biotropikal Sains*, 19(3), 50–58. <https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/biotropikal/issue/view/515>
- Petrone, A., & Preti, F. (2010). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(2), 239–250. <https://doi.org/10.5194/hess-14-239-2010>
- Robinson, N. (2004). *The Planting Design Handbook, Second Edition* (Second Edition). Ashgate Publishing Company.
- Russ, T. (2009). *Site Planning and Design Handbook*, (2nd edition). McGraw-Hill Companies, Inc.
- Stockdale, E. A., Goulding, K. W. T., George, T. S., & Murphy, D. V. (2013). Soil fertility. In *Soil Conditions and Plant Growth* (pp. 49–85). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118337295.ch3>
- Subagyono, K., Marwanto, S., & Kurnia, U. (2003). *TEKNIK KONSERVASI TANAH SECARA VEGETATIF*. Balai Penelitian Tanah. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/9629>
- Tardio, G., Mickovski, S. B., Rauch, H. P., Fernandes, J. P., & Acharya, M. S. (2018). The Use of Bamboo for Erosion Control and Slope Stabilization: Soil Bioengineering Works. In *Bamboo - Current and Future Prospects*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75626>
- Walker, T. D. (1991). *Planting Design* (Second Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- Zakaria, Z., Muslim, D., Irvan Sophian, R., Kuswaryan, S., & Hidayat Tanuwiria, U. (2013). BIO-ENGINEERING, MELALUI PEMANFAATAN TANAMAN KALIANDRA (CALIANDRA CALOTHYRSUS)

- DI WILAYAH ZONA RAWAN LONGSOR JAWA BARAT. *Bulletin of Scientific Contribution*, 11, 168–175. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/bsc%20geology.v11i3.8297.g3844>
- Zayadi, R., Andajani, S., Indrawati, E., Kusumah, I. H., & Alam, N. K. (2022). Landslide disaster mitigation training using the vegetative method in the Kasepuhan Traditional Village, Sukabumi Regency. *Community Empowerment*, 7(6), 1119–1129. <https://doi.org/10.31603/ce.6772>
- Zayadi, R., Kusuma, Z., Leksono, A. S., & Yanuwadi, B. (2020). THE INFLUENCE OF VEGETATION ROOTS ON SLOPE STABILITY IN LANDSLIDE SUSCEPTIBLE AREAS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY (IJCIET)*, 11(4). <https://doi.org/10.34218/ijciet.11.4.2020.011>