

Pemanfaatan Penahan Lereng Bioengineering Untuk Pembangunan Ibu Kota Negara Baru di Kalimantan Yang Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan

Don Bosco Seccio Prariz¹, Mark Paul Anthoino Parangan², William Wijaya³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

¹210218807@students.uajy.ac.id, ²210218714@students.uajy.ac.id, ³william.wijaya@uajy.ac.id

Abstrak: Pembangunan ibu kota negara baru di Kalimantan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan memerlukan pendekatan inovatif dalam manajemen lereng dan stabilitas tanah. Artikel ini mengeksplorasi penerapan teknologi penahan lereng berbasis *bioengineering* sebagai solusi yang efektif dan berkelanjutan. *Bioengineering* menggabungkan teknik rekayasa dengan vegetasi alami untuk mengatasi erosi dan meningkatkan stabilitas lereng secara alami. Artikel ini membahas berbagai metode *bioengineering*, termasuk penggunaan tanaman penguat lereng, sistem akar yang kompleks, dan teknik penahan alami lainnya. Melalui studi kasus dari berbagai lokasi yang telah sukses menerapkan teknologi ini, artikel ini memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas dan keberlanjutan metode tersebut. Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi pada stabilitas tanah, tetapi juga mendukung konservasi ekosistem lokal. Artikel ini juga menyoroti pentingnya kolaborasi antara pemerintah, ilmuwan, dan masyarakat lokal dalam implementasi teknologi *bioengineering*. Hasil kajian ini diharapkan menjadi panduan dalam pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan di ibu kota negara baru, serta mendukung pelestarian lingkungan dan keberlanjutan jangka panjang.

Kata Kunci: penahan lereng, *bioengineering*, berkelanjutan, stabilitas tanah, erosi.

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) baru di Kalimantan merupakan langkah awal yang akan membawa perubahan besar bagi Indonesia. IKN baru akan dibangun di wilayah Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara, kondisi topografi di wilayah ini cenderung beragam, tak jarang dijumpai wilayah berbukit dan berlereng dikawasan ini, curah hujan yang tinggi juga mempengaruhi tingginya potensi longsor di daerah ini.

Kondisi tanah di Kalimantan yang beragam ini menghadirkan berbagai macam tantangan dalam pelaksanaan pembangunan IKN, faktor penting yang tidak boleh luput untuk diperhatikan adalah stabilitas lereng. Lereng yang curam dan tidak stabil rentan terhadap terjadinya longsor, hal ini dapat membahayakan keselamatan dan menghambat pembangunan.

Stabilitas lereng menjadi faktor penting untuk memastikan keamanan dan kelancaran dalam pembangunan IKN. Diperlukan solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk mengatasi permasalahan kestabilan lereng ini

Penahan lereng menjadi salah satu solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng di daerah IKN baru. Namun, penahan lereng konvensional seperti tembok beton memiliki dampak yang buruk dalam lingkungan, penggunaan beton dapat merusak habitat dan ekosistem yang telah ada sebelumnya, dinding beton yang dibuat kokoh dan permanen dapat menggantikan habitat alami seperti vegetasi dan tanah.

Dinding penahan dari beton juga dapat menghambat aliran air alami dalam tanah, hal ini dapat mengganggu siklus hidrologi dan menyebabkan genangan air. DPT beton juga menghalangi proses infiltrasi sehingga berpotensi menyebabkan turunya muka air tanah dan kekeringan. Penggunaan beton juga dapat menyebabkan polusi, kandungan Kalsium Hidroksida (CaOH_2) pada beton akan membentuk efloresensi yaitu ketika Kalsium Hidroksida bereaksi dengan air dan karbondioksida akan membentuk lapisan putih berdebu, selain itu jejak karbon dan sumber daya alam pembuatan yang diperlukan dari pembuatan beton juga sangat tinggi.

Sebagai alternatif dalam pembuatan penahan lereng yang ramah lingkungan dan berkelanjutan penahan lereng soil *bioengineering* dapat menjadi

pilihan. Penahan lereng *bioengineering* memanfaatkan vegetasi/tumbuhan dan material organik untuk memperkuat struktur dalam tanah guna meningkatkan kestabilan lereng dan mencegah longsor, karena bahannya yang berasal dari tanaman, penggunaan *bioengineering* memberikan solusi yang ramah lingkungan serta berkelanjutan, selain itu biaya yang dibutuhkan juga cenderung lebih terjangkau.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi dan menganalisis pemanfaatan penahan lereng *bioengineering* dalam pembangunan ibu kota negara baru di Kalimantan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa penahan lereng *bioengineering* adalah salah satu metode yang efektif dalam menjaga kestabilan lereng serta memiliki dampak positif terhadap lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyusun rekomendasi dan pedoman praktis dalam pengelolaan penahan lereng *bioengineering* guna mendukung keberlangsungan pembangunan ibu kota negara baru di Kalimantan.

2. Hasil dan Pembahasan

Prinsip Kerja Teknologi Soil Bioengineering

Penggunaan *bioengineering* tanah di negara-negara berkembang merupakan suatu langkah alternatif yang berkaitan dengan isu-isu relevan untuk mengupayakan pencegahan bencana, restorasi lingkungan, dan rekayasa kekuatan tanah yang hemat biaya dan ramah lingkungan.

Dalam prinsipnya, soil *bioengineering* menggunakan akar tumbuhan yang seiring dengan pertumbuhannya akan berkombinasi dengan batu dan tanah yang ada di sekitarnya, sehingga akan memberikan kontribusi yang signifikan baik secara hidrologis dan mekanis. Kestabilan lereng akan didukung dengan adanya kohesi akar yang menjadi gaya penahan, mengurangi tekanan air pori dan berat massa tanah karena air terserap oleh akar, mengurangi aliran permukaan serta mencegah curah hujan masuk ke dalam tanah.

Teknik Aplikasi Bioengineering dalam Peningkatan Stabilitas Lereng

Teknik-teknik rekayasa telah dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas lereng dan mengontrol erosi tanah (Stokes A., 2005; Price DG., 2008; Stokes A et al., 2015). Beberapa

teknik tersebut dibahas secara singkat di bawah ini (Gambar 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4):

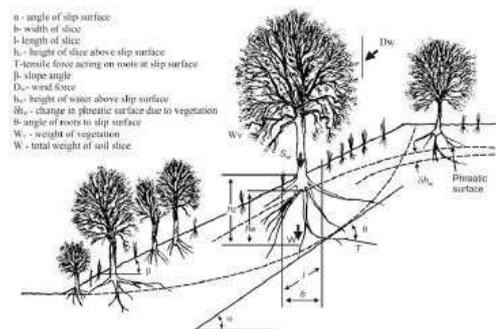
- *Fascines*: Teknik ini melibatkan penempatan cabang hidup di atas parit yang digali. Tiang kayu atau pasak baja digunakan untuk menahan cabang tersebut. Setelah cabang ditempatkan, parit ditimbun kembali dengan tanah. (Gambar 2.2a).
- *Groove structures*: Teknik ini mirip dengan fascines, tetapi satu-satunya perbedaan adalah penambahan satu atau dua pohon kecil yang berakar di samping cabang hidup. (Gbr. 2.1b).
- *Wattle fences*: Dalam metode ini, pagar dibuat dengan menggunakan tiang kayu vertikal dan stek batang hidup yang dianyam di sekeliling tiang. Ujung stek ini dimasukkan ke dalam tanah untuk memungkinkan perkecambahan. (Gambar 2.2c).
- *Bushmattress construction*: Dalam teknik ini, cabang atau batang tanaman yang dapat berkecambah melalui stek disebar ke seluruh lereng dan diikat di ujungnya dengan menggunakan pasak kayu, tiang atau fascine. Lapisan tanah digunakan untuk menutupi cabang untuk memungkinkan perkecambahannya. (Gambar 2.2d).
- *Biotechnical technique involving geotextile*: Teknik ini melibatkan penggunaan geotekstil bersama dengan vegetasi. Geotekstil diletakkan di atas lereng dan benih ditaburkan atau stek ditanam di atas lereng. Geotekstil awalnya melindungi tanaman kecil (bibit) dan kemudian terurai setelah tanaman tumbuh sepenuhnya dan memberikan nutrisi ke tanah yang selanjutnya membantu pertumbuhan tanaman. (Gambar 2.2e).
- *Vegetated palisades*: Teknik ini melibatkan menempatkan cabang hidup berdampingan di sepanjang parit dan bagian atas cabang diikatkan ke sebuah palang horizontal (hidup atau mati) yang menghubungkan kedua sisi selokan. (Gambar 2.2f).
- *Branch layer in gullies*: Teknik ini melibatkan penempatan stek hidup dalam pola tulang ikan di sepanjang parit. Kasur tanaman ini didukung secara berkala menggunakan tiang atau palang horizontal yang menghubungkan kedua sisi selokan. (Gambar 2.3a).

- *Live slope gratings*: Dalam metode ini, stek tanaman hidup ditempatkan di sepanjang kerangka tiang paralel atau bersilangan dari kayu, beton, logam atau plastik. Selain itu, penyemaian dilakukan untuk meningkatkan stabilitas lereng. (Gambar 2.2b).
- *Cordon construction*: Dalam teknik ini, teras dibangun dan ditutup dengan tiang-tiang dari material mati (diletakkan secara diagonal) dan cabang-cabang tumbuhan runjung. permukaan ini adalah kemudian ditutup dengan tanah dan stek hidup ditanam di atas teras. (Gambar 2.3c).
- *Hedge layer construction*: Dalam metode ini, teras dibangun dan tanaman akar hidup ditempatkan di atas teras berdampingan. Tanaman kemudian ditutup dengan tanah sekitar dua pertiga dari panjangnya. (Gambar 2.3d).
- *Brush layer construction*: Dalam metode ini, teras miring dibuat dan ditutup dengan stek hidup dalam pola bersilangan sehingga hanya seperempat bagian dari potongan yang mencapai di luar permukaan lereng. Teras ini kemudian diisi kembali dengan tanah. Penguatan langsung dalam metode ini disediakan oleh pemasangan stek sementara rooting adventif menstabilkan lereng dalam jangka panjang. (Gambar 2.3e).
- *Hedge brush layer construction*: Metode ini mirip dengan konstruksi layer brush. Satu-satunya perbedaan adalah penambahan tanaman sehat berakar hidup di samping stek. (Gbr. 2.3f).
- *Placing of cuttings, wall joint plantings, vegetated stone walls and rock piles*: Metode ini melibatkan penempatan stek tanaman hidup secara vertikal ke dalam tanah baik sendiri atau bersama-sama dengan dinding batu sedemikian rupa sehingga seperempat bagian dari potongan menonjol di luar permukaan. (Gambar 2.4a).
- *Crib wall construction with branch layering*: Teknik ini melibatkan pembangunan dinding boks dengan menggunakan material kayu, beton, baja atau plastik. Selama pengisian ulang tanah di dalam dinding, lapisan stek tanaman hidup dimasukkan pada sudut 10°. Panjang stek harus cukup sehingga beberapa bagian stek menempel pada tanah yang ada

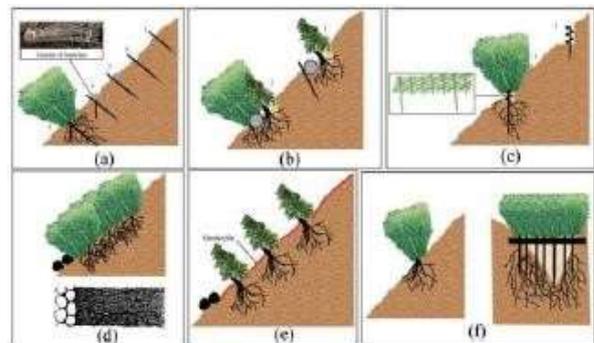
sedangkan sekitar 0,25 m stek menonjol keluar dinding. (Gambar 2.4b).

- *Vegetated gabions*: Dalam metode ini, stek hidup dimasukkan di dalam dan di antara kotak bronjong selama konstruksinya. Stek hidup mengembangkan akar setelah beberapa waktu dan meningkatkan stabilitas. (Gambar 2.4c).

Perlu dicatat bahwa kombinasi spesies yang berbeda lebih baik daripada satu spesies tanaman untuk meningkatkan stabilitas lereng tanah (Danjon F et al., 2007).

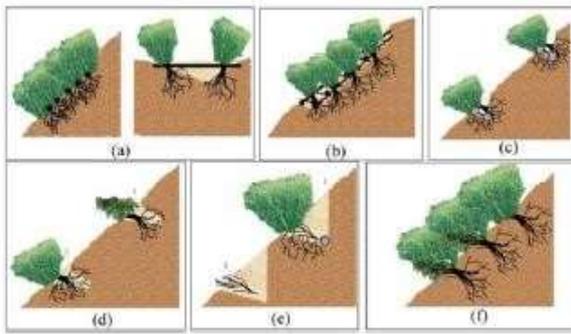


Gambar 1. Bagian khas dari suatu lereng bersama dengan berbagai komponen sistem akar tanah (Greenwood JR, et al., 2004)



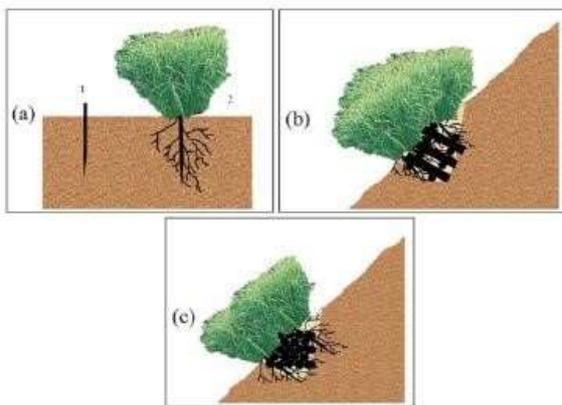
Gambar 2. Teknik rekayasa bioteknik yang berbeda: (a) Fascines, (b) Struktur alur, (c) Pagar gelambir, (d) Konstruksi kasur semak, (e) Teknik bioteknik yang melibatkan geotekstil, (f) Palisade bervegetasi (Wu TH.,2013)

(Sumber: P. Punetha et al., 2019)



Gambar 3. Beberapa teknik rekayasa bioteknik: (a) Lapisan percabangan pada parit, (b) Kisi-kisi lereng hidup, (c) Konstruksi cordon, (d) Konstruksi lapisan pagar, (e) Konstruksi lapisan sikat, (f) Lapisan sikat pagar konstruksi (Wu TH.,2013)

(Sumber: P. Punetha et al., 2019)



Gambar 4. Metode bioteknik lainnya: (a) Penempatan stek, (b) Dinding boks bervegetasi, (c) Gabion bervegetasi (Wu TH.,2013) (Sumber: P. Punetha et al., 2019)

Keuntungan dan Keterbatasan Penggunaan Teknologi Soil Bioengineering

Keuntungan penggunaan teknologi *soil bioengineering* dijabarkan dalam beberapa poin berikut:

- Stabilitas Lereng:** Akar tanaman memperkuat tanah dan mencegah longsor. Akar ini meningkatkan kohesi tanah, sudut gesekan, dan mengurangi tekanan air pori.
- Pengendalian Erosi:** Akar tanaman menahan tanah dan mencegah erosi. Mereka juga menjebak sedimen dan memperlambat aliran air.
- Manfaat Ekologis:** Bioteknologi tanah menyediakan habitat bagi hewan liar, mengatur temperatur dan kelembaban tanah, meningkatkan estetika, dan mencegah kerusakan hutan atau lahan pertanian.

- Manfaat Ekonomis:** Biaya awal bioteknologi tanah rendah. Namun, metode ini membutuhkan pemeliharaan dan perawatan yang tepat.
- Manfaat Hidrologis:** Tanaman membantu mengatur air di lereng. Daun tanaman menahan hujan dan meningkatkan evapotranspirasi, akar tanaman menyerap air dari tanah dan mengurangi tekanan air pori.
- Stabilitas Jangka Panjang:** Bioteknologi tanah membutuhkan waktu untuk bekerja, tetapi efektivitasnya meningkat seiring waktu. Akar tanaman tumbuh lebih dalam dan semakin kuat, sehingga stabilitas lereng tanah meningkat.

Sedangkan keterbatasan dalam penggunaan *soil bioengineering* dijelaskan dalam poin poin berikut:

- Kedalaman Akar Terbatas:** Akar tanaman hanya mencapai kedalaman beberapa meter, sehingga tidak efektif untuk mengatasi pergerakan tanah dalam.
- Pengaruh Angin:** Pohon di lereng dapat meningkatkan beban lateral dan tumbang saat badai, mengganggu stabilitas lereng dan operasi transportasi.
- Kerusakan Struktur:** Akar pohon dapat merusak struktur seperti pijakan dan dinding penahan tanah.
- Waktu Pemasangan:** Vegetasi harus ditanam pada waktu yang tepat untuk memastikan kelangsungan hidup, membutuhkan perencanaan yang cermat.
- Kesulitan Desain:** Interaksi tanah dan tanaman sulit diukur, sehingga desain proyek bioteknologi sulit dan membutuhkan faktor keamanan yang tinggi.
- Perkolasi Air:** Vegetasi meningkatkan perkolasi air, yang dapat mengurangi stabilitas lereng.
- Kontrol Kualitas:** Keberhasilan proyek tergantung pada kualitas instalasi dan pemeliharaan, yang tidak dapat dikompensasi dengan faktor keamanan.
- Laju Stabilisasi Lambat:** Vegetasi membutuhkan waktu untuk menstabilkan tanah.

- i. **Pertimbangan Lingkungan:** Sifat tanah, pH, unsur hara, dan konsentrasi logam harus sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Pupuk dan perawatan tanah mungkin diperlukan. Tekstur tanah dan kemiringan lereng juga penting dalam pemilihan metode.
- j. **Spesifisitas Lokasi:** Metode bioteknologi tanah spesifik untuk lokasi karena perbedaan tanah dan iklim. Penyelidikan rinci diperlukan sebelum desain proyek.
- k. **Efek Buruk pada Lereng Batu:** Tanaman dapat melemahkan lereng batu dan menyebabkan keruntuhan dengan menembus dan melebarkan diskontinuitas dalam massa batuan.

Bioteknologi tanah menawarkan solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk berbagai masalah lereng. Manfaatnya meliputi peningkatan stabilitas lereng, pengendalian erosi, manfaat ekologis, ekonomis, dan hidrologis, serta stabilitas jangka panjang. Namun dalam pelaksanaannya juga terdapat beberapa batasan yang perlu dipertimbangkan dalam desain dan penerapannya, seperti terbatasnya kedalaman akar, pengaruh angin, kerusakan struktur, waktu pemasangan, kesulitan desain, perlokasi air, kontrol kualitas, laju stabilisasi yang lambat, pertimbangan lingkungan, spesifisitas lokasi, dan efek buruk pada lereng batu perlu diperhatikan.

Potensi Penggunaan Penahan Lereng *Bioengineering* di Kalimantan

Bioengineering slope merupakan solusi alternatif untuk menangani kondisi topografi lapangan yang tidak stabil di Kalimantan. Teknik ini memanfaatkan vegetasi dan akar tanaman untuk meningkatkan stabilitas lereng dengan menahan partikel tanah bersama-sama. Dengan demikian, erosi tanah dapat dikurangi. Ini menunjukkan potensi besar untuk digunakan sebagai penahan lereng di Kalimantan.

Selain itu, akar-akar dari vegetasi juga berperan dalam menyerap aliran air yang merembes di dalam tanah. Hal ini penting karena dapat mengurangi tekanan air pori pada lereng tersebut. Dengan demikian, kestabilan lereng dapat lebih terjaga.

Penanaman *brush layer*, yang terdiri dari bahan tanaman dengan banyak ranting atau rerumputan dengan batang yang cukup panjang, juga dapat diterapkan pada permukaan lereng. *Brush layer* ditempatkan sepanjang parit-parit yang telah

digali sepanjang kontur-kontur lereng. Dengan demikian, penggunaan *bioengineering* dalam penahan lereng dapat menjadi solusi efektif untuk menjaga kestabilan lereng di Kalimantan.

Alasan Penggunaan Teknik *Brush Layer Soil Bioengineering* di IKN

Teknik *brush layer soil bioengineering* dapat digenean untuk memperkuat lereng dengan kemiringan yang berbeda-beda. Jenis tanah di IKN yang beragam membuat teknik *brush layer soil bioengineering* dapat digunakan di berbagai jenis tanah, termasuk tanah berpasir, tanah liat, dan tanah lempung. Teknik ini juga dapat mengurangi tingkat keparahan erosi di IKN yang tinggi.

Keterkaitan Penggunaan Teknik *Brush Layer Soil Bioengineering* dengan Proyeksi Pembangunan di IKN

- Teknik ini dapat membantu memperkuat lereng dan mencegah terjadinya longsor. Hal ini penting untuk memastikan keselamatan dan keamanan masyarakat dan infrastruktur di IKN.
- Teknik ini dapat membantu mengurangi erosi tanah. Hal ini penting untuk menjaga kualitas tanah dan sumber daya air di IKN.
- Teknik ini dapat membantu meningkatkan estetika lingkungan di IKN. Tanaman yang digunakan dalam teknik ini dapat memberikan nilai tambah estetika bagi lingkungan di IKN.

Studi Kasus Pembangunan Ibu Kota Negara Baru di Kalimantan

Dalam menerapkan *soil bioengineering* untuk kestabilan lereng di Kalimantan perlu diperhatikan faktor jenis tanaman dan desain implementasinya, hal tersebut dijabarkan dalam poin-poin di bawah:

• Jenis Tanaman

Pemilihan jenis tanaman untuk penahan lereng *bioengineering* di Kalimantan harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti:

- a. **Kemampuan menahan erosi:** Tanaman dengan akar yang kuat dan tajuk yang lebat, seperti vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bambu (*Bambusa spp.*), efektif dalam menahan erosi.
- b. **Toleransi terhadap kondisi tanah:** Tanaman yang toleran terhadap tanah asam dan basah, seperti gamal (*Gliricidia sepium*) dan sengon

(*Falcataria moluccana*), cocok untuk kondisi tanah di Kalimantan.

- c. Pertumbuhan yang cepat: Tanaman dengan pertumbuhan cepat, seperti rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dan lamtoro gung (*Leucaena leucocephala*), dapat membantu membangun struktur penahan lereng dengan cepat.
- Desain dan Implementasi

Desain dan implementasi penahan lereng *bioengineering* di Kalimantan harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti:

- a. Kemiringan lereng: Lereng yang curam membutuhkan desain yang lebih kuat dan tanaman yang lebih tahan terhadap erosi.
- b. Kondisi tanah: Jenis tanaman dan teknik *bioengineering* harus disesuaikan dengan kondisi tanah di lokasi.
- c. Pemeliharaan: Penahan lereng *bioengineering* membutuhkan pemeliharaan rutin, seperti penyiangan dan pemupukan, untuk memastikan keberhasilannya.

Pengelolaan Penahan Lereng *Bioengineering*

Pengelolaan penahan lereng *bioengineering* memerlukan pemeliharaan dan pemantauan yang teratur guna memastikan keberhasilan penahan lereng *bioengineering*. Hal-hal yang bisa dilakukan dalam pemeliharaan terdiri dari penyiangan, yaitu pemeliharaan yang bertujuan untuk memastikan vegetasi *bioengineering* bebas dari gulma yang dapat mengganggu tanaman dalam mendapatkan air dan nutrisi.

Pemupukan perlu dilakukan untuk memberikan nutrisi yang dibutuhkan oleh vegetasi agar dapat tumbuh di daerah tersebut dan berfungsi sebagai penahan yang baik. Perbaikan juga perlu diperhatikan ketika tanaman rusak akibat serangan hama, penyakit, ataupun cuaca buruk.

Pemantauan juga perlu dilakukan agar proses *soil bioengineering* dapat berjalan dengan baik, hal hal yang perlu dipantau adalah seperti:

- a. Pertumbuhan vegetasi, yaitu memantau pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang diinginkan dalam proses *bioengineering*.
- b. Stabilitas lereng, kestabilan lereng harus terus dipantau ketika terjadi pergerakan-pergerakan.

- c. Efektivitas, memantau keefektifan penahan lereng *bioengineering* dalam mencapai tujuannya.

3. Penutup

Kesimpulan dan Saran

Dalam penelitian ini, kami menganalisis efektivitas teknologi *bioengineering* dalam menjaga kestabilan lereng serta untuk membuktikan bahwa metode ini memiliki dampak positif terkait keberlanjutan dan konsep ramah lingkungan bagi pembangunan di IKN. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi *bioengineering* mampu mendukung kestabilan lereng melalui penguatan mekanis dan penguatan hidrologis.

Teknologi *bioengineering* yang kami proyeksikan pada IKN adalah dengan teknik Penanaman brush layer, yang terdiri dari bahan tanaman dengan banyak ranting atau rerumputan dengan batang yang cukup panjang. Dimana dalam penggunaannya sebagai penahan lereng perlu diperhatikan dalam desain, implementasi, serta pengelolaan dari *bioengineering* tersebut sendiri.

Penerapan *soil bioengineering* di Kalimantan perlu memperhatikan banyak aspek meninjau dari keterbatasan keterbatasan yang telah dijabarkan oleh penulis, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan penggunaan vegetasi dapat berjalan optimal, mulai dari persiapan hingga masa perawatan dilakukan, hal hal yang menjadi keterbatasan dapat menjadi landasan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut agar metode ini dapat memiliki lebih banyak benefit ketika diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S., & Mantel, S. (2014). Potensi dan Tantangan *Bioengineering* untuk Rehabilitasi Lahan Terdegradasi di Kalimantan. *Jurnal Ilmiah Agroteknologi*, 14(2), 142-150.
- Erfandi, D., & Syaifullah, M. (2017). Penerapan *Bioengineering* untuk Stabilisasi Lereng di Kawasan Perbukitan. *Jurnal Ilmiah Kehutanan*, 11(1), 51-60
- Hardiyanto, B., & Murti Laksono, K. (2019). Teknik *Bioengineering* untuk Pengendalian Erosi dan Longsor di Kawasan Hutan Lindung. *Jurnal Konservasi Alam*, 17(1), 57-64.
- Nurchasanah, Y. and Setyawan, A., 2013. Permeabilitas pada Konstruksi Beton dengan Bahan Baku Pozolan Alam sebagai Alternatif Pengganti Semen.

- Sasmito, K. and Rindawati, P.I. (2018, January). Kendali Morfostruktur Pasif Terhadap Bentuk Morfologi Daerah Bhuana Jaya Dan Sekitarnya Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis* (Vol. 1, No. 1, pp. 60-69).
- TH. Wu., 2013. Root Reinforcement Of *Soil*: Review Of Analytical Models, Test Results, And Applications To Design. *Can Geotech J* 50(3):259–274
- Zayadi, Ruwaida., 2023, Juli. *Soil Bioengineering As An Effective And Ecofriendly Soil Slope Stabilization Method: A Systematic Literature Review*.