



**Kontrak Pelaksanaan Program Penelitian
Skema Penelitian Fundamental Reguler
TAHUN ANGGARAN 2023
Nomor : 837/UNWAR/LEMLIT/PD-13/2023**

Pada hari ini **Jumat** tanggal **Empat Belas** bulan **Juli** tahun **Dua Ribu Dua Puluh Tiga**, kami yang bertanda tangan dibawah ini :

1. **Prof. Dr. I Made Suwitra, SH., MH.** : Kepala Lembaga Penelitian Universitas Warmadewa selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**
NIP: 196012311985031024
2. **Dr. Ir. I Nengah Sinarta, S.T., M.T.** : Ketua Peneliti selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**
NIDN: 0802077001

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama selanjutnya disebut **PARA PIHAK**

PARA PIHAK sepakat menandatangani Kontrak Pelaksanaan Program Penelitian Lanjutan Tahun 2023, dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut:

**PASAL 1
DASAR HUKUM**

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi;
3. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2019 tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2020-2024;
4. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020, tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi;
5. Surat Direktur Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Nomor: 0557/E5.5/AL.04/2023 tanggal 1 Juni 2023 perihal Pengumuman Penerimaan Pendanaan Program Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2023.
6. Kontrak Penelitian antara LLDIKTI Wilayah VIII dengan Universitas Warmadewa tentang Pelaksanaan Program Penelitian Fundamental Reguler Tahun Anggaran 2023 Nomor: 184/E5/PG.02.00.PL/2023 dan Nomor LLDIKTI VIII: 3538/LL8/AL.04/2023.

PASAL 2
RUANG LINGKUP

- (1) Ruang lingkup Kontrak Penelitian ini meliputi pelaksanaan penelitian tahun anggaran 2023.
- (2) Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) beserta nama pelaksana penelitian, skema, luaran tambahan, jangka waktu penelitian, dan besarnya biaya penelitian sebagaimana tercantum dalam Kontrak Penelitian ini.

PASAL 3
SUMBER DANA

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberikan pendanaan Pelaksanaan Program Penelitian lanjutan dengan judul **Model Pendekatan Mekanika Kontribusi Kombinasi Akar Vegetasi Rumput Gajah dan Rumput Vetiver pada Tanah vulkanik terhadap Ancaman longsor Bahan rombakan (Debris Flow)** yang bersumber pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, kebudayaan, Riset, dan Teknologi Tahun Anggaran 2023, Nomor SP DIPA-023.17.1.690523/2023 revisi ke-4 tanggal 31 Maret 2023.
- (2) **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab penuh atas pelaksanaan, administrasi dan keuangan atas pekerjaan sebagai dimaksud pada ayat (1) dan berkewajiban menyimpan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya.

PASAL 4
NILAI KONTRAK

- (1) **PIHAK KESATU** memberikan pendanaan dengan nilai Kontrak sebesar: Rp. 123,500,000 kepada **PIHAK KEDUA**.
- (2) Nilai kontrak sebagaimana dimaksud pada ayat (1) digunakan untuk pembiayaan pelaksanaan program penelitian lanjutan, pajak, dan biaya lain yang sah.
- (3) Pembayaran nilai kontrak sebagaimana dimaksud ayat (1) dilakukan melalui Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara dengan detail rekening sebagai berikut:

Nama Institusi	:	Universitas Warmadewa
Nomor Rekening	:	0721456431
Nama Penerima pada Rekening	:	Sdr I NENGAH SINARTA
Nama Bank	:	BNI
Alamat Bank	:	UGM YOGYA
Kota	:	YOGYAKARTA
NPWP	:	24.434.252.3-903-000

- (4) **PIHAK KESATU** tidak bertanggungjawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana, yang disebabkan oleh kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan informasi detail rekening institusi sebagaimana dimaksud pada ayat (3).

PASAL 5
NILAI DAN TAHAPAN PEMBAYARAN

- (1) Nilai kontrak sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap melalui mekanisme transfer, dengan ketentuan sebagai berikut:
 - a. Nilai kontrak keseluruhan sebesar Rp. 123,500,000 (*Seratus Dua Puluh Tiga Juta Lima Ratus Ribu Rupiah*)
 - b. Pembayaran tahap pertama sebesar 70% (Tujuh puluh persen) dari jumlah keseluruhan bantuan dana penelitian yaitu Rp. 123,500,000 x 70% = Rp. 86,450,000 (*Delapan Puluh Enam Juta Empat Ratus Lima Puluh Ribu Rupiah*) setelah **PIHAK KEDUA** menandatangani Kontrak Pelaksanaan Program Penelitian;
 - c. Pembayaran tahap kedua sebesar 30% (Tiga puluh persen) dari jumlah keseluruhan bantuan dana penelitian yaitu Rp. 123,500,000 x 30% = Rp. 37,050,000 (*Tiga Puluh Tujuh Juta Lima Puluh Ribu Rupiah*).
- (2) Pembayaran tahap pertama sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b, akan dibayarkan setelah revisi proposal penelitian dan surat pernyataan kesanggupan pelaksanaan penelitian diunggah oleh **PIHAK KEDUA** ke laman yang ditentukan;
- (3) Apabila pembayaran tahap pertama sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b cair setelah tanggal 16 Agustus 2023, pelaksana penelitian mengunggah Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) ke laman yang ditentukan paling lambat 2 (dua) minggu setelah dana cair.
- (4) Pembayaran tahap kedua sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c dibayarkan setelah pelaksana penelitian mengunggah Laporan Kemajuan/Antara Penelitian dan Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) ke laman yang ditentukan paling lambat tanggal 30 Agustus 2023.
- (5) **PIHAK KEDUA** menyetorkan bukti unggah surat pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang diunggah pada laman yang ditentukan dan menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** paling lambat tanggal 10 Desember 2023, dengan melampirkan dokumen sebagai berikut:
 - a. Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB); dan
 - b. Laporan akhir tahun untuk pendanaan multitalun yang dilaksanakan pada tahun berjalan; atau
 - c. Laporan akhir pelaksanaan penelitian untuk pendanaan monotahun dan multitalun pada tahun terakhir.
- (6) Apabila pembayaran tahap kedua sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf c cair setelah tanggal 1 Desember 2023, pelaksana penelitian mengunggah Surat Pernyataan Tanggung Jawab Belanja (SPTB) ke laman yang ditentukan paling lambat 2 (dua) minggu setelah dana cair.

PASAL 6
HAK DAN KEWAJIBAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** mempunyai hak menerima dokumen hasil unggahan dari penerima dana penelitian di laman yang ditentukan sebagai berikut:
- a. Menerima catatan harian penelitian;
 - b. Menerima laporan kemajuan penelitian;
 - c. Menerima laporan akhir tahun atau laporan akhrit pelaksanaan penelitian;
 - d. Melakukan pemantauan dan evaluasi;
 - e. Menerima surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan;
 - f. Menerima hasil laporan pemantauan dan evaluasi dari **PIHAK KEDUA**.
- (2) **PIHAK KEDUA** mempunyai hak mendapatkan dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA**.
- (3) **PIHAK PERTAMA** mempunyai kewajiban:
- a. Memberikan pendanaan penelitian kepada **PIHAK KEDUA**;
 - b. Melakukan pemantauan dan evaluasi;
 - c. Melakukan penilaian luaran penelitian; dan
 - d. Melakukan validasi luaran tambahan.
 - e. Membuat Kontrak Pelaksanaan Penelitian dengan ketua pelaksana penelitian yang paling sedikit memuat:
 1. Nama pelaksana;
 2. Judul Penelitian;
 3. Ruang lingkup penelitian;
 4. Sumber dana penelitian;
 5. Nilai kontrak penelitian;
 6. Tata cara dan tahapan pembayaran;
 7. Jangka waktu pelaksanaan dan penyelesaian;
 8. Hak dan kewajiban para pihak;
 9. Batas akhir pelaporan;
 10. Pencantuman pemberi dana penelitian dalam publikasi ilmiah;
 11. Luaran penelitian;
 12. Serah terima hasil penelitian;
 13. Kesanggupan pelaksanaan penelitian; dan
 14. Sanksi.
- (4) **PIHAK KEDUA** mempunyai kewajiban:
- a. Mengkoordinir dan bertanggungjawab penuh atas terlaksananya Kontrak Penelitian ini, administrasi dan keuangan;
 - b. Melakukan koordinasi dengan penerima dana penelitian apabila dalam pelaksanaan penelitian terdapat sisa dana serta melaporkan kepada **PIHAK PERTAMA**
 - c. Menyimpan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya;

PASAL 7
PENGGANTIAN KEANGGOTAAN

- (1) Apabila terjadi perubahan susunan tim pelaksana penelitian karena tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka **PIHAK KEDUA** wajib menunjuk pengganti serta mengirimkan surat permohonan perubahan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Kemendikbudristek dengan diketahui **PIHAK PERTAMA**.
- (2) Perubahan dapat dilakukan setelah mendapat persetujuan Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Kemendikbudristek.
- (3) Dalam hal tidak terdapat pengganti ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat dan ketentuan dalam panduan penelitian, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

PASAL 8
PAJAK

Ketentuan pengenaan pajak pertambahan nilai dan/atau pajak penghasilan dalam rangka pelaksanaan kegiatan penelitian ini wajib dilaksanakan oleh **PIHAK KEDUA** sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang perpajakan.

PASAL 9
KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan ketentuan peraturan dan perundang-undangan.
- (2) Setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian wajib mencantumkan **PIHAK DRTPM** sebagai pemberi dana.
- (3) Pencantuman nama **DRTPM** sebagaimana dimaksud pada ayat (2), paling sedikit mencantumkan nama Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

PASAL 10
INTEGRITAS AKADEMIK

- (1) Pelaksana penelitian wajib menjunjung tinggi integritas akademik yaitu komitmen dalam bentuk perbuatan yang berdasarkan pada nilai kejujuran, kredibilitas, kewajaran, kehormatan, dan tanggung jawab dalam kegiatan penelitian yang dilaksanakan.
- (2) Penelitian dilakukan sesuai dengan kerangka etika, hukum, dan profesionalitas serta kewajiban sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.
- (3) Penelitian dilakukan dengan menjunjung tinggi standar ketelitian dan integritas tertinggi dalam semua aspek penelitian.

PASAL 11

KEADAAN KAHAR

- (1) Apabila terjadi keadaan kahar (*force majeure*) suatu keadaan yang terjadi di luar kehendak **PARA PIHAK** dalam kontrak, dan tidak dapat diperkirakan sebelumnya, sehingga kewajiban yang ditentukan dalam kontrak menjadi tidak dapat dipenuhi, maka **PARA PIHAK** sepakat tidak akan saling menuntut pelaksanaan pemenuhan ketentuan dalam Kontrak Penelitian ini.
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan Kontrak Penelitian ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana dimaksud pada ayat (2), maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan kahar (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **PARA PIHAK** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

PASAL 12

JANGKA WAKTU PENYELESAIAN

- (1) Kontrak ini berlaku sejak tanggal 6 Mei sampai dengan tanggal 10 Desember 2023.
- (2) Kontrak ini dapat diubah berdasarkan kesepakatan tertulis **PARA PIHAK** yang dituangkan dalam suatu addendum dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Kontrak ini.

PASAL 13

PEYELESAIAN PERSELISIHAN

- (1) Dalam hal terjadi perselisihan atau perbedaan penafsiran terkait Kontrak Penelitian ini, **PARA PIHAK** sepakat untuk menyelesaikannya secara musyawarah dan mufakat.
- (2) Dalam hal musyawarah dan mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) tidak tercapai, **PARA PIHAK** sepakat untuk menyelesaikannya melalui Pengadilan setempat

PASAL 14

SANKSI

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Pelaksanaan Program Penelitian lanjutan telah berakhir, **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 6 ayat (4), maka **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.
- (2) Apabila dikemudian hari terbukti bahwa judul penelitian yang diajukan pada program penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (1) ditemukan adanya duplikasi

dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran/itikad buruk yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan penelitian tersebut dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.

- (3) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan (2) dapat berupa penghentian pembayaran dan/atau Ketua Tim Pelaksana Penelitian tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu 2 (dua) tahun berturut-turut.

PASAL 15 PENUTUP

Kontrak Penelitian ini dibuat dan ditandatangani oleh **PARA PIHAK** dalam rangkap 2 (dua) asli bermeterai cukup yang biayanya dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**, untuk tiap-tiap PIHAK dan memiliki kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA,



Prof. Dr. I Made Suwitra, SH., MH.
NIP. 196012311985031024

PIHAK KEDUA,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dr. Ir. I Nengah Sinarta', is written over the text 'PIHAK KEDUA,'.

Dr. Ir. I Nengah Sinarta, S.T., M.T.
NIDN: 0802077001

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi templat ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Laporan Hasil Penelitian Dasar 2023-2024

Surat Keputusan Nomor: 837/UNWAR/LEMLIT/PD-13/2023

Model Pendekatan Mekanika Kontribusi Kombinasi Akar Vegetasi Rumput Gajah dan Rumput Vetiver pada Tanah vulkanik terhadap Ancaman longsor Bahan rombakan (*Debris Flow*)

Oleh:

I Nengah Sinarta, Putu Aryastana, Kadek Windy Chandrayana, I Ketut Agung Sudewa



Universitas Warmadewa

November, 2023

SKEMA PENELITIAN DASAR



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

Judul:

Model Pendekatan Mekanika Kontribusi Kombinasi Akar Vegetasi Rumput Gajah dan Rumput Vetiver pada Tanah vulkanik terhadap Ancaman longsor Bahan rombakan (*Debris Flow*)

Lokasi:

- 1. Desa Abang Batudinding, Kec.Kintamani, Kab. Bangli, Bali**
- 2. Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa**

Tim Peneliti:

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Dr. Ir. I Nengah Sinarta, ST., MT. | (NIDN: 0802077001) |
| 2. Putu Aryastana, ST., M.Si., M.Eng., PhD | (NIDN: 0802028201) |
| 3. Kadek Windy Chandrayana, ST.,MT | (NIDN: 0814038801) |
| 4. Ir. I Ketut Agung Sudewa, M.Si | (NIDN: 0019046303) |

**TAHUN PELAKSANAAN 2023
UNIVERSITAS WARMADewa**

Latar Belakang

- Lereng dengan disekitar Kaldera Gunung Batur setiap musim hujan selalu longsor bahan rombakan, sejarah terbesarnya tertimbunnya Pura Tuluk biyu yg ada di Dusun Dukuh, Desa Abang Batudinding, sehingga harus di relokasi.
- Penerapatan teknologi hijau sebagai usaha pelaksanaan pembangunan berkelanjutan
- Pengembangan penggunaan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) alternatif menerapkan *soil bioengineering* mengurangi erosi permukaan dan sebagai penyediaan hijauan pakan ternak

Tujuan

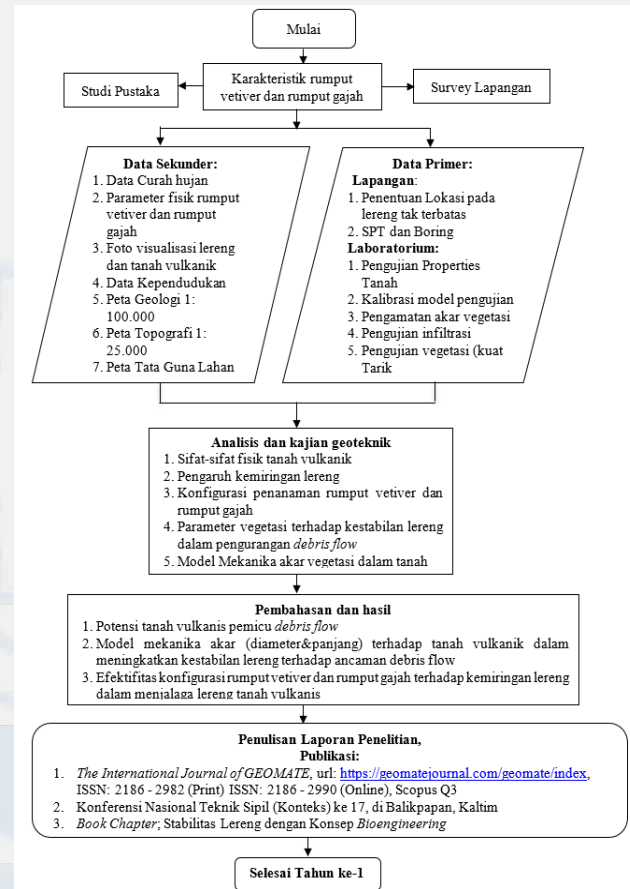
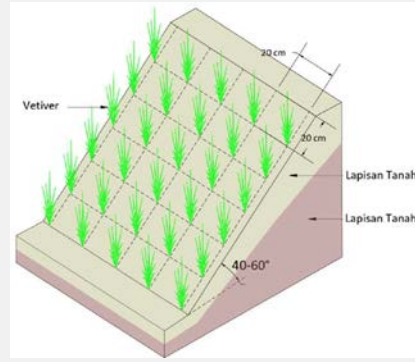
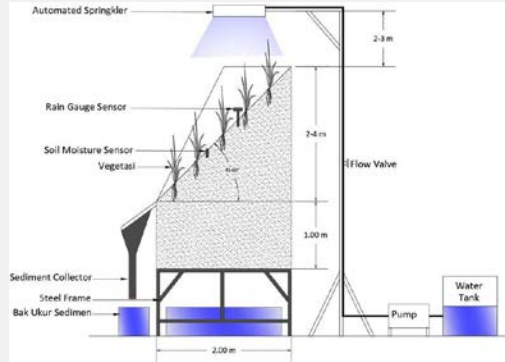
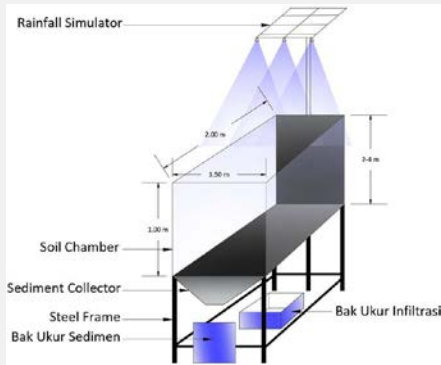
1. Pemahaman sifat fisik dan mekanis tanah vulkanik di lereng
2. Analisis kinerja vegetasi rumput vetiver atau akar wangi (*Chrysopogon zizanioides*) dengan rumput gajah (*pennisetum purpureum*) dalam mengurangi erosi permukaan dan longsor bahan rombakan (*Debris Flow*)
3. Efektivitas konfigurasi vegetasi rumput khususnya rumput vetiver dan rumput gajah

Kebaruan Penelitian

1. Rumput gajah dan rumput di media tanah vulkanik untuk menanggulangi erosi serta longsor bahan rombakan (debris flow) dan meningkatkan stabilitas lereng.
2. Model numerik pengaruh akar dilakukan metode elemen hingga pada *software* Plaxis 3D sehingga dapat diketahui pengaruh rumput gajah terhadap stabilitas lereng

Metode Penelitian

Pengujian lapangan (SPT dan Boring) dan Pengujian laboratorium sifat-sifat geoteknik tanah, membuat model lereng skala asli variasi kemiringan lereng 45° - 60° dengan konfigurasi rumput gajah dan rumput vetiver pola penanaman $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ selang seling.



Hasil utama penelitian

Penanganan Debris Flow dengan konsep bioengineering dapat menjadi pilihan karena murah, ramah lingkungan, dan dapat dilakukan secara mandiri. Akar rumput vetifer (*Chrysopogon zizanioides*) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) meningkatkan kuat geser tanah dimana penambahan rumput gajah mampu meningkatkan pengurangan kehilangan tanah sebesar 94,6% pada kemiringan 45° , dan 92,67% pada kemiringan 60° . Pengurangan limpasan yang dihasilkan mencapai 55,48% pada kemiringan 45° , dan 53,89% pada kemiringan 60° . Peningkatan efektivitas ini disebabkan oleh berkembangnya akar rumput gajah yang menyebar secara horizontal sehingga meningkatkan ikatan dengan lapisan tanah atas

Nilai faktor keamanan (SF) lereng 45° dan 60° tanpa vegetasi sebesar 0,80 – 0,87 shg memiliki ancaman longsor dan terkikis. Nilai SF dengan vegetasi meningkat dengan adanya vegetasi antara 1,45 - 1,84 penambahan tertinggi sebesar 0,97, sehingga penambahan vegetasi pada lereng menunjukkan keamanan lereng meningkat dari sebelumnya.

Luaran

1. Jurnal Internasional bereputasi *International Journal of GEOMATE*, url: <https://geomatejournal.com/geomate/index>, ISSN: 2186 - 2982 (Print), ISSN: 2186 - 2990 (Online) Scopus Q3, judul “**INFLUENCE OF GRASS ROOTS ON THE STABILITY OF SLOPES: EXPERIMENTAL MODELLING AND NUMERICAL ANALYSIS**”, Status: **Accepted**, 15 Desember 2023; akan di terbitkan pada Vol. 25 No. 112 (2023): Desember 2023
2. Konferensi Nasional Teknik Sipil (Konteks) ke 17, Universitas Balikpapan 16 – 18 November 2023, url: <https://konteks.web.id/>, dengan judul “**ANALISIS REABILITY PENGARUH VEGETASI RUMPUT GAJAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA LERENG TANAH VULKANIK**”, Status: **Diterima sebagai Presenter** dengan ID Makalah : GO – 47; menunggu Proseding Seminar.
3. Konferensi Internasional, *The 3rd Warmadewa International Conference (on Science, Technology, and Humanity)*, Universitas Warmadewa 27-28 Oktober 2023, url: <https://wicsth.com/>, judul “**NUMERICAL ANALYSIS THE EFFECT OF ELEPHANT GRASS AND VETIVER GRASS IN REDUCING THE THREAT OF DEBRIS FLOW**”, Status: **Diterima sebagai Narasumber**; Publikasi Proceedings @EAI Publishers, Indexed by: EBSCO, DOAJ, PORTICO, ProQuest

Kesimpulan, Saran dan Rekomendasi

Kesimpulan: Akar rumput sangat efektif menurunkan tegangan tanah (σ) akibat menurunnya tekanan air pori (u), sehingga menaikkan kuat geser tanah (τ) sehingga mengatasi erosi permukaan maupun sliding. Proses restraint sistem akar rumput mengikat dan menahan partikel tanah sehingga tidak terangkut bersama aliran air permukaan. Kombinasi akar rumput gajah dan rumput vetiver, dimana kemampuan rumput vetiver mengikat tanah sehingga meningkatkan kuat geser tanah sehingga cocok untuk sistem konstruksi penahan lereng, sedangkan rumput gajah dapat menyerap air dari dalam tanah dan dilepas ke atmosfer melalui proses transpirasi yang dapat menurunkan tegangan air pori.

Saran dan Rekomendasi: Penerapan langsung dilapangan khususnya di Dusun Dukuh, Desa Abang Batudinding Kintamani, karena lereng-lereng minim vegetasi. Sosialisasi kepada Masyarakat mitigasi bencana longsor *debris flow* dengan penanaman rumput gajah dan rumput vetiver yang bernilai ekonomis sebagai makanan ternak khususnya rumput gajah yang dipanen setiap 2 minggu (14 hari).

Aktifitas Penelitian



Pengambilan Tanah



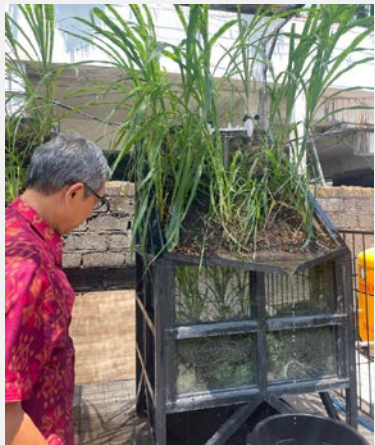
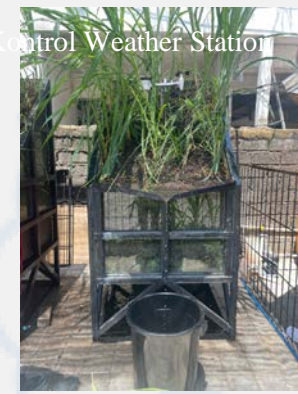
Hand Boring & SPT



Penetrometer



Kontrol Weather Station



Pengujian erosi dan bidang gelincir

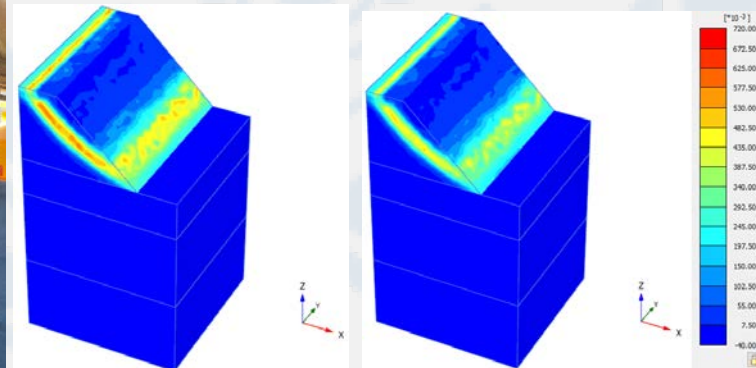
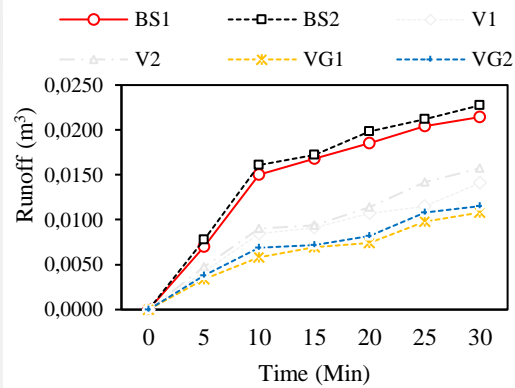


Foto hasil penelitian

Pengaruh rumput vetiver dan rumput gajah terhadap limpasan permukaan



Contoh foto analisa plaxis terhadap nilai tegangan tanah vulkanik tanpa vegetasi dan tanpa vegetasi padan kemiringan lereng 45° dan 60°

	Description	Unit	Value
Soil (Mohr Coulomb model)	Unit Weight (γ)	kN/m ³	16
	Modulus of Elasticity (E)	kPa	7500
	Effective Poisson's ratio (ν)	-	0.35
	Effective Cohesion (c)	kPa	5
	Effective friction angle (ϕ)	(°)	35
Pile	R_{inter}	-	0.8
	Modulus of Elasticity (E_{inter})	GPa	2.5

Equivalent cohesion approach dan root as pile approach

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Ringkasan

Salah satu wilayah di Indonesia yang sering mengalami bencana tanah longsor adalah Pulau Bali. Bencana tanah longsor menduduki peringkat pertama bencana alam di Bali tahun 2017-2018 dibandingkan bencana lainnya. Longsor yang terjadi didominasi oleh curah hujan yang tinggi, dan desa-desa yang terletak di Danau Batur dan Gunung Abang, seperti Desa Trunyan, Abang Batudinding, dan Desa Buahman menjadi yang paling sering terjadi longsor. Pemicu terjadinya aliran reruntuhan karena kondisi tanah vulkanik dengan batuan lepas, kemiringan lereng yang curam, vegetasi yang kurang, struktur geologi, intensitas curah hujan yang tinggi, dan durasi hujan yang lama. Mitigasi dan penanganan longsor dengan konsep bioengineering dapat menjadi pilihan karena murah, ramah lingkungan, dan dapat dilakukan secara mandiri.

Penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan rumput vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) untuk meningkatkan kekuatan tanah terhadap longsor. Ide penambahan rumput gajah bertujuan untuk mengurangi erosi tanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah tes model laboratorium dan pengujian numerik. Pengujian menggunakan kotak rangka baja dan simulator curah hujan, pengujian model dengan penanaman rumput pada box eksperimen di isi tanah vulkanik disesuaikan dengan kondisi lapangan tempat pengambilan sampel di Desa Abang Batudinding, Kintamani dan kemiringan tanah pada box uji sebesar 45° dan 60° disesuaikan umumnya di lokasi pengambilan sampel. Konfigurasi penanaman rumput gajah dan rumput vetiver pada box eksperimen dilakukan berselang-seling berjarak 40 cm x 40 cm. Pengujian dilakukan pada vegetasi umur 4 hari dan 33 hari, hal ini penting untuk dipahami bahwa kerangka waktu ini berkorelasi dengan tahap pertumbuhan kritis vegetasi, khususnya tumbuhan rumput gajah dan rumput vetiver, yang digunakan untuk stabilisasi tanah.

Pengujian diawali dengan pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis tanah di peroleh data berupa tanah lanau kepasiran dengan sedikit fraksi lempung dimana tanah ini merupakan hasil pelapukan batuan vulkanik. Tanah Lanau kepasiran ini memiliki sifat tidak plastis dan nilai permeabilitas yang tinggi, selanjutnya dilakukan analisis curah hujan berdasarkan data curah hujan dilokasi pengambilan sampel tanah. Data curah hujan yang diambil dari pos penakar curah hujan terdekat dengan lokasi penelitian, yaitu Pos Kintamani pada koordinat 08°14'24 "LS - 155° 19'49 "BT, dengan data curah hujan 10 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2021. Curah hujan rancangan menggunakan periode ulang 25 tahun dengan curah hujan 69,76 mm hasil dari Log Pearson, curah hujan ini dipilih karena mendekati nilai curah hujan pada saat kejadian longsor pada tahun 2020.

Hasil pengujian terhadap laju erosi dengan tanam rumput vetiver pada lereng 45° dengan jarak tanam 20 cm adalah 91,8%, dan kemiringan lereng 60° adalah 90,6%. Konfigurasi modifikasi vegetasi selang-seling 20 cm dengan penambahan rumput gajah dapat meningkatkan kemampuan tanah tahan terhadap kehilangan tanah akibat erosi limpasan permukaan sebesar 94,6% pada lereng 45°, dan 92,67% pada lereng 60°. Efektivitas penambahan rumput vetiver dan rumput gajah dalam mengurangi limpasan permukaan sebesar 55,48% pada lereng 45° dan 53,89% pada lereng 60°. menunjukkan bahwa penambahan rumput gajah mampu meningkatkan pengurangan kehilangan tanah sebesar 94,6% pada kemiringan 45°, dan 92,67% pada kemiringan 60°. Peningkatan efektivitas ini disebabkan oleh berkembangnya akar rumput gajah yang menyebar secara horizontal sehingga meningkatkan ikatan dengan lapisan tanah bagian atas.

Analisis numerik dengan metode elemen hingga untuk mengetahui pengaruh vegetasi terhadap stabilitas lereng dengan menggunakan dua pendekatan *Equivalent cohesion approach* dan *Root as pile approach*, dimana model tanpa vegetasi menunjukkan hasil regangan tanah dengan pola bidang gelincir dan erosi permukaan sebesar 0,6854 kN/m², dan analisis pembentukan stabilitas dilakukan mulai waktu 4 hari dengan penurunan maksimum 0,0001 m dan penurunan pada 33 hari sebesar 0,0000064 m, nilai faktor keamanan lereng sebesar 0,80. Jadi, dalam hal ini, tanah tanpa vegetasi memiliki ancaman longsor dan terkikis. Perpindahan total dan Incremental multipliers (Msf), menunjukkan faktor keamanan lereng diukur sebesar 0,87 tanpa vegetasi dan 1,84 dengan vegetasi dan selisihnya 0,97, sehingga penambahan vegetasi pada lereng menunjukkan keamanan lereng meningkat dari sebelumnya. Tegangan tanah pada tanah tanpa vegetasi cenderung tinggi sehingga mudah tergerus

pada kedalaman 0 - 0,5 meter, jadi tanah tersebut mengalami tekanan akibat berat sendiri meskipun tanpa berat tambahan misalnya air hujan. tegangan lereng fase awal sampai fase akhir keruntuhan dengan perbandingan waktu dan *P_{excess}*.

Analisis selanjutnya dengan simulasi lebih panjang yaitu 64 hari, tegangan lereng tanpa vegetasi menghasilkan tegangan lebih tinggi yaitu 32 kN/m² dan dengan vegetasi menghasilkan lebih kecil yaitu 26,5 kN/m². Berdasarkan kondisi tersebut sehingga hubungan antara nilai angka aman (Msf) terhadap angka pori (u) menjelaskan kelongsoran lereng fase awal dengan perbandingan tanpa vegetasi menghasilkan Msf sebesar 0,87 dengan hasil total kelongsoran sampai 22,3 m, sedangkan pada phase 2 yaitu dengan vegetasi menghasilkan nilai angka aman lebih besar yaitu 1,84 dengan hasil total kelongsoran sampai 18,2 m. Jadi selisih Msf akibat penambahan vegetasi yaitu 0,97 dan mendapatkan selisih kelongsoran 4,1 m.

Akar rumput sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng karena menurunkan tegangan tanah (σ) akibat menurunnya tekanan air pori (u), sehingga dengan sendirinya menaikkan kuat geser tanah (τ), terutama mengatasi erosi permukaan maupun sliding, karena proses restraint dimana sistem akar mengikat dan menahan partikel tanah sehingga tidak terangkut bersama aliran air permukaan. Kombinasi akar rumput gajah dan rumput vetiver karena berkemampuan rumput vetiver mengikat tanah sehingga meningkatkan kuat geser tanah sehingga cocok untuk sistem konstruksi penahan lereng, sedangkan rumput gajah dapat menyerap air dari dalam tanah dan dilepas ke atmosfer melalui proses transpirasi yang dapat menurunkan tegangan air pori.

Simulasi dengan model numerik dan membandingkan dengan hasil percobaan pola penanaman vetiver dan rumput gajah menunjukkan hasil yang memuaskan. Konsep *bioengineering* adalah usaha berkelanjutan untuk mengatasi longsor dari aliran puing-puing vegetasi pada tanah vulkanik (*debris flow*) karena rumput vetiver dan rumput gajah dapat mengurangi tingkat erosi akibat limpasan permukaan dan menaikkan kuat geser tanah. Khususnya bagi peternak di daerah pedalaman rumput gajahnya dapat di panen secara berkala setiap 2 minggu sekali sebagai pakan ternak agar akar dan daun rumput gajah tidak mengurangi berkembangnya rumput vetiver.

Luaran penelitian skema fundamental tahun 2023 untuk Tahun 1 telah dilakukan pada:

1. Jurnal Internasional bereputasi *International Journal of GEOMATE*, url: <https://geomatejournal.com/geomate/index>, ISSN: 2186 - 2982 (Print), ISSN: 2186 - 2990 (Online) Scopus Q3, dengan judul **INFLUENCE OF GRASS ROOTS ON THE STABILITY OF SLOPES: EXPERIMENTAL MODELLING AND NUMERICAL ANALYSIS**.
Status: Accepted, 15 Desember 2023; akan di terbitkan pada Vol. 25 No. 112 (2023): Desember 2023
2. Konferensi Nasional Teknik Sipil (Konteks) ke 17, Universitas Balikpapan 16 – 18 November 2023, url: <https://konteks.web.id/>, dengan judul **ANALISIS REABILITY PENGARUH VEGETASI RUMPUT GAJAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA LERENG TANAH VULKANIK**
Status: Diterima sebagai Presenter dengan ID Makalah : GO – 47; menunggu Proseding Seminar.
3. Konferensi Internasional, *The 3rd Warmadewa International Conference (on Science, Technology, and Humanity)*, Universitas Warmadewa 27-28 Oktober 2023, url: <https://wicsth.com/>, dengan judul **NUMERICAL ANALYSIS THE EFFECT OF ELEPHANT GRASS AND VETIVER GRASS IN REDUCING THE THREAT OF DEBRIS FLOW**
Status: Diterima sebagai Narasumber; Publikasi Proceedings @EAI Publishers, Indexed by: EBSCO, DOAJ, PORTICO, ProQuest

Pendahuluan

Khusus di Kabupaten Bangli data Pusdalop BPBD Provinsi Bali tahun 2020, telah terjadi 27 kali bencana longsor atau sekitar 16,26% dari seluruh kejadian gerakan tanah di Pulau Bali [1]. Ancaman bencana tanah longsor ancaman tinggi sebesar 11% dan sangat tinggi 9%, dengan paparan sangat tinggi 4216 ha, dusun rawan paparan yaitu Desa Trunyan, Desa Abang Batudinding dan Desa Buahman dan terjadi pada musim hujan [2]. Potensi longsor bahan rombakan (*debris flow*) sangat tinggi di Dusun Dukuh, Desa Abang Batudinding yang berpenduduk 221 KK adalah dusun terpencil yang berada di Kaldera Gunung Batur, terletak di lereng Gunung Abang dengan vegetasi rendah yang setiap musim hujan selalu mengalami longsor bahan rombakan (*debris flow*). Berdasarkan peta hasil dari penelitian dasar ristekbrin 2019-2020 dimana luas genangan sebesar 49.830m², volume 98.639m³/dt, jangkauan lembah sungai mencapai 49,5m dan tebal sedimen 1-1,5m [3] [4]. Pemicu terjadinya debris flow akibat kondisi tanah vulkanik dengan batuan lepas, lereng terjal, vegetasi kurang, struktur geologi, intensitas curah hujan tinggi dan durasi hujan panjang [5] [6].

Mitigasi ancaman gerakan tanah sangat diperlukan pedoman dengan mengadopsi konsep sistem peringatan dini yang berpusat pada masyarakat akan digunakan oleh masyarakat yang rentan terhadap tanah longsor, juga oleh badan pemerintah dan organisasi non- pemerintah di tingkat pusat, provinsi, desa/kota, kecamatan, dan desa [7].

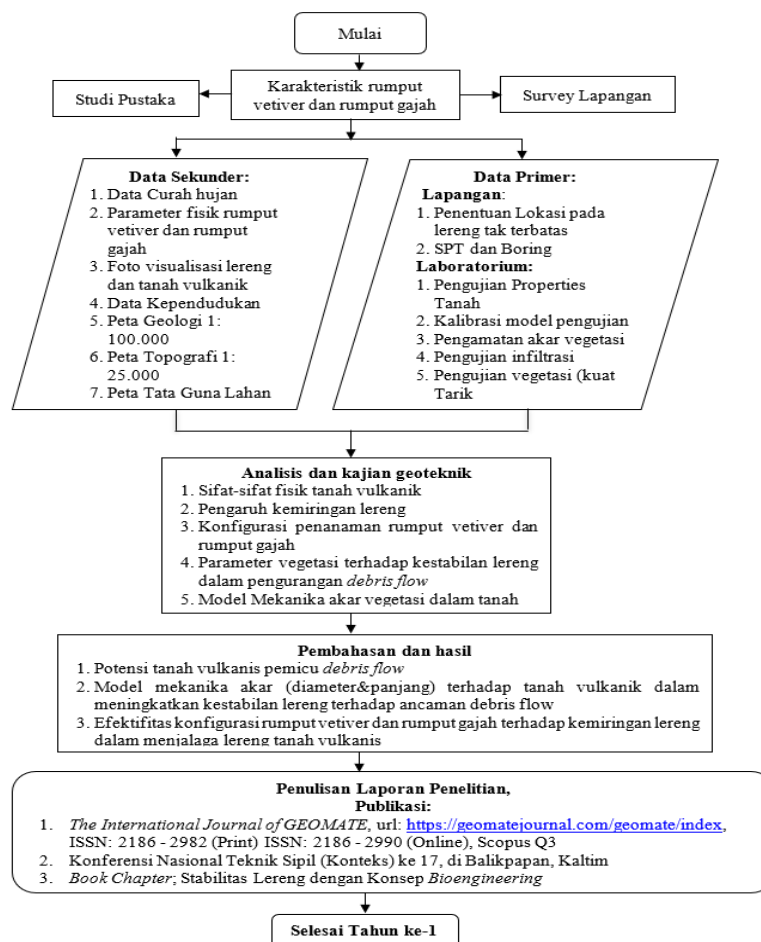
Tindakan mitigasi debris flow melibatkan vegetasi (bioteknologi) atau struktur buatan untuk menstabilkan lereng dan menutupi permukaan untuk mengurangi infiltrasi dan meningkatkan kohesi [8]. Pendekatan ini digunakan untuk mengurangi aliran puing, karena meminimalkan limpasan lereng dan mengikat bahan lepas di lereng melalui jaringan akar [9]. Lereng yang terbentuk pelapukan batuan vulkanik dilakukan pada lereng jalan di Taiwan, menggambarkan bahwa formasi batuan lapuk dengan formasi batu pasir-serpilh (36,3%), pasir (24,4%), konglomerat (21,9%) dan batulempung (17,4%) dan lereng dengan batulumpur menggambarkan tingkat keruntuhan tertinggi di antara semua jenis batu, dan model keruntuhan terjadi adalah longsor bahan rombakan (Debris Flow) [10]. Tanah gersang, akibat perubahan laju infiltrasi air sangat cepat adanya alur/parit dapat mempercepat erosi dan gerusan di dekat permukaan tanah tanpa vegetasi mengembang menimbulkan bahan rombakan dan menimbulkan terjadinya keruntuhan lereng [11].

Penelitian ini menerapkan konsep bioengineering menjadi salah satu solusi sebagai perkuatan lereng, khususnya pada lereng berupa tanah vulkanik, dimana diperlukan investigasi dan analisis numerik dengan plaxis 3D untuk mengetahui kinerja vegetasi rumput vetiver atau akar wangi (*Chrysopogon zizanioides*) dengan rumput gajah (*pennisetum purpureum*) dalam mengurangi erosi permukaan. Pemilihan rumput gajah (*pennisetum purpureum*) sebagai vegetasi penahan erosi permukaan karena yang memiliki nilai ekonomis sebagai makanan ternak. Pengujian dilakukan dengan modelling laboratorium dan modeling software numerik pada lereng 45° dan 60°, selanjutnya dapat pengaruh intensitas hujan pada lereng bervegetasi rumput gajah dapat mengurangi terjadinya debris flow.

Metode dan Analisis

Metode

Penelitian tahun pertama diarahkan pada pengaruh kemiringan lereng dan curah hujan terhadap erosi dan investigasi numerik terhadap akar vegetasi dari rumput gajah dan rumput vetiver terhadap tingkat erosi permukaan dan kuat geser tanah dengan konfigurasi penanaman. Penelitian ini juga melakukan pengujian laju infiltrasi akibat adanya vegetasi serta korelasinya terhadap kadar air tanah (*soil moisture*) dan kuat gesernya. Diagram alir yang diusulkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Bioengineering

Metode stabilisasi tanah dengan konsep *bioengineering* adalah stabilisasi tanah dengan menggunakan tanaman atau bagian dari tanaman, yang ditanam dan ditata di dalam tanah dengan pola dan konfigurasi tertentu, peran bio-engineering dalam meningkatkan sifat geoteknik dan geolingkungan tanah beserta mekanisme kerjanya di laboratorium dan lapangan [12]. Tujuan utamanya adalah untuk memberikan perlindungan pada daerah tertentu yang berpotensi terjadi erosi atau longsor dangkal. Caranya yaitu dengan memberikan dukungan tambahan pada tanah, sehingga erosi permukaan, pembentukan alur-alur, longsor dangkal, dan gerakan material debris di permukaan tidak lagi terjadi atau dapat dikurangi [13].

Gray dan Leiser (1982), mendefinisikan bioteknik atau perlindungan lereng bioteknikal (biotechnical slope protection) sebagai penggunaan elemen-elemen mekanikal yang digabungkan dengan elemen-elemen biologikal atau tumbuhan untuk menghentikan dan mencegah kelongsoran lereng dan erosi [11] [14]. Campbell et al. (2008) mendefinisikan metode bioteknik sebagai suatu cara yang mengkombinasikan prinsip-prinsip mekanikal, biologikal dan ekologis dalam melindungi, memperkuat dan memperbaiki lereng terhadap pengaruh gerakan massa dangkal dan erosi [15] [16].

Analisis kinerja akar divalidasi dari data studi lain, dapat disimpulkan bahwa kinerja persamaan dapat menunjukkan kepekaan terhadap jenis vegetasi, lokasi geografis, dan kondisi iklim [8] [17]. Pilihan struktur konstruksi yang tepat digunakan dalam bioteknologi bergantung pada tujuan saat mempertimbangkan pengendalian bencana alam tanah longsor, prinsip pertama yang harus diikuti adalah menggunakan material konstruksi dan tanaman yang memiliki ketahanan mekanis yang cukup untuk menahan gaya-gaya yang menyebabkan longsor bahan rombakan dan kejadian hidrologi yang terkait dengan proses ancaman longsor [14].

Rumput Vetiver adalah sejenis rumput-rumputan yang dikenal dengan nama akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Tanaman ini merupakan tanaman tahunan yang tumbuh tegak dengan tinggi 1,5 – 2,5 m. Tanaman ini memiliki sistem pengakaran yang unik, jenis akar serabutnya masuk sangat jauh ke dalam tanah, dengan panjang mencapai lebih dari 3 meter dan rekor akar vetiver terpanjang adalah 5.2 meter, yang ditemukan di Doi Tung, Thailand [18]. Uji kekuatan geser laboratorium pada sampel tanah, ditemukan bahwa kekuatan geser tanah yang berakar rumput vetiver menurun dengan meningkatnya kadar air. Tetapi panjang akar yang lebih tinggi menyebabkan kekuatan geser yang lebih tinggi [19][20].

Pada tanah lanau berpasir, rumput vetiver mengurangi erosi sebesar 94%-97%, dan tingkat pelepasan tanah diturunkan sebesar 95%. Limpasan rata-rata juga berkurang sebesar 21%, dengan diameter akar dari 1,6 menjadi 2,5 mm meningkatkan erosi tanah karena dampak negatifnya pada penambahan kohesi [21] [22].

Akar vetiver tumbuh 1 m dalam tiga bulan di tanah berpasir, kekuatan tarik akar vetiver adalah 27 MPa, bertambahnya diameter akar, kekuatan tarik akar menurun [23]. Tutupan rumput hanya mampu mengurangi akumulasi limpasan permukaan maksimal pada lahan dengan kelas kemiringan miring 15-25% dan tutupan rumput gajah efektif dalam mengurangi erosi tanah dengan pengurangan kekeruhan terhadap perairan akibat erosi sebesar 98,86% [24].

Software Plaxis

Analisis menggunakan Plaxis cocok digunakan untuk menentukan aliran debris flow yang melibatkan deformasi besar. Memanfaatkan metode interpolasi titik halus berbasis node (NSPIMs) dalam konteks metode elemen hingga partikel (PFEM) yang membahas tantangan deformasi substansial dalam geomekanik. Metodologi ini memfasilitasi perhitungan semua variabel di node, sehingga mengurangi kebutuhan untuk transferensi informasi yang sering terjadi pada PFEM, akibatnya menambah efisiensi. Meskipun menghadapi tantangan ketidakstabilan numerik, mengusulkan resolusi melalui dua teknik korektif. Keunggulan pendekatan ini dikuatkan melalui tiga contoh numerik, menunjukkan peningkatan kemahiran dalam analisis masalah deformasi yang signifikan [25].

Studi Material Point Method (MPM) sangat efektif untuk memodelkan masalah deformasi besar seperti kemiringan tanah dan kegagalan bendungan bumi di bawah pembebanan seismik. MPM mengatasi keterbatasan metode berbasis jaring umumnya, terutama dalam menangkap proses tanah longsor yang kompleks dan pencairan tanah. Metode ini menunjukkan potensi yang signifikan dalam rekayasa gempa, terutama dalam memahami kegagalan lereng seismik dan mekanisme pencairan tanah [26].

Versi NSPIM yang disempurnakan, disebut I-NSPIMs, telah diterapkan secara efektif untuk masalah hidromekanis dalam geomekanik. Modifikasi utama termasuk adopsi regangan linier dan domain penghalusan nodal yang disederhanakan. Evaluasi melalui berbagai studi kasus menunjukkan bahwa I-NSPIM secara signifikan meningkatkan akurasi dan mengurangi osilasi larutan numerik dibandingkan dengan NSPIM asli, terutama dalam masalah aliran dan deformasi aliran. Kesimpulannya, I-NSPIM menawarkan peningkatan substansial dalam kinerja dan akurasi untuk masalah gabungan dalam geomekanik [27].

Pendekatan numerik

Teori *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) merupakan pendekatan untuk menganalisis penyelesaian pada tahap

pembebanan akibat konsolidasi tanah primer atau awal. Teori konsolidasi didasarkan pada teori konsolidasi satu dimensi Terzaghi, yang dapat dirumuskan sebagai:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}; C_v = \frac{kv}{m_v \gamma_w}$$

Dimana C_v adalah koefisien konsolidasi vertikal, u adalah tekanan pori berlebih, t adalah waktu nyata, z adalah posisi endapan tanah, kv adalah koefisien permeabilitas dalam arah vertikal, m_v = koefisien kompresi vertikal, dan w adalah satuan berat air. Persamaannya diturunkan dengan asumsi bahwa pembuangan air hanya terjadi pada arah vertikal.

Air mengalir terutama dalam arah horizontal karena jarak antar PVD lebih pendek dari arah vertikal aliran ke lapisan tanah berpori. Teori konsolidasi radial (horizontal) berikut diusulkan oleh Barron (1948):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right); C_h = \frac{kh}{m_v \gamma_w}$$

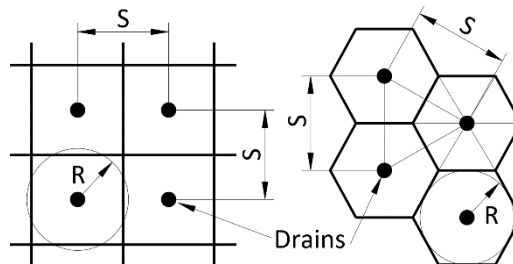
di mana C_h adalah koefisien konsolidasi horizontal (m²/s); kh = koefisien permeabilitas horizontal. Kombinasi konsolidasi aliran vertikal dan horizontal berasal dari persamaan yang diusulkan [28].

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + C_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right)$$

Perkembangan konsolidasi telah diperkirakan oleh tingkat konsolidasi rata-rata U . Distribusi tekanan pori awal dan data faktor waktu digunakan untuk menghitung tingkat konsolidasi dalam arah vertikal. Sementara itu, derajat konsolidasi radial dikembangkan oleh Barron pada tahun 1948 sebagai persamaan berikut:

$$U_h = 1 - \exp \left[\frac{-8Th}{F_n} \right]; T_h = \frac{C_h t}{D^2}$$

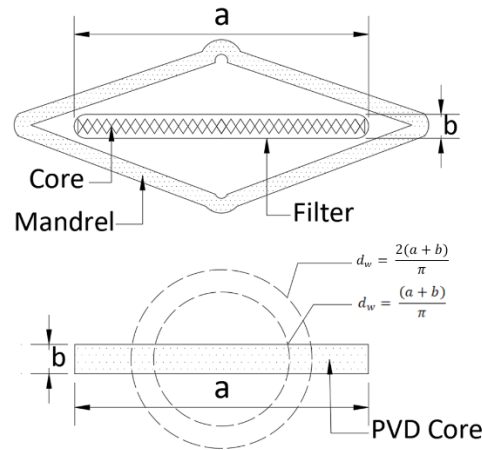
Dimana: t adalah waktu konsolidasi; D adalah satuan diameter area pengaruh PVD (m); F_n adalah faktor jarak saluran adalah $\ln(D/d_w) - 3/4$; d_w adalah diameter setara PVD.



Gambar 2 Pola PVD (kiri: pola persegi; kanan: pola segitiga) [27]

Secara umum, PVD dipasang dalam pola persegi atau segitiga. Dengan luas pengaruh, diameter ekuivalen persegi panjang D sama dengan $1,13 S$, dan D sama dengan $1,05 S$ untuk pola segitiga, di mana S adalah jarak antara PVD. Teori konsolidasi dengan drainase radial mengasumsikan bahwa air di tanah mengalir secara horizontal di bagian melingkar menuju PVD. Persamaan konsolidasi radial mempertimbangkan diameter drainase vertikal (d_w). Nilai d_w ini adalah diameter silinder kolom drainase jika drainase vertikal terbuat dari kolom pasir. Pita PVD biasanya memiliki lebar 100–120 mm dan tebal 3–6 mm. Penampang tidak melingkar, oleh karena itu, luas ekuivalen dalam lingkaran harus dinyatakan dalam diameter ekuivalen, notasi d_w . Diameter setara PVD didefinisikan sebagai diameter lingkaran drainase yang memiliki kapasitas drainase yang sama dengan PVD pada Gambar 2.

Dalam banyak kondisi, diameter setara (d_w) dapat dianggap independen dari kondisi lapisan tanah, sifat tanah dan pengaruh instalasi PVD, tetapi hanya tergantung pada geometri drainase dan konfigurasi. Gambar 3 menunjukkan mandrel yang digunakan untuk memasang PVD di lapisan tanah lunak. Itu harus cukup kuat untuk mencegah pembengkokan atau tekuk dan tanah lunak akan dianalisis di zona smear karena zona terganggu.



Gambar 3 Penampang PVD dan mandrel, (b) Diameter Setara PVD

Dalam desain, diameter ekuivalen ditentukan oleh luas permukaan saluran vertikal dalam lingkaran yang sama atau setara dengan luas permukaan saluran vertikal seperti yang diperkirakan $\pi d_w = 2(a + b)$. Jadi, diameter ekuivalennya adalah:

$$d_w = \frac{2(a + b)}{\pi}$$

di mana a adalah lebar tipikal, b adalah ketebalan PVD.

Peneliti lain mengusulkan d_w pada Tabel 3 berdasarkan pertimbangan yang berbeda. Persamaan ini dianggap sebagai throttle untuk mengontrol saluran pembuangan [29]. Persamaan dibuat dengan mempertimbangkan luas penampang PVD. Pengembangan d_w didasarkan pada pelepasan serupa dalam lingkaran yang setara ketika mengalami kondisi pemompaan yang dikendalikan tekanan [30]. Namun, rekomendasi definitif tersedia mengenai validitas persamaan ini.

Tabel 1 Formula diameter setara PVD

Reference	Equivalent Equation
Hansbo	$d_w = \frac{2(b + \delta)}{\pi}$
Atkinson & Eldred	$d_w = \frac{(b + \delta)}{\pi}$
Fellenius & Castonguay	$d_w = \sqrt{\frac{4b\delta}{\pi}}$
Long & Covo	$d_w = 0.5b = 0.7b$
Abuel-Naga & Bouazza	$d_w = 0.45b$

Pengambilan Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah tanah vulkanik, lokasi pengambilan sampel dilakukan di Dusun Dukuh, dusun tersebut adalah dusun terpencil berada di sisi timur kaldera Gunung Batur tepatnya di lereng gunung parasit Gunung Abang, berjarak ± 75 km dari Kota Denpasar. Survey lapangan dilakukan untuk quarry pengambilan sampel tanah untuk mengisi bak uji dilaboratorium mekanika tanah Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Warmadewa berjumlah 5 m³ dan penentuan titik-titik pengambilan sampel tanah berupa SPT dan hand boring. Pengambilan sampel tanah menggunakan dump truk untuk di bawa ke Lab seperti pada Gambar 4a dan Hand Boring seperti Gambar 4b.



(a) Pengambilan Tanah dengan Dumptruck



(b) Hand Boring

Gambar 4 Pengambilan Sampel

Pengambilan data lapangan untuk pengujian data properties tanah seperti data nilai standard penetration test (SPT) dan kepadatan tanah dilapangan dengan penetrometer dan sand cone seperti pada Gambar 5.



(a) Pengujian SPT

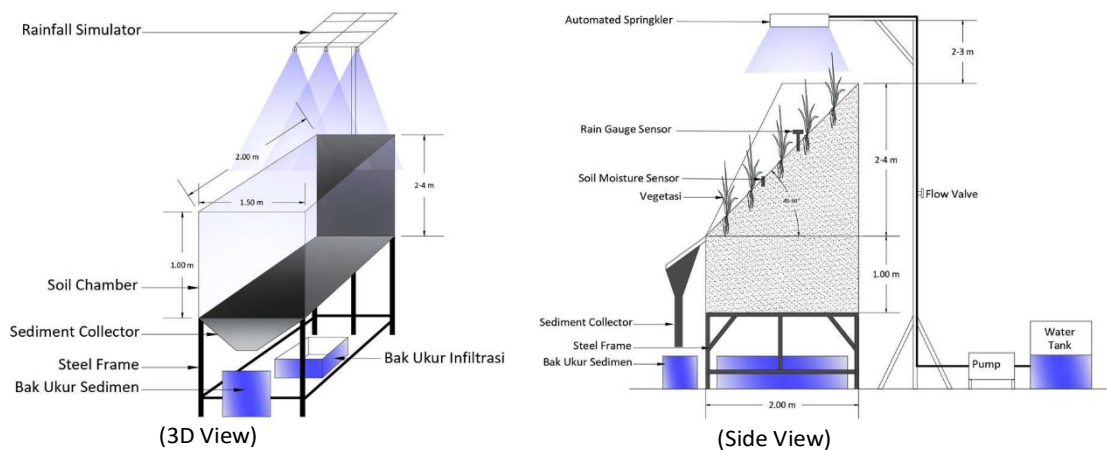


(b) Pengujian Penetrometer

Gambar 5 Pengujian Lapangan Daya dukung tanah dalam dan Permukaan

Pengujian lapangan menggunakan peralatan laboratorium Mekanika Tanah Universitas Warmadewa dengan pengujian Standard penetration test (SPT) dan bor mesin sampai kedalaman 10 meter. Sampel tanah vulkanik hasil hand boring setiap 1 meter dilakukan pengujian sifat fisik tanah adalah kadar air, gradasi butiran, batas-batas atterberg, spesifik gravity, permeabilitas.

Prosedur penelitian dan pengujian konsep *bioengineering* dengan kombinasi vegetasi rumput vetiver dan rumput gajah dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah di dalam box pengujian dengan dimensi seperti Gambar 6. Model rainfall simulator menggunakan tipe single spray nozzle sehingga dapat diatur intensitas dan distribusi hujan. Langkah awal dalam pengaturan rainfall simulator adalah dengan menyesuaikan intensitas serta distribusi hujan berdasarkan dengan data hujan dari Stasiun Hujan di sekitar Danau Batur. Pengaturan ini dilakukan dengan mengatur bukaan pada flow valve sehingga diperoleh karakteristik hujan yang mendekati kondisi lapangan.



Gambar 6 Peralatan uji model fisik

Pengaturan juga dilakukan pada lapisan tanah yang akan diuji. Pengambilan sample tanah pada lapangan dengan boring test memberikan informasi stratigrafi tanah yang akan dimodelkan. Tanah yang akan digunakan pada model fisik menggunakan tanah dari pengambilan pada lereng Desa Abang Batudinding. Kemiringan lereng yang dimodelkan akan divariasikan dari 45° dan 60° sesuai dengan kemiringan lereng pada lapangan.

Model pelaksanaan di laboratorium seperti terlihat di Gambar 7 adalah penyiapan material uji di lapangan laboratorium Universitas Warmadewa dan Gambar 8, model kemiringan dan model pemipaan untuk membuat simulasi intensitas curah hujan dan erosi yang terjadi. Model seperti gambar di atas menggunakan kemiringan lereng 45° dan 60°.



(a) Penyiapan tanah pada box uji

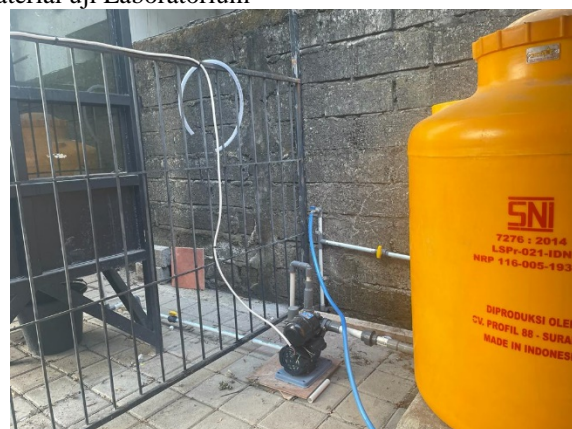


(b) Penyiapan bibit rumput gajah dan rumput vetifer

Gambar 7 Penyiapan material uji Laboratorium



(a) Penanaman rumput gajah dan rumput vetifer sesuai kemiringan lereng dan konfigurasi



(b) Sistem pemipaan untuk kontrol intensitas curah hujan

Gambar 8 Pengujian dan penyiapan sistem pemipaan

Analisis

1. Analisis Data Tanah

Uji laboratorium dilakukan di laboratorium mekanika tanah, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa ini terdiri dari 2 bagian yakni: uji sifat fisik (*index properties*) dan sifat mekanis (*engineering properties*) dari sampel tanah dengan dan tanpa akar vegetasi yang terdapat di area studi. Uji sifat-sifat fisik yang dilakukan terhadap sampel tanah di area studi mengikuti standar ASTM yang terdiri dari: uji natural water content, sesuai ASTM D-2216, uji density, sesuai ASTM D-2937, uji specific gravity sesuai ASTM D-854, sieve analysis, sesuai ASTM D-136, sehingga diperoleh nilai-nilai seperti: derajat kejenuhan (S_r), porositas (n), angka pori (e), density (γ_s), spesifik gravity (G_s) dan dry density (γ_d). Hasil pengujian sampel tanah dilampirkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Properties Tanah

Sampel	Depth (m)	Triaxial UU		Properties tanah				Permeabilitas	Pengujian Lapangan		Jenis Tanah
		c (kg/cm ²)	Φ (°)	W(%)	G_s	ρ_d (gr/cm ³)	ρ_b (gr/cm ³)	ks (cm/jam)	SPT	qc (kg/cm ²)	
Desa Abang Batudinding											
Borhole 1	1	0,004	32,01	14,58	2,6	1,6	1,52	$7,883 \cdot 10^3$	17	26,13	Pasir Kelanauan berlempung
	3	0,012	35,67	20,16	2,64	1,83	1,7	$9,124 \cdot 10^3$	23	40,13 (terkena batu)	Pasir Kelanauan dan serpihan batuan breksi
	5	0,156	38,25	23,5	2,59	1,92	1,88	$1,155 \cdot 10^4$	36	205,25 (mentok batu breksi)	Pasir Kelanauan bercampur batuan breksi
Borhole 2	1	0,032	36,87	15,42	2,58	1,72	1,68	$7,965 \cdot 10^3$	13	29,00	Pasir Kelanauan
	3	0,008	37,65	26,74	2,62	1,82	1,75	$8,423 \cdot 10^3$	22	81,38 (terkena batu)	Pasir Kelanauan bercampur koral dan serpihan batuan breksi
	5	0,12	40,25	27,1	2,67	1,87	2,2	$9,224 \cdot 10^3$	30	200 (mentok batu breksi)	Pasir Kelanauan bercampur batuan breksi
Desa Terunyan											
Borhole 2	1	0,877	30,12	13,75	2,67	1,52	1,68	$3,965 \cdot 10^3$	20	29,00	Lempung Kelanauan
	2,5	0,170	35,75	32,45	2,59	1,93	1,83	$7,32 \cdot 10^3$	29	81,38 (terkena batu)	Pasir Kelanauan serpihan batuan breksi
	3,8	0,05	37,65	33,23	2,62	2,15	1,97	$7,75 \cdot 10^3$	43	250 (mentok batu breksi)	Pasir Kelanauan bercampur batuan breksi

Hasil Pengujian tanah dan di laboratorium di peroleh data berupa tanah lanau kepasiran dengan sedikit fraksi lempung dimana tanah ini merukan hasil pelapukan batuan vulkanik. Tanah Lanau kepasiran ini memiliki sifat tidak plastis dan nilai permeabilitas yang tinggi. Berdasarkan Tabel menunjukkan bahwa tanah vulkanik cenderung lanau kepasiran jika mengandung air dan berkonsistensi lunak sangat mudah tererosi.

2. Karakteristik Rumput Gajah dan Rumput Vetiver

Pengambilan sampel rumput gajah di ambil dari sentra pembibitan rumput gajah dan rumput vetiver di Kabupaten Jembrana, dengan jarak 106 km dari Kota Denpasar, contoh pengambilan seperti pada Gambar 9.



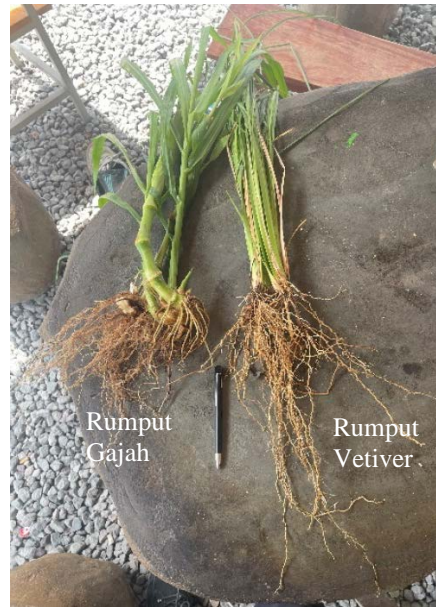
(a) Pembibitan rumput gajah



(b) Pembibitan rumput vetiver

Gambar 9 Rumput Gajah

Rumput gajah memiliki akar serabut, dimana akar tanaman hanya mencapai lapisan top soil tanah, sehingga dapat yang tumbuh pada buku-buku dari batang yang merayap di bagian permukaan tanah., Hasil pengukuran untuk rumput gajah umur 1 bulan akar serabutnya menjangkau kedalaman tanah mencapai 20 cm, sedangkan rumput vetiver mampu masuk kedalam tanah mencapai 40-45 cm seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10 Perbedaan akar Rumput Gajah dan Rumput vetiver

Gambar 10 menunjukkan bagian akar rumput gajah merayap secara horisontal sangat cepat yang membentuk jalinan di permukaan tanah sehingga menutup tanah, kondisi tersebut pada penelitian dilakukan jarak tanam rumput gajah adalah 40 cm x 40 cm. Rumput vetiver dengan jumlah daun yang minim cenderung bergerak kebawah sehingga sangat sulit di cabut. Penelitian kami, menunjukkan rumput gajah sangat agresif pertumbuhannya, sehingga sangat perlu di panen setiap 14 hari (2 minggu) sebagai pakan ternak, diikuti dengan pemilahan akar, sehingga tidak menutup pertumbuhan rumput vetiver.

3. Analisis Curah Hujan

Penelitian ini menggunakan data curah hujan yang diambil dari pos penakar curah hujan terdekat dengan lokasi penelitian yaitu Pos Kintamani di kordinat 08°14'24"LS - 155° 19'49" BT. Data curah hujan yang dipakai adalah data curah hujan 10 tahun terakhir yaitu dari tahun 2012 sampai tahun 2021 dan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Curah hujan dari tahun 2012 sampai dengan 2021

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	CH Maksimum (harian)
2012	575.0	380.0	968.0	107.0	130.0	5.0	8.0	0.0	0.0	0.0	91.0	273.0	64.5
2013	656.5	303.0	416.0	230.0	113.0	255.0	36.0	0.0	0.0	0.0	204.0	208.0	43.8
2014	436.0	357.0	179.0	140.0	0.0	1.0	28.0	6.0	0.0	2.0	18.0	471.0	31.4
2015	329.0	233.0	391.0	153.0	53.0	12.0	0.0	2.0	0.0	0.0	53.5	261.0	26.1
2016	256.0	407.0	92.6	38.5	125.0	24.0	101.0	1.0	37.0	119.0	71.0	368.0	27.1
2017	669.0	980.0	282.0	118.5	21.0	57.0	32.5	3.5	0.0	18.0	402.0	356.0	65.3
2018	606.0	642.5	395.5	77.0	0.0	11.5	0.0	13.0	0.0	0.0	223.0	223.0	42.8
2019	757.0	607.5	316.0	322.0	58.0	5.0	0.0	0.0	0.0	33.0	21.5	144.5	50.5
2020	266.0	634.0	398.5	72.0	95.0	2.0	0.0	1.5	0.0	50.0	144.0	406.0	42.3
2021	570.5	832.5	223.5	105.0	0.0	32.5	0.0	22.0	22.0	24.5	331.0	308.0	55.5

Sumber : Analisis (2023)

Berdasarkan Tabel 3 data curah hujan harian maksimal terbesar tercatat pada tahun 2017 yaitu dengan sebesar 65.3 mm dan yang terendah adalah 26.1 mm di tahun 2015

Frekuensi Data Curah Hujan

Analisis frekwensi data curah hujan dalam penelitian ini dilakukan dengan distribusi log-normal, distribusi gumbel dan distribusi Log-Pearson III.

1) Distribusi log-normal

Analisis frekwensi data curah hujan pada penelitian ini dengan distribusi log-normal dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4 Curah Hujan Rencana dengan Metode Log Normal

No	Year	X	P	Log X	Log X- LogXr	(Log X- LogXr) ²	(Log X- LogXr) ³
1	2012	26.067	9.091	1.416	-0.216	0.047	-0.010
2	2013	27.133	18.182	1.434	-0.198	0.039	-0.008
3	2014	31.400	27.273	1.497	-0.135	0.018	-0.002
4	2015	42.267	36.364	1.626	-0.006	0.000	0.000
5	2016	42.833	45.455	1.632	0.000	0.000	0.000
6	2017	43.767	54.545	1.641	0.009	0.000	0.000
7	2018	50.467	63.636	1.703	0.071	0.005	0.000
8	2019	55.500	72.727	1.744	0.113	0.013	0.001
9	2020	64.533	81.818	1.810	0.178	0.032	0.006
10	2021	65.333	90.909	1.815	0.183	0.034	0.006
Total		449.3	500	16.318	0.000	0.187	-0.007
Average		44.930	50.000	1.632	0.000	0.019	-0.001
SD	0.1442	<i>(Standard Deviation)</i>					
Cs	-0.3095	<i>(Skewness)</i>					

Sumber :Analisis (2023)

Tabel 5 Curah Hujan Berbagai Kala Ulang (return period)

Tr	Pr	S	G	G.S	Log X	Antilog X
1.01	99.0	0.144	-2.326	-0.335	1.296	19.784
2	50.0	0.144	0.000	0.000	1.632	42.832
5	20.0	0.144	0.842	0.121	1.753	56.649
10	10.0	0.144	1.282	0.185	1.817	65.561
25	4.0	0.144	1.751	0.253	1.884	76.610
50	2.0	0.144	2.054	0.296	1.928	84.719

Sumber :Analisis (2023)

Dari perhitungan analisis frekwensi data curah hujan dengan metode log normal pada tabel 4.19 maka diperoleh distribusi curah hujan berbagai kala ulang (return period) yaitu 1,01 tahun sebesar 19.784 mm, 2 tahun sebesar 42.832 mm, 5 tahun sebesar 56.649 mm, 10 tahun sebesar 65.561 mm, 25 tahun sebesar 76.610 mm, dan 50 tahun sebesar 84.719mm.

2) Distribusi Log Pearson Type III

Analisis frekwensi data curah hujan pada penelitian ini dengan distribusi Log Pearson Type III dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 Curah Hujan Rencana dengan Metode Log Pearson Type III

No	Year	X	P	Log X	Log X- LogXr	(Log X- LogXr) ²	(Log X- LogXr) ³
1	2012	26.067	9.091	1.416	-0.216	0.047	-0.010
2	2013	27.133	18.182	1.434	-0.198	0.039	-0.008
3	2014	31.400	27.273	1.497	-0.135	0.018	-0.002
4	2015	42.267	36.364	1.626	-0.006	0.000	0.000
5	2016	42.833	45.455	1.632	0.000	0.000	0.000
6	2017	43.767	54.545	1.641	0.009	0.000	0.000
7	2018	50.467	63.636	1.703	0.071	0.005	0.000
8	2019	55.500	72.727	1.744	0.113	0.013	0.001
9	2020	64.533	81.818	1.810	0.178	0.032	0.006
10	2021	65.333	90.909	1.815	0.183	0.034	0.006
Total		449.3	500	16.318	0.000	0.187	-0.007
Average		44.930	50.000	1.632	0.000	0.019	-0.001
SD	0.1442	<i>(Standard Deviation)</i>					

Cs **-0.3095** (*Skewness*)

Sumber :Hasil analisis (2023)

Tabel 7 Curah Hujan Berbagai Kala Ulang (return period)

Tr	Pr	CS	SD	G	G.S	Log X	Antilog X
1.01	99.0	-0.309	0.144	-2.856	-0.412	1.220	16.591
2	50.0	-0.309	0.144	0.124	0.018	1.650	44.627
5	20.0	-0.309	0.144	0.857	0.124	1.755	56.923
10	10.0	-0.309	0.144	1.175	0.169	1.801	63.270
25	4.0	-0.309	0.144	1.469	0.212	1.844	69.758
50	2.0	-0.309	0.144	1.636	0.236	1.868	73.731

Sumber :Hasil analisis (2023)

Perhitungan analisis frekwensi data curah hujan dengan metode Log Pearson Type III pada Tabel 6 maka diperoleh distribusi curah hujan berbagai kala ulang (return period) yaitu 1,01 tahun sebesar 16.591mm, 2 tahun sebesar 44.627mm, 5 tahun sebesar 56.923 mm, 10 tahun sebesar 63.270 mm, 25 tahun sebesar 69.758 mm, dan 50 tahun sebesar 73.731 mm.

3) Distribusi Gumbel

Analisis frekwensi data curah hujan pada penelitian ini dengan distribusi Gumbel dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Perhitungan Curah Hujan Rencana dengan Metode Gumbel

No	Year	X	P
1	2015	26.067	9.091
2	2016	27.133	18.182
3	2014	31.400	27.273
4	2020	42.267	36.364
5	2018	42.833	45.455
6	2013	43.767	54.545
7	2019	50.467	63.636
8	2021	55.500	72.727
9	2012	64.533	81.818
10	2017	65.333	90.909
Total		449.300	
Average		44.930	
Sd		14.187	

Sumber :Hasil analisis (2023)

Tabel 9 Perhitungan Curah Hujan Rencana Dengan Berbagai Kala ulang

Tr	Pr	Yt	S	Yn	Sn	K	X
1.01	99.01	-1.529	14.187	0.495	0.950	-2.132	14.684
2	50.00	0.367	14.187	0.495	0.950	-0.136	43.007
5	20.00	1.500	14.187	0.495	0.950	1.058	59.941
10	10.00	2.250	14.187	0.495	0.950	1.848	71.152
25	4.00	3.199	14.187	0.495	0.950	2.847	85.317
50	2.00	3.902	14.187	0.495	0.950	3.588	95.826

Sumber :Hasil analisis (2023)

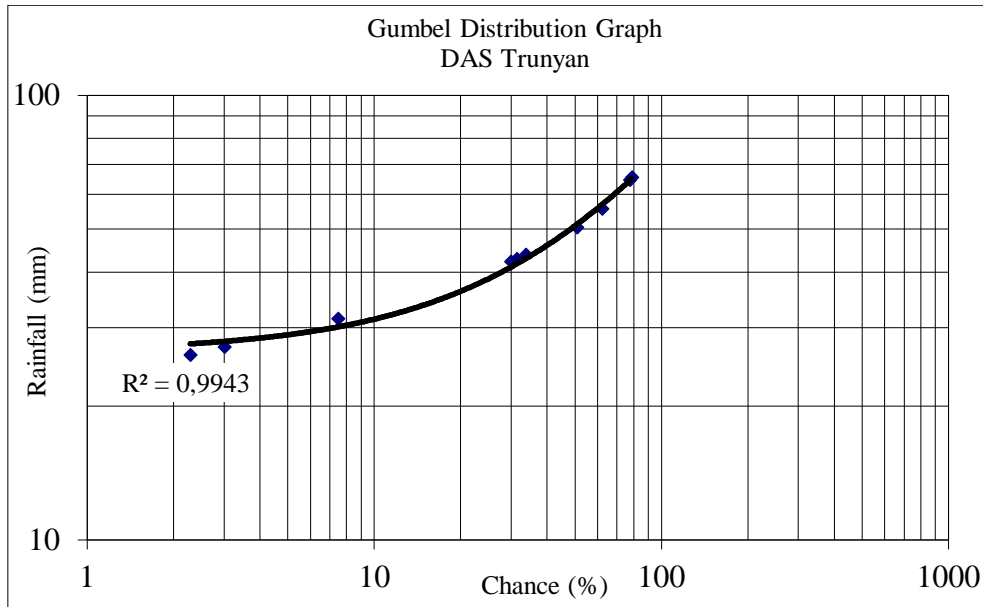
Perhitungan analisis frekwensi data curah hujan dengan metode Gumbel pada Tabel 9 maka diperoleh distribusi curah hujan berbagai kala ulang (return period) yaitu 1,01 tahun sebesar 14.684 mm, 2 tahun sebesar 43.007 mm, 5 tahun sebesar 59.941 mm, 10 tahun sebesar 71.152 mm, 25 tahun sebesar 85.317 mm, dan 50 tahun sebesar 95.826 mm.

Tabel 10 Uji kesesuaian distribusi frekuensi Smirnov-Kolmogorov

No	Year	X	P	k	P'	P - P'
1	2012	26.067	9.091	-1.330	2.283	6.808
2	2013	27.133	18.182	-1.254	3.002	15.180
3	2014	31.400	27.273	-0.954	7.462	19.810
4	2015	42.267	36.364	-0.188	29.924	6.440
5	2016	42.833	45.455	-0.148	31.372	14.083
6	2017	43.767	54.545	-0.082	33.775	20.771
7	2018	50.467	63.636	0.390	50.820	12.816
8	2019	55.500	72.727	0.745	62.207	10.521
9	2020	64.533	81.818	1.382	77.792	4.026

10	2021	65.333	90.909	1.438	78.871	12.038
$\Delta \max =$	0.208					
$n =$	10					
$\alpha =$	5%					
$\Delta \text{ kritis} =$	0.41	(tabel utk n=10, a =5%)				
$\Delta \max$	<	$\Delta \text{ kritis}$	<i>telah memenuhi distribusi</i>			

Sumber :Hasil analisis (2023)



Gambar 9. Hubungan persentase terhadap curah hujan
Sumber :Hasil analisis (2023)

Tabel 11 Uji kesesuaian distribusi frekuensi Chi-Square

Jumlah Kelas =		4.322	~	4					
No	Pr	Tr	Yt	S	Yn	Sn	K	X	
1	25	4.000	1.2459	14.187	0.495	0.950	0.790543	56.14536	
2	50	2.000	0.3665	14.187	0.495	0.950	-0.13552	43.00743	
3	75	1.333	-0.3266	14.187	0.495	0.950	-0.86545	32.65189	
Class Limits			EF	OF	((OF- EF)²)/EF				
0	-	32.652	2.5	3.0	0.1				
32.652	-	43.007	2.5	2.0	0.1				
43.007	-	56.145	2.5	3.0	0.1				
56.145	<		2.5	2.0	0.1				
Total			10	10	0.4				
a = 5% dan derajat bebas (V) = G - R - 1 = 2 didapatkan									
$X^2 \text{ tabel}$	=	5.991	sehingga distribusi		diterima				

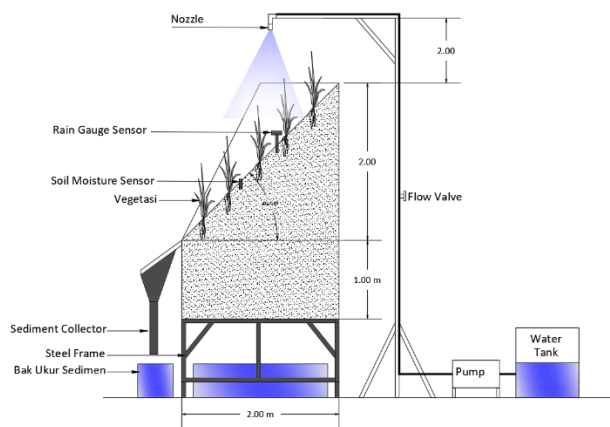
Tabel 12 Rekap Curah Hujan Rencana DAS Trunyan

Kala Ulang	Curah Hujan Rencana (mm)		
	Log Pearson III	Log Normal	Gumbel
1.01	16.59	19.78	14.68
2	44.63	42.83	43.01
5	56.92	56.65	59.94
10	63.27	65.56	71.15
25	69.76	76.61	85.32
50	73.73	84.72	95.83

Pemilihan curah hujan berdasarkan peraturan Permen PUPR no.20 tahun 2021 tentang umur bangunan maka kala ulang diasumsikan menggunakan kala ulang 25 tahun dengan nilai log person III sebesar 69,76 mm.

3. Pengujian Model Test

Metode bioengineering perkuatan lereng dengan vegetasi merupakan tindakan konservasi dengan cara menutup permukaan lereng dengan tanaman [31]. Untuk dapat mengetahui efektifitas penanaman vegetasi pada lereng, maka dilakukan pengujian model test. Pengujian model test/Pemodelan uji fisik digunakan untuk mensimulasikan erosi dan runoff yang terjadi pada lereng akibat hujan rancangan. Pengaturan hujan rancangan dengan curah hujan 69.76mm menggunakan *rainfall simulator* dengan *single nozzle*. Nozzle yang digunakan adalah model DM13350 dengan *spray angle* 45°, *orifice diameter* 1.5mm dan tekanan 4 psi [32]. Model pengujian pada Gambar 10, dilengkapi dengan valve untuk mengatur bukaan air sehingga curah hujan yang dihasilkan sesuai dengan analisis curah hujan rancangan. *Weather Station MISOL WS 2320* dipasang pada model uji untuk pembacaan nilai hujan, kelembapan, angin dan tekanan udara.

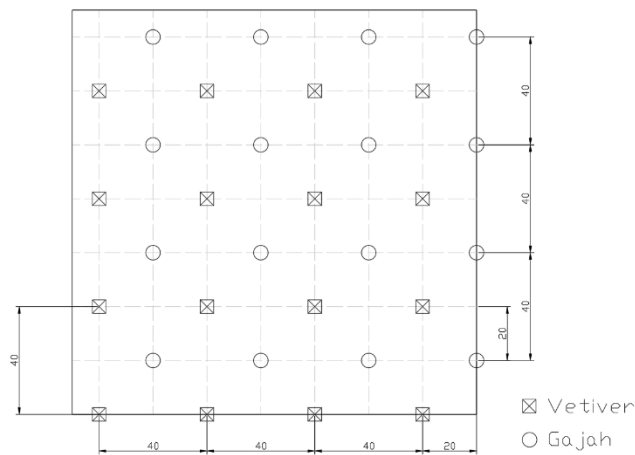


Gambar 10. Schematic model test

Pola tanam pada box uji berdasarkan studi literatur, dan dilakukan modifikasi berupa vetiver penambahan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) pada Gambar 11. Tujuan penambahan rumput gajah adalah untuk mereduksi erosi permukaan, dimana dari hasil pengamatan perkembangan akar, diketahui sebaran akar rumput gajah yang serabut mampu mengikat struktur tanah bagian atas (*top soil*) [33]. Pengaturan skenario model berjumlah 6 skenario, dimana dimodelkan kondisi lereng tanpa vegetasi, dengan vegetasi vetiver, dan kombinasi vetiver-rumput gajah seperti Tabel 13.

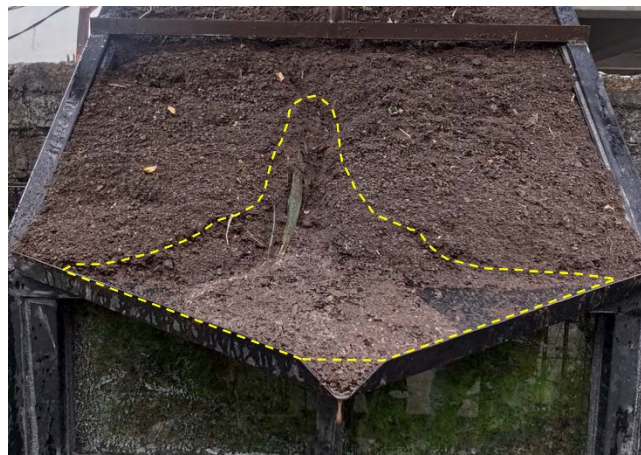
Tabel 13 Skenario Model

No	Model Code	Vegetation	Spacing (cm)	Slope (°)
1	BS1	None	0	45
2	BS2	None	0	60
3	V1	Vetiver	20	45
4	V2	Vetiver	20	60
5	VG1	Vetiver+Rumput Gajah	20	45
6	VG2	Vetiver+Rumput Gajah	20	60



Gambar 11 Pola tanam kombinasi vetiver dan rumput gajah

Pengujian dilakukan setelah vegetasi berumur 1 bulan untuk memastikan telah terjadi pertumbuhan dan ikatan akar dengan tanah. Pengujian dilakukan dengan curah hujan rancangan, dengan durasi hujan selama 30 menit. Pengamatan hasil uji yang dicatat adalah berat tanah yang tererosi yang terkumpul pada *sediment collector*, dan besaran *runoff* (Tabel 14 dan Tabel 15). Gambar 12 menunjukkan area yang mengalami longsor pada pengujian dengan kondisi tanah tanpa vegetasi. Hujan yang terjadi mampu dengan cepat mengikis permukaan tanah sehingga terjadi longsor dan menyebabkan aliran debris.



Gambar 12 Area longsor pada tanah tanpa vegetasi (*bare soil*)

Tabel 14 Hasil pengujian pada lereng 45°

No	Model Code	Soil Loss (kg)			Runoff (m ³)		
		Soil Loss (kg)	Reduction (kg)	Percentage of Reduction	Runoff (m ³)	Reduction (m ³)	Percentage of Reduction
1	BS1	10.78	0	0	0.0991	0	0
2	V1	0.88	9.9	91.84%	0.0581	0.0410	41.41%
3	VG1	0.58	10.2	94.62%	0.0441	0.0550	55.48%

Tabel 15 Hasil pengujian pada lereng 60°

No	Model Code	Soil Loss (kg)			Runoff (m ³)		
		Soil Loss (kg)	Reduction (kg)	Percentage of Reduction	Runoff (m ³)	Reduction (m ³)	Percentage of Reduction
1	BS2	11.89	0	0	0.1048	0	0
2	V2	1.12	10.77	90.58%	0.0644	0.0404	38.53%
3	VG2	0.87	11.02	92.68%	0.0483	0.0565	53.89%

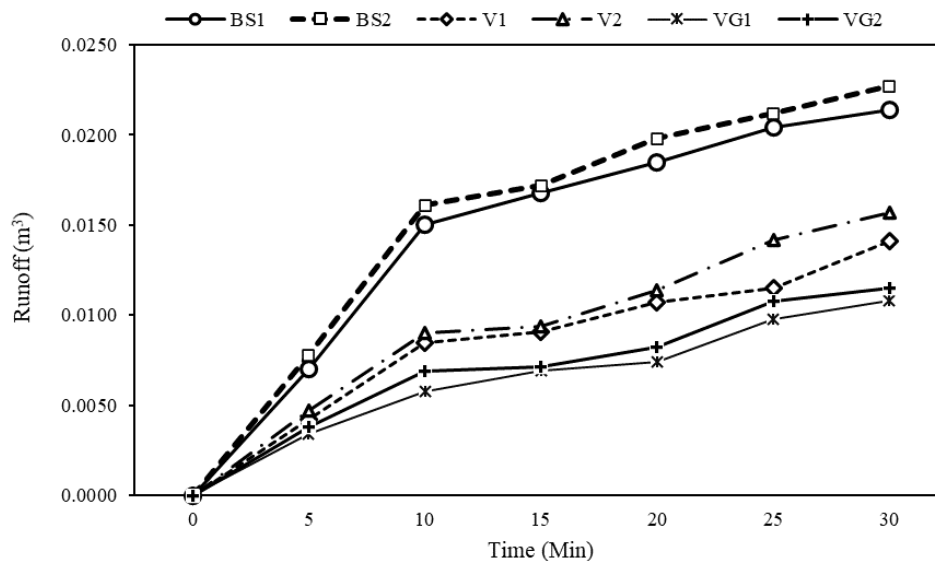
Tabel 16 Rekapitulasi hasil pengujian tiap Skenario

No	Model Code	Vegetation	Spacing (cm)	Slope (°)	Soil Loss (kg)	Runoff (m ³)
1	BS1	None	0	45	10.78	0.0991
2	BS2	None	0	60	11.89	0.1048
3	V1	Vetiver	20	45	0.88	0.0581
4	V2	Vetiver	20	60	1.12	0.0644
5	VG1	Vetiver + Rumpot Gajah	20	45	0.58	0.0441
6	VG2	Vetiver + Rumpot Gajah	20	60	0.87	0.0483

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan vegetasi dapat mengurangi erosi dan runoff. Penanaman vegetasi berupa vetiver mampu mereduksi erosi sebesar 91.84% pada lereng 45° dan 90.58% pada lereng 60°. Penambahan kombinasi berupa penanaman rumput gajah, mampu meningkatkan reduksi terhadap erosi dan limpasan. Penambahan rumput gajah mampu mereduksi erosi mencapai 94.62% pada lereng 45°, dan sebesar 92.68% pada lereng 60°.

Tabel 17 Hasil pengamatan runoff pada tiap skenario

No	Model Code	Runoff (m ³)							Total
		0 (min)	5 (min)	10 (min)	15 (min)	20 (min)	25 (min)	30 (min)	
1	BS1	0	0.0070	0.0150	0.0168	0.0185	0.0204	0.0214	0.0991
2	BS2	0	0.0078	0.0161	0.0172	0.0198	0.0212	0.0227	0.1048
3	V1	0	0.0042	0.0085	0.0091	0.0107	0.0115	0.0141	0.0581
4	V2	0	0.0047	0.0090	0.0094	0.0114	0.0142	0.0157	0.0644
5	VG1	0	0.0034	0.0058	0.0069	0.0074	0.0098	0.0108	0.0441
6	VG2	0	0.0038	0.0069	0.0072	0.0082	0.0108	0.0115	0.0483



Gambar 12 Runoff pada tiap skenario

Efektifitas reduksi erosi dan limpasan pada kombinasi rumput gajah dan vetiver, mengalami penurunan pada kemiringan lereng 60°. Laju limpasan mengalami peningkatan akibat lama hujan yang disebabkan oleh hujan yang telah menutup pori dan terhambat oleh akar vegetasi seperti Gambar 12.

3. Analisis Numerik

Hasil Pengujian tanah dan di laboratorium di peroleh data berupa tanah lanau kepasiran dengan sedikit fraksi lempung dimana tanah ini merukan hasil pelapukan batuan vulkanik. Tanah Lanau kepasarisan ini memiliki sifat tidak plastis dan nilai permeabilitas yang tinggi. Berdasarkan Tabel menunjukkan bahwa tanah vulkanik cenderung lanau kepasiran jika mengandung air dan berkonsistensi lunak sangat mudah tererosi. Tabel 18 adalah hasil pengujian laboratorium yang selanjutnya dipakai input Plaxis 3D.

Tabel 18 Pengujian Tanah Input Software

	Description	Unit	Value
	Soil (Mohr Coulomb model)	Unit Weight (γ)	kN/m ³
Modulus of Elasticity (E)		kPa	7500
Effective Poisson's ratio (ν)		-	0.35
Effective Cohesion (c)		kPa	5
Effective friction angle (ϕ)		($^{\circ}$)	30
Incremental Cohesion (c')		kPa	15

Analisis elemen hingga dengan model pengaruh vegetasi terhadap stabilitas lereng dengan menggunakan dua pendekatan Equivalent cohesion approach dan Root as pile approach. Analisis numerik dengan Plaxis 3D pada penelitian ini dianggap kemiringan homogen bersudut 45° dengan tinggi 4 meter, lebar 4 meter, dan panjang 4 meter. Rumput gajah dikategorikan type A, dimana akar tanaman hanya mencapai lapisan top soil tanah berdasarkan pengamatan di kotak pengujian kedalaman pengakaran mencapai 30 cm. Tabel 2 menunjukkan parameter yang digunakan dalam analisis kemiringan.

Tabel 19 Parameter lereng di software

	Description	Unit	Value
	Soil (Mohr Coulomb model)	Unit Weight (γ)	kN/m ³
Modulus of Elasticity (E)		kPa	7500
Effective Poisson's ratio (ν)		-	0.35
Effective Cohesion (c)		kPa	5
Effective friction angle (ϕ)		($^{\circ}$)	30

Berdasarkan metode *Equivalent cohesion approach* seluruh zona akar dianggap sebagai blok tunggal dan sifat kuat geser yang modelkan adalah isotropis. pemodelan lereng dengan vegetasi dilakukan dengan menggunakan *software* Plaxis 3D. Tabel 20 menunjukkan parameter yang digunakan dalam analisis lereng bervegetasi.

Tabel 20. Parameter Lereng pendekatan *Equivalent Cohesion*

	Description	Unit	Value
	Soil (Mohr Coulomb model)	Unit Weight (γ)	kN/m ³
Modulus of Elasticity (E)		kPa	7500
Effective Poisson's ratio (ν)		-	0.35
Effective Cohesion (c)		kPa	5
Effective friction angle (ϕ)		($^{\circ}$)	30
Incremental Cohesion (c')		kPa	15

Analisis numerik dilakukan pada tumbuhan umur 4 hari dan 33 hari, penting untuk dipahami bahwa kerangka waktu ini berkorelasi dengan tahap pertumbuhan kritis vegetasi, seperti rumput gajah dan rumput vetiver, yang digunakan untuk stabilisasi tanah. Pada hari ke 4, fokusnya adalah pada perkembangan akar awal, yang merupakan kunci stabilisasi tanah secara dini. Usia 33 hari, rumput biasanya mencapai fase dewasa dengan sistem akar yang berkembang dan biomassa yang cukup, sehingga cocok untuk pengendalian erosi dan berpotensi digunakan sebagai pakan ternak khususnya rumput gajah. Pemilihan waktu ini juga didasarkan pada teori interaksi tanaman dengan tanah dalam praktik agronomi, yang menekankan pentingnya tahapan pertumbuhan tanaman dalam penggunaan dan stabilitas lahan.

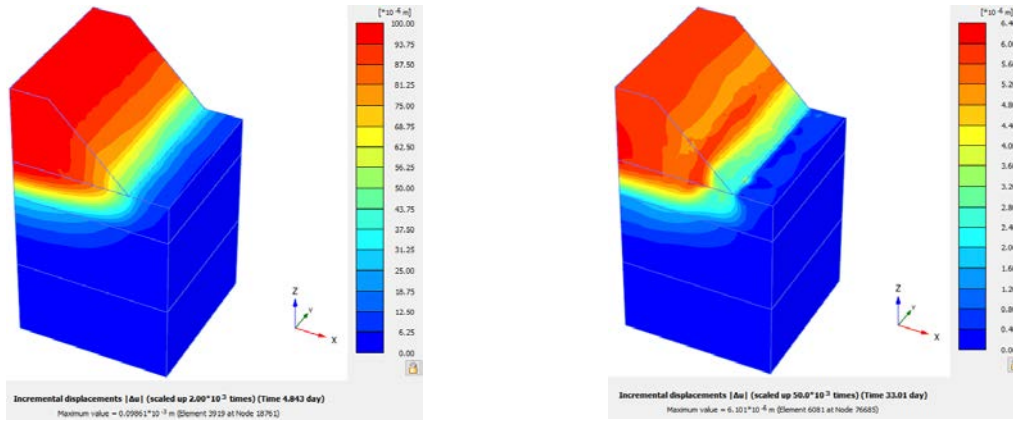
Analisis pendekatan lereng dengan vegetasi menggunakan pendekatan *root as pile approach*, seluruh zona akar dianggap sebagai tiang tunggal dengan kedalaman 30cm pada umur 33 hari dan sifat akar di terapkan pada pile. Modulus elastisitas akar adalah sekitar 2,6 GPa dan kekuatan tarik akarnya bervariasi antara 45 – 145 MPa (rata-rata 75 MPa) [34]. Diameter akar rumput gajah berdasarkan pengukuran di box uji umumnya bervariasi antara 0,2-1,2 mm. Tabel 21 menunjukkan parameter yang digunakan dalam analisis kemiringan.

Tabel 21. Parameter Lereng pendekatan *Root as Pile*

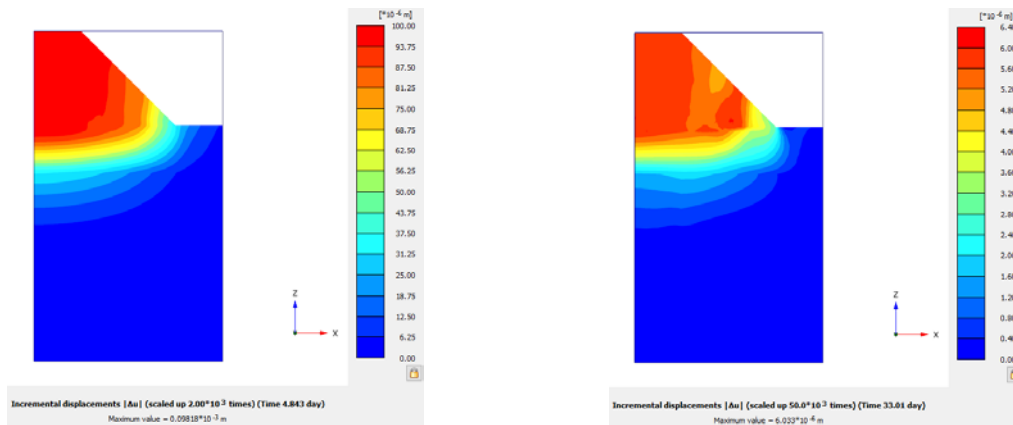
	Description	Unit	Value
	Soil (Mohr Coulomb model)	Unit Weight (γ)	kN/m ³
Modulus of Elasticity (E)		kPa	7500
Effective Poisson's ratio (ν)		-	0.35
Effective Cohesion (c)		kPa	5
Effective friction angle (ϕ)		($^{\circ}$)	35
R _{inter}		-	0.8
Pile	Modulus of Elasticity (E _{inter})	GPa	2.5

Hasil analisis reability tanah vulkanik tanpa vegetasi (Model A) diperoleh hasil penurunan dalam kurun waktu 4 hari sampai 33 hari dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14. Hasil analisis menunjukkan pergerakan tanah

semakin berkurang seiring bertambahnya waktu, akibat berat sendiri tanah yang disebabkan oleh sifat tanah lanau kepasiran yang lepas. Terbukti pada kurun waktu 4 hari penurunan maksimal sampai dengan 0,1 mm dan penurunan pada kurun waktu 33 hari maksimal sampai dengan 0,064mm, dalam hal ini tanah lanau kepasiran telah melakukan konsolidasi akibat berat sendiri tanah.

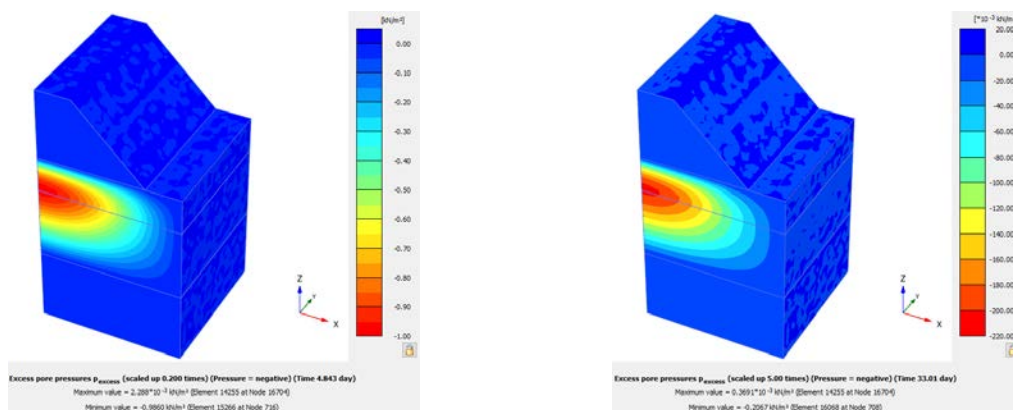


Model A Model A
Gambar 13 Visual 3D Perpindahan dalam kurun waktu 4 hari dan 33 hari

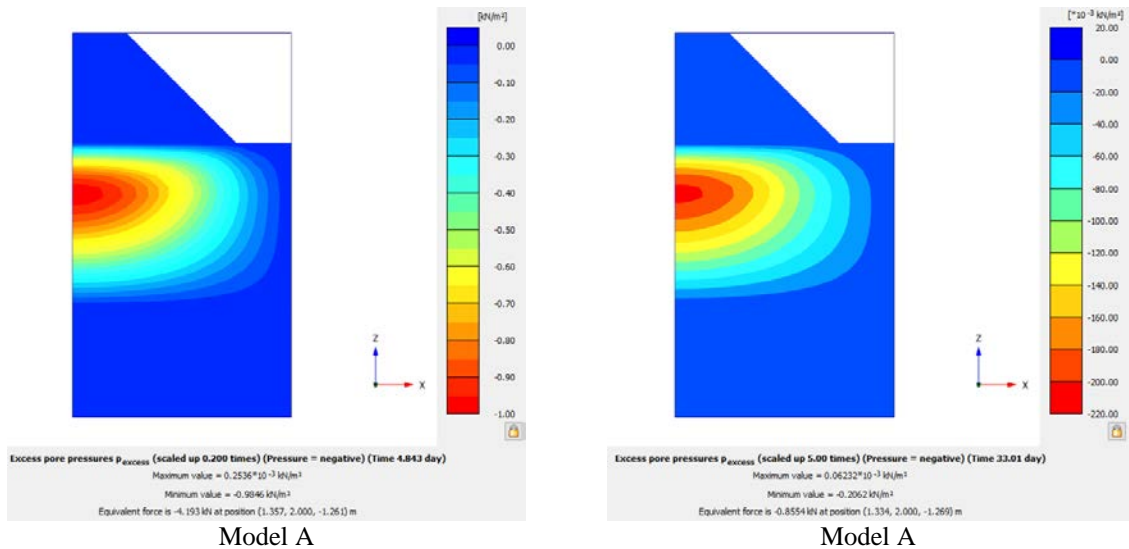


Model A Model A
Gambar 14 Potongan Perpindahan dalam kurun waktu 4 hari dan 33 hari

Tegangan tekan yang dihasilkan lereng dalam kurun waktu 4 hari dan 33 hari pada model A terlihat pada Gambar 15 dan Gambar 16. Hasil menunjukkan pada kurun waktu 4 hari terjadi tegangan tekan negatif lereng sebesar 0 sampai -1 kN/m² dan tegangan tekan menuju positif pada kurun waktu 33 menghasilkan -0,220 sampai 0,020 kN/m², sehingga terlihat kenaikan tegangan tanah sehingga tanah diindikasikan akan mengalami penurunan.

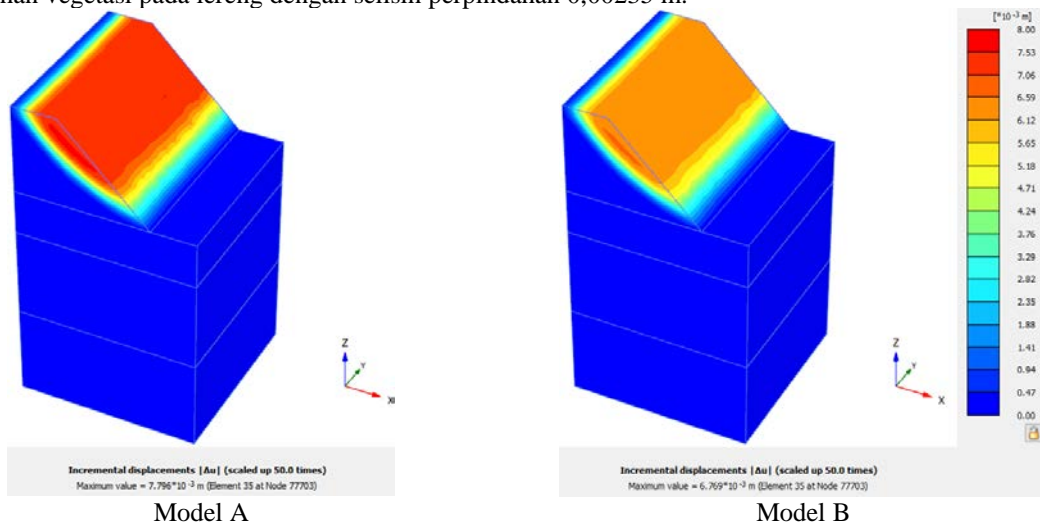


Model A Model A
Gambar 15 Visual 3D Gaya Tekanan Lereng dalam kurun waktu 4 hari dan 33 hari

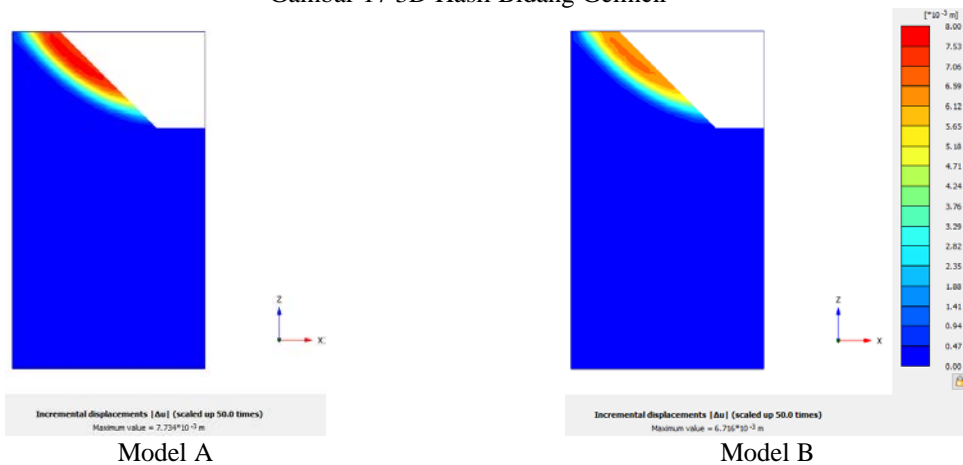


Gambar 16 Potongan Gaya Tekanan Lereng dalam kurun waktu 4 hari dan 33 hari

Analisis selanjutnya dilakukan pemodelan tanah dengan vegetasi yang akarnya dilakukan dengan pendekatan *root as pile approach*. Vegetasi rumput gajah digunakan panjang akar rumput gajah 30 cm pada umur tanam 33 hari berdasarkan pengamatan di kotak eksperimen. Hasil bidang gelincir lereng tanpa vegetasi (model A) dan dengan vegetasi (model B) dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16. Hasil analisis menunjukkan penurunan semakin berkurang akibatnya vegetasi dimana terjadi penurunan tanah dari $7,796 \cdot 10^{-3}$ m menjadi $6,796 \cdot 10^{-3}$, efektifnya penambahan vegetasi pada lereng dengan selisih perpindahan 0,00235 m.



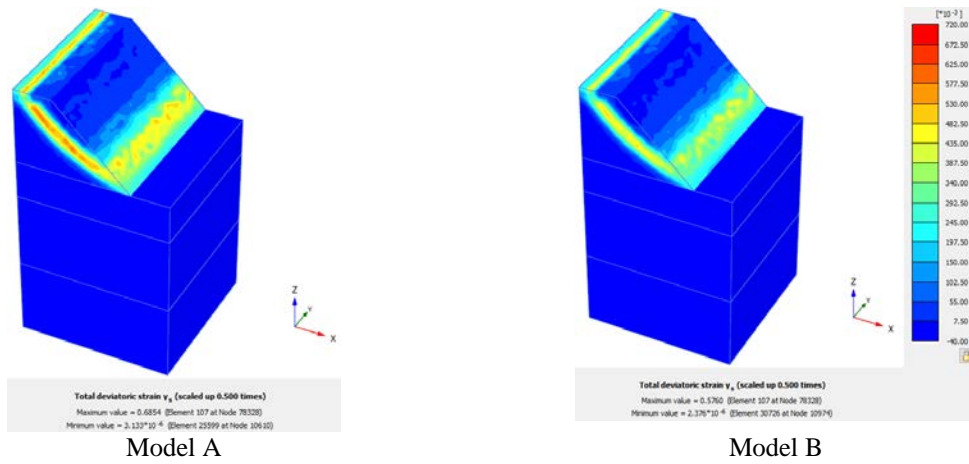
Gambar 17 3D Hasil Bidang Gelincir



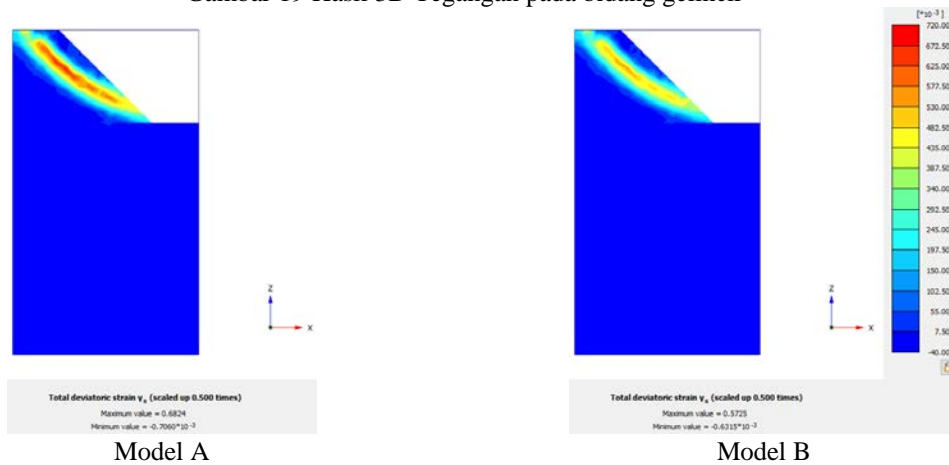
Gambar 18 Potongan Hasil Bidang Gelincir

Gambar 17 dan Gambar 18 menunjukkan analisis tegangan tanah untuk memperoleh nilai angka keamanan (Msf)

serta pola gelincir permukaan tanah dalam kondisi keruntuhan kritis. Hasil menunjukkan model tanpa vegetasi tegangan pada bidang gelincir sebesar 0,6854, sedangkan dengan vegetasi menghasilkan tegangan tanah pada bidang gelincir mencapai 0,5760, diperoleh selisih pengurangan tegangan pada bidang gelincir dengan adanya vegetasi sebesar 0,1094, dalam hal ini stabilitas tanah meningkat.

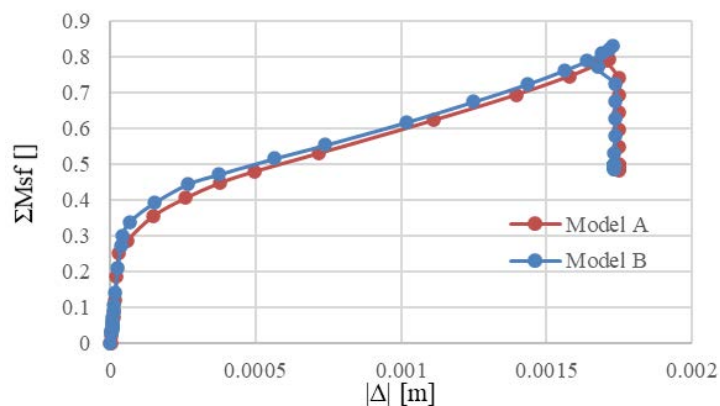


Gambar 19 Hasil 3D Tegangan pada bidang gelincir



Gambar 20 Potongan Hasil Tegangan bidang gelincir

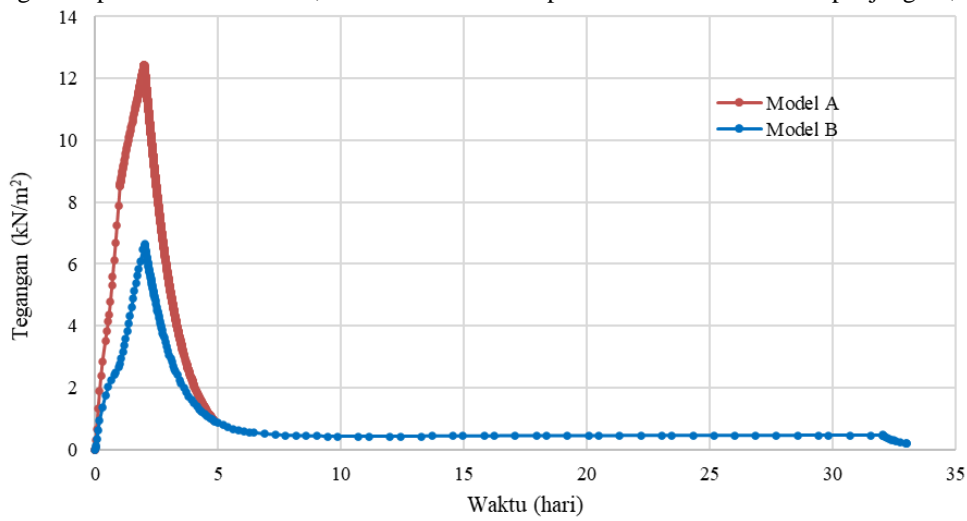
Gambar 21 menunjukkan grafik antara perpindahan total (Δ) dan *Incremental multipliers* (Msf). Grafik ini faktor keamanan lereng diukur sebesar 0,80 tanpa vegetasi dan 0,83 dengan vegetasi. Pada grafik ini lereng dengan vegetasi factor keamanannya lebih besar dibandingkan tanpa vegetasi dengan selisih 0,03, sehingga penambahan vegetasi pada lereng menunjukkan kenaikan angka keamanan lereng akibat peningkatan kuat geser tanah pada zona akar.



Gambar 21 Total displacement (Δ) Vs Incremental multipliers (Msf)

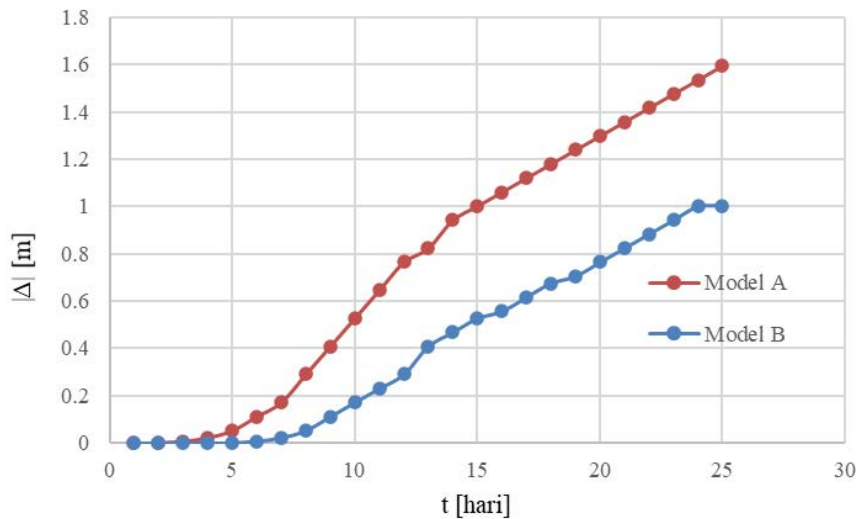
Perbandingan grafik tegangan lereng fase awal (4 hari) sampai fase akhir (33 hari) keruntuhan lereng dilihat dari perbandingan waktu dan tegangan tanah pada Gambar 22 menunjukkan tegangan tanah pada lereng tanpa vegetasi sebesar 12,3 kN/m² dengan hasil total waktu selama 4,84 hari. Tegangan tanah pada lereng dengan vegetasi

sebesar 6,43 kN/m² dengan hasil total waktu selama 33 hari. Jadi selisih tegangan tanah dengan penambahan vegetasi mengalami penurunan sebesar 5,87 kN/m² dan mendapatkan selisih waktu lebih panjang 28,16 hari.



Gambar 22 Grafik Total Waktu (hari) dengan Tegangan (kN/m²)

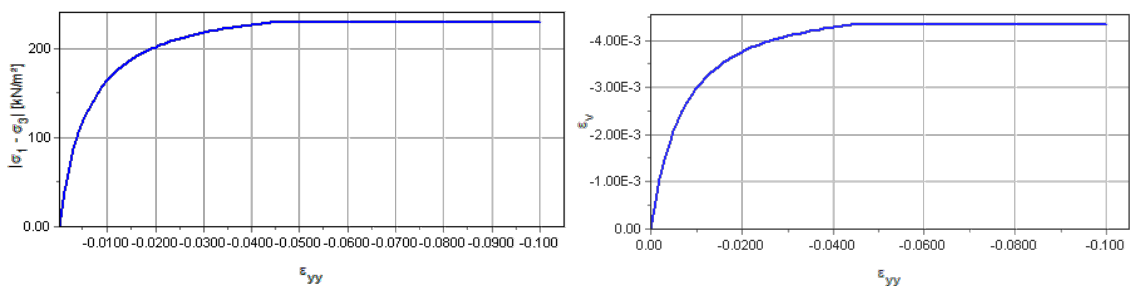
Grafik perbandingan waktu dengan *displacement* ditunjukkan pada Gambar 23 menunjukkan penurunan lereng tanpa vegetasi (model A) dan dengan vegetasi (model B). Analisis penurunan maksimal terjadi pada waktu 25 hari. Penurunan lereng saat hari ke 25 didapat maksimum 1,59 meter tanpa vegetasi dan 1,01 meter dengan vegetasi rumput gajah. Perbandingan selisih penurunan lereng dari model A dan model B adalah 0,58 meter.



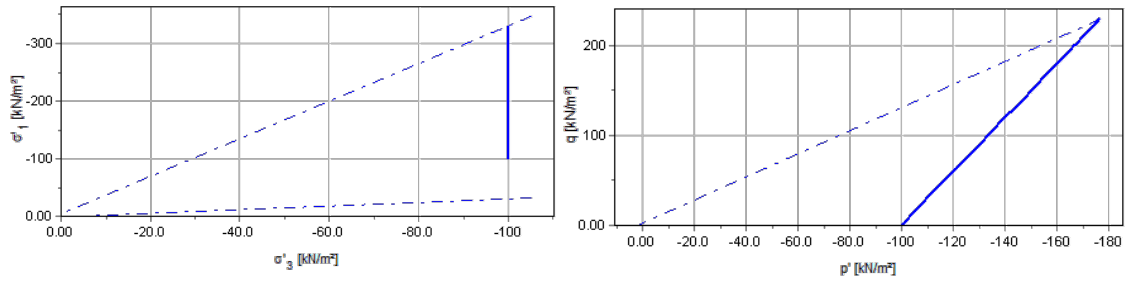
Gambar 23 Grafik perbandingan waktu (hari) dengan *displacement* (U) lereng

Konsolidasi

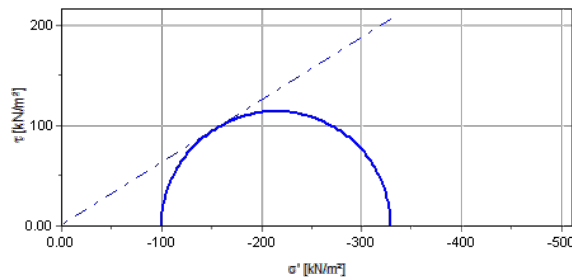
Gambar 24 menunjukkan hasil dari triaksial dalam mengukur kekuatan geser tanah pada program *Finite Element Analysis*. Kekuatan geser tanah ini dimaksudkan untuk menghitung kohesi untuk tanah lempung (clay) dan juga sudut geser untuk pasir (sand).



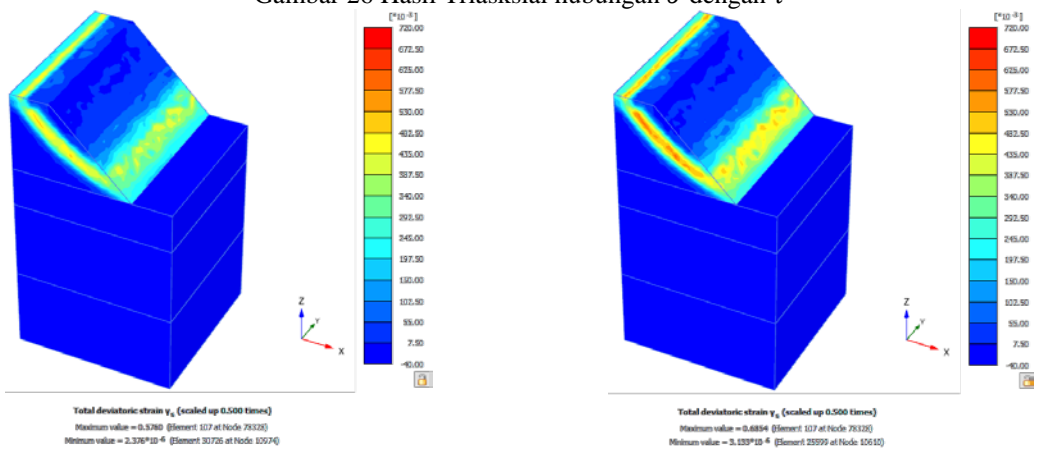
Gambar 24 Hasil Triaksial pada *Finite Element Analysis*



Gambar 25 Hasil Triaksial hubungan $\sigma_3^{\wedge'}$ dengan $\sigma_1^{\wedge'}$ dan p' dengan q
 Gambar 26 menunjukkan hasil dari triaksial hubungan $\sigma_3^{\wedge'}$ dengan $\sigma_1^{\wedge'}$ dan p' dengan q . Dimana tegangan 3 tetap terus sama sedangkan tegangan 1 terus meningkat. Pada beban akibat berat sendiri lereng menunjukkan beban setelah adanya vegetasi nilainya beban mennjadi mengecil.



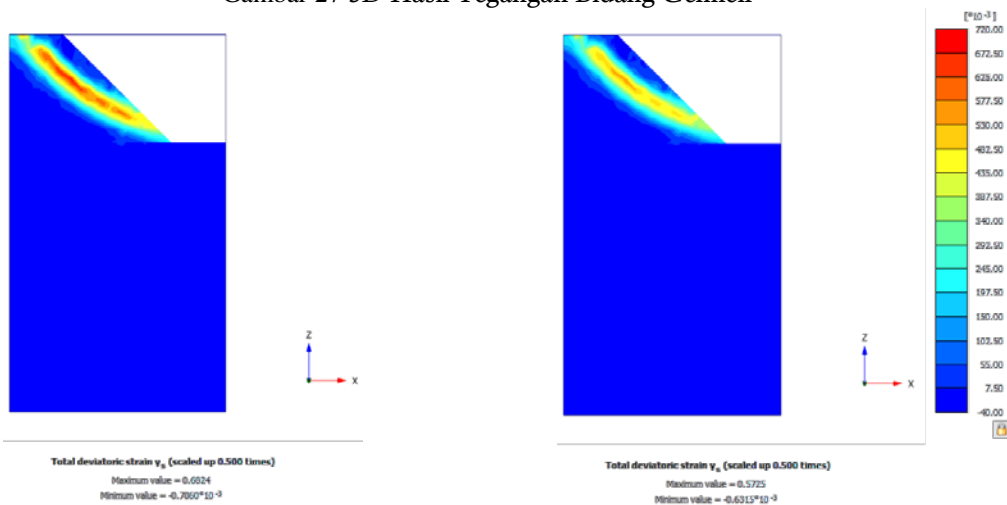
Gambar 26 Hasil Triaksial hubungan σ dengan τ



Model A

Model B

Gambar 27 3D Hasil Tegangan Bidang Gelincir

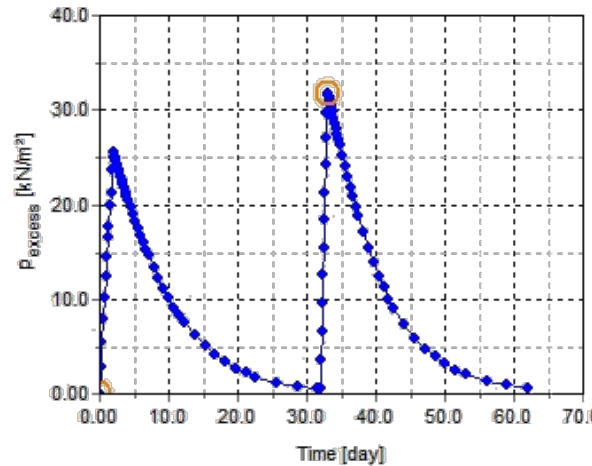


Model A

Model B

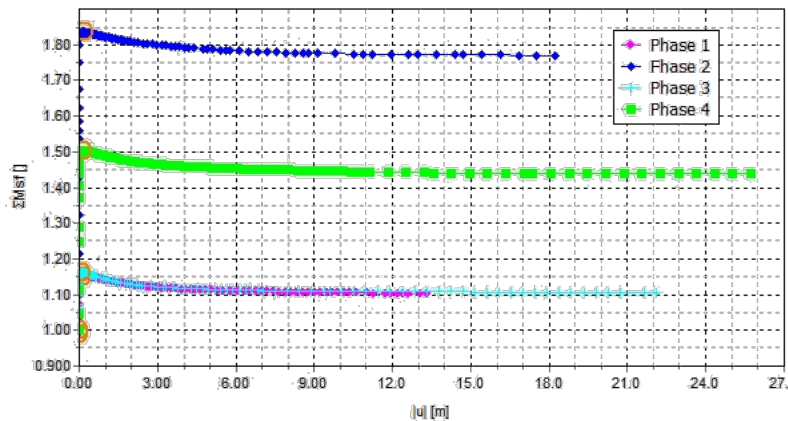
Gambar 28 Potongan Hasil Tegangan Bidang Gelincir

Grafik pada Gambar 27 dan Gambar 28 menunjukkan tegangan yang terjadi pada tanah dengan kondisi tanpa vegetasi (Model A) dan dengan vegetasi (Model B) yang menunjukkan perpindahan total dan *Incremental multipliers* (Msf). Gambar menunjukkan faktor keamanan lereng diukur sebesar 0,87 tanpa vegetasi dan 1,84 dengan vegetasi dan selisihnya 0,97, sehingga penambahan vegetasi pada lereng menunjukkan keamanan lereng meningkat dari sebelumnya. Tegangan tanah pada tanah tanpa vegetasi cenderung berwarna merah atau mudah tergerus pada kedalaman 0 - 0,5 meter, jadi tanah tersebut mengalami tekanan akibat berat sendiri meskipun tanpa berat tambahan misalnya air hujan.



Gambar 29 Grafik waktu dengan tegangan p_{excess}

Gambar 29 adalah perbandingan grafik tegangan lereng fase awal sampai fase akhir keruntuhan dengan perbandingan waktu dan P_{excess} pada Gambar 13 menunjukkan tegangan lereng tanpa vegetasi menghasilkan tegangan lebih tinggi yaitu 32 kN/m² dengan hasil total waktu yang lebih pendek sampai 64 hari. Untuk tegangan lereng dengan vegetasi menghasilkan lebih kecil yaitu 26,5 kN/m² dengan hasil total waktu yang lebih panjang sampai 33 hari.



Gambar 30 Grafik kelongsoran dengan Msf

Pada grafik Gambar 30 menunjukkan hubungan antara nilai angka aman (Msf) terhadap angka pori (u) dimana grafik tersebut menjelaskan kelongsoran lereng fase awal dengan perbandingan tanpa vegetasi menghasilkan Msf sebesar 0,87 dengan hasil total kelongsoran sampai 22,3 m, Sedangkan pada phase 2 yaitu dengan vegetasi menghasilkan nilai angka aman lebih besar yaitu 1,84 dengan hasil total kelongsoran sampai 18,2 m. Jadi selisih Msf akibat penambahan vegetasi yaitu 0,97 dan mendapatkan selisih kelongsoran 4,1 m.

Kesimpulan

Sifat-sifat fisik dan mekanis tanah di peroleh data berupa tanah lanau kepasiran dengan sedikit fraksi lempung dimana tanah ini merupakan hasil pelapukan batuan vulkanik. Tanah Lanau kepasiran ini memiliki sifat tidak plastis dan nilai permeabilitas yang tinggi. Analisis curah hujan berdasarkan data curah hujan dilokasi pengambilan sampel tanah. Data curah hujan yang diambil dari pos penakar curah hujan terdekat dengan lokasi penelitian, yaitu Pos Kintamani pada koordinat 08°14'24 "LS - 155° 19'49 "BT, dengan data curah hujan 10 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2021. Curah hujan rancangan menggunakan periode ulang

25 tahun dengan curah hujan 69,76 mm hasil dari Log Pearson, curah hujan ini dipilih karena mendekati nilai curah hujan pada saat kejadian longsor pada tahun 2020.

Penelitian ini diawali dengan analisis numerik menggunakan model tanah vulkanik yang menunjukkan hasil regangan tanah dengan pola bidang gelincir dan erosi permukaan tanpa vegetasi sebesar 0,6854 kN/m², dan analisis pembentukan stabilitas baru dalam waktu 4 hari, penurunan maksimum 0,0001 m dan penurunan pada 33 hari sebesar 0,0000064 m, serta perpindahan dan Incremental multipliers (Msf), menunjukkan faktor keamanan lereng akibat erosi 0,80 tanpa vegetasi. Jadi, dalam hal ini, tanah tanpa vegetasi memiliki ancaman longsor dan terkikis.

Model percobaan pola penanaman vetiver dan rumput gajah sebagai bioteknologi berkelanjutan untuk mengatasi longsor dan aliran puing-puing vegetasi pada tanah vulkanik dengan rumput vetiver dan rumput gajah dapat mengurangi tingkat erosi akibat limpasan permukaan. Laju erosi dengan konfigurasi tanam rumput pada lereng 45° dengan jarak tanam 20 cm adalah 91,8%, dan kemiringan lereng 60° adalah 90,6%. Konfigurasi modifikasi vegetasi dengan penambahan rumput gajah dapat meningkatkan kemampuan tanah tahan terhadap kehilangan tanah akibat erosi limpasan permukaan sebesar 94,6% pada lereng 45°, dan 92,67% pada lereng 60°. Efektivitas penambahan rumput vetiver dan rumput gajah dalam mengurangi limpasan permukaan sebesar 55,48% pada lereng 45° dan 53,89% pada lereng 60°.

Akar rumput sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng karena menurunkan tegangan tanah (σ) akibat menurunnya tekanan air pori (u), sehingga dengan sendirinya menaikkan kuat geser tanah (τ), terutama mengatasi erosi permukaan maupun sliding, karena proses restraint dimana sistem akar mengikat dan menahan partikel tanah sehingga tidak terangkut bersama aliran air permukaan. Kombinasi akar rumput gajah dan rumput vetiver karena berkemampuan rumput vetiver mengikat tanah sehingga meningkatkan kuat geser tanah sehingga cocok untuk sistem konstruksi penahan lereng, sedangkan rumput gajah dapat menyerap air dari dalam tanah dan dilepas ke atmosfer melalui proses transpirasi yang dapat menurunkan tegangan air pori.

Dampak abadi akar rumput pada kohesi dan struktur tanah, potensi pengendalian erosi berkelanjutan dalam waktu lama, dan persyaratan pemeliharaan rumput yang berkelanjutan. Selain itu, mempertimbangkan konsekuensi ekologis dan kemampuan beradaptasi rumput terhadap kondisi lingkungan yang berfluktuasi akan secara signifikan memperkaya analisis.

Dengan mengatasi elemen-elemen ini, penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang keuntungan dan tantangan jangka panjang yang terkait dengan penanaman rumput sebagai metode untuk stabilisasi tanah, seperti: (1) Implementasi mitigasi alami menggunakan rumput gajah untuk aspek teknis dalam rekayasa lingkungan untuk mencegah tanah longsor. (2) Pengembangan lebih lanjut dan penyempurnaan metode serupa dalam teknik lingkungan. (3) Penelitian yang lebih mendalam, termasuk eksplorasi keanekaragaman jenis tumbuhan. (4) Implikasi potensial untuk penelitian di daerah dengan kondisi tanah yang bervariasi.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui BIMA.

Pada tahun pertama artikel sudah di submit pada

1. Jurnal internasional bereputasi *International Journal of GEOMATE*, url: <https://geomatejournal.com/geomate/index>, ISSN: 2186 - 2982 (Print), ISSN: 2186 - 2990 (Online) Scopus Q3, dengan judul **INFLUENCE OF GRASS ROOTS ON THE STABILITY OF SLOPES: EXPERIMENTAL MODELLING AND NUMERICAL ANALYSIS**.
Status: Accepted, 15 Desember 2023; akan di terbitkan pada Vol. 25 No. 112 (2023): Desember 2023
2. Konferensi Nasional Teknik Sipil (Konteks) ke 17, Universitas Balikpapan 16 – 18 November 2023, url: <https://konteks.web.id/>, dengan judul **ANALISIS REABILITY PENGARUH VEGETASI RUMPUT GAJAH DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA LERENG TANAH VULKANIK**
Status: Diterima sebagai Presenter dengan ID Makalah : GO – 47; menunggu Proseding Seminar.
3. Konferensi Internasional, *The 3rd Warmadewa International Conference (on Science, Technology, and Humanity)*, Universitas Warmadewa 27-28 Oktober 2023, url: <https://wicsth.com/>, dengan judul **NUMERICAL ANALYSIS THE EFFECT OF ELEPHANT GRASS AND VETIVER GRASS IN REDUCING THE THREAT OF DEBRIS FLOW**
Status: Diterima sebagai Narasumber; Publikasi Proceedings @EAI Publishers, Indexed by: EBSCO, DOAJ, PORTICO, ProQuest

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui BIMA.

.....
.....
.....
.....

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Waktu sempit dengan kontrak 16 Juli 2023, kendala yang di temui

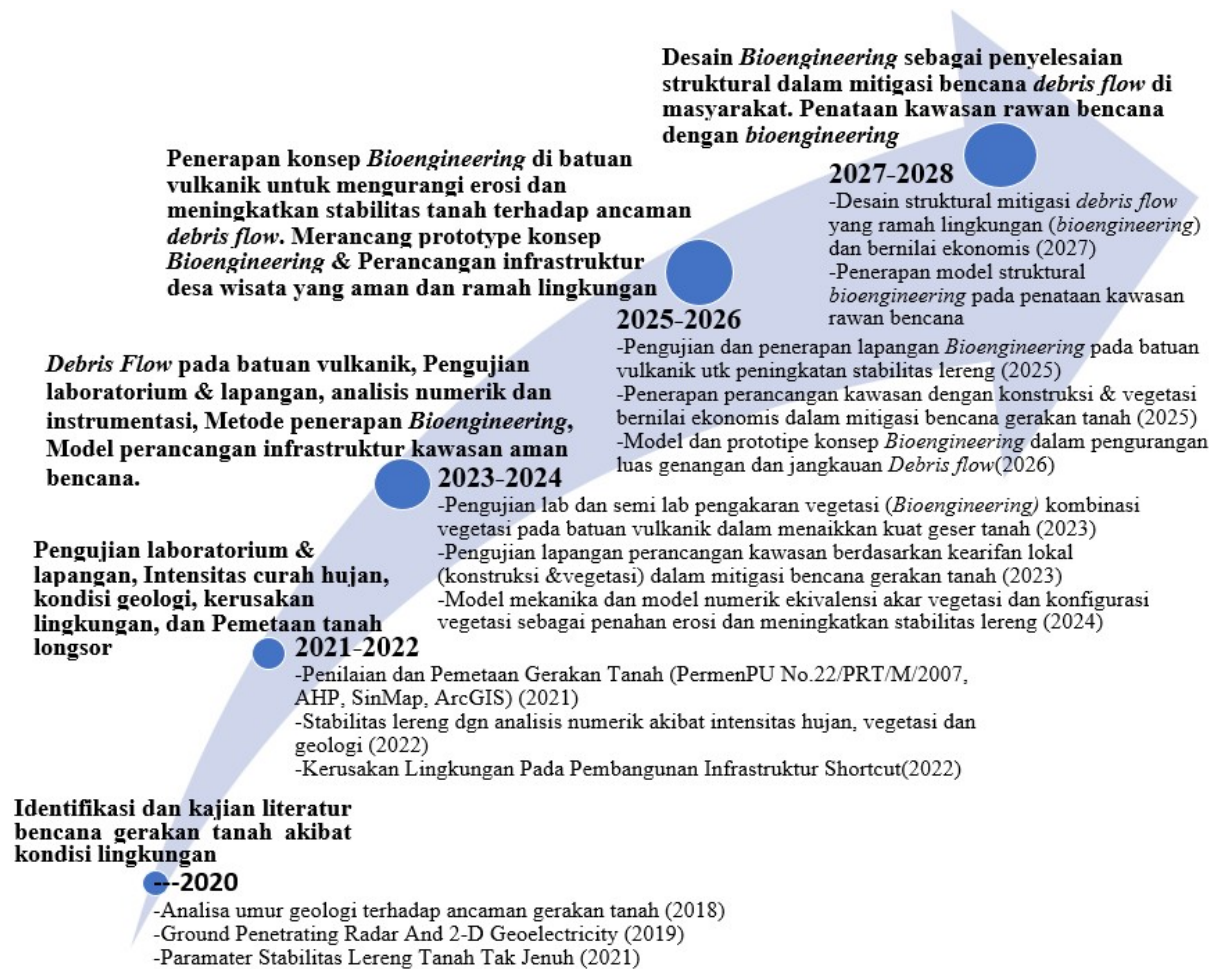
1. Persiapan untuk mengambil sampel khususnya pengujian lapangan sangat terburu-buru akibat pengambilan sampel yang cukup jauh dan berlereng.
2. penyusunan tim surve akibat kekurangan tenaga kerja.
3. Pembibitan rumput gajah dan rumput vetiver siap tanam dan pengujian sangat singkat dengan laporan 70%
4. Analisis membutuhkan waktu dan data yang valid dengan waktu pelaporan.
5. Luaran wajib Jurnal Internasional beriputasi terindeks Q3 setelah 2 bulan di submit menyatakan tidak sesuai isu, sehingga perlu mencari Jurnal lainnya yang setara dalam hal ini membutuhkan waktu.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Pemetaan dan pemodelan kerentanan tanah longsor sangat penting dalam pemahaman dan pengelolaan sumber daya lahan. Pengaruh sifat intrinsik tanah terhadap pemetaan kerentanan tanah longsor. Sudut gesek tanah ditambahkan sebagai faktor ketidakstabilan dalam bentuk PFAS (Sudut gesek puncak – Kemiringan) dan RFAS (Sudut gesek sisa – kemiringan). Parameter baru ini menggantikan dua parameter tradisional; litologi dan kemiringan [23]. Ketahanan telah menjadi parameter yang menarik untuk menilai risiko seismik atau gempa yang berhubungan dengan fungsi struktur tanah. Dalam hal ini, kerugian akibat gempa bumi dapat dikurangi secara signifikan dengan menerapkan isolasi pada dasar struktur yaitu pada tanah. Namun, desain isolasi perlu mempertimbangkan efek deformabilitas tanah dan semua efek yang terkait dengan Interaksi Struktur Tanah. Secara khusus, deformabilitas tanah akibat vegetasi dapat mengurangi secara signifikan manfaat isolasi dasar dan dengan demikian perhitungan ketahanan perlu mempertimbangkan kondisi tersebut [35]. Pertimbangkan beberapa konfigurasi terisolasi pada kondisi tanah yang berbeda dan untuk masing-masing konfigurasi tersebut, ketahanan gempa dapat dihitung.

Indikator luaran yang telah dicapai pada tahun pertama dengan publikasi yang dilakukan yaitu; efektifitas agar rumput gajah dan rumput vetifer untuk tanah vulkanik dalam mereduksi limpasan permukaan arau erosi dan meningkatkan parameter kohesi (c) dan sudut gesek internal tanah (ϕ) dengan indikator meningkatnya angka aman lereng (SF) mencapai nilai 2. Penelitian tahun ke 2, adalah untuk memenuhi road map penelitian yang sudah di

rancang tentang aliran longsor bahan rombakan (debris flow) pada tanah vulkanik dengan menerapkan konsep bioengineering seperti pada Gambar 31.

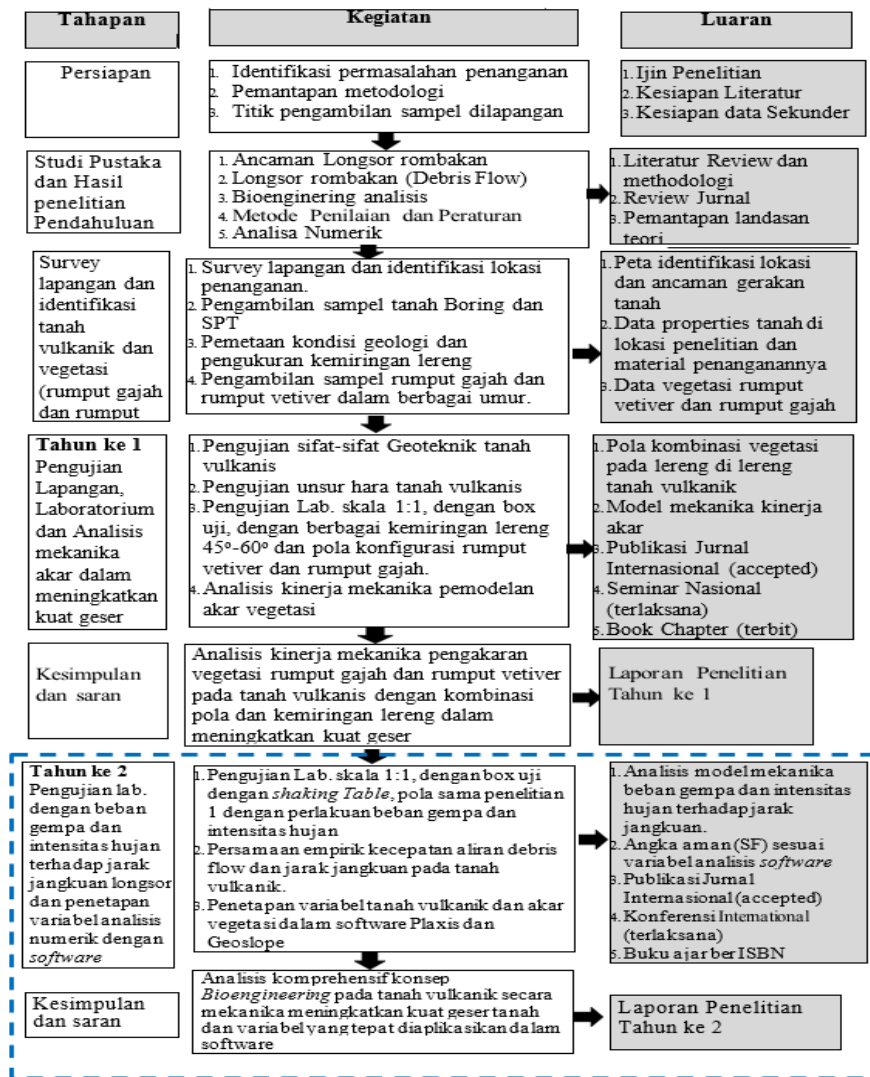


Gambar 31. Roadmap Penelitian

Penelitian dasar yang dilaksanakan selama 2 tahun, dengan kebaruan yang diharapkan per tahun dilakukan tahapan penelitian seperti Gambar 32. Penelitian pada gambar 32 kotak biru adalah lanjutan dari penelitian tahun ke 1, yang selanjutnya berfokus pada stabilitas lereng lereng tanah vulkanik akibat beban gempa serta jika sekaligus adanya hujan.

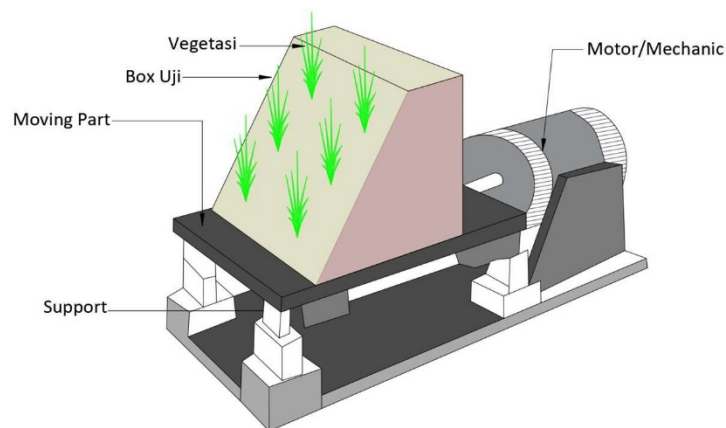
Kelanjutan penelitian di tahun ke 2 diharapkan dapat memecahkan secara komprehensif sifat fisik dan mekanis tanah vulkanik dalam meningkatkan stabilitas lereng akibat beban statis, beban dinamis dan intensitas hujan, dengan menerapkan konsep bioengineering. Konsep bioengineering ini dengan menerapkan kombinasi penanaman rumput vetiver sebagai peningkatan kuat geser tanah yg sifat akarnya turun dengan rumput gajah sebagai penahan erosi permukaan karena sifat akar yang berumpun dan juga bersifat ekonomis untuk sebagai pakan ternak utk dapat dipanen setiap 14 hari (2 minggu).

Seperti pada Gambar 32 adalah alur pikir penelitian selama 2 tahun. penelitian pada tahun ke 2 difokuskan pada pengujian model akibat beban dinamis khususnya akibat beban gempa, selanjutnya dibandingkan dengan model numeris berdasarkan temuan yang diperoleh pada penelitian tahun pertama dengan modeling percobaan seperti pada Gambar 13. Pengujian ini diharapkan dapat mengetahui perubahan fisis dan mekanis tanah vulkanik yang ditanami rumput gajah dan rumput vetiver dalam menjaga stabilitas lereng dalam kondisi hujan/jenuh air dan tidak jenuh air.



Gambar 32. Alur Pikir Penelitian Skema Penelitian Dasar 2023

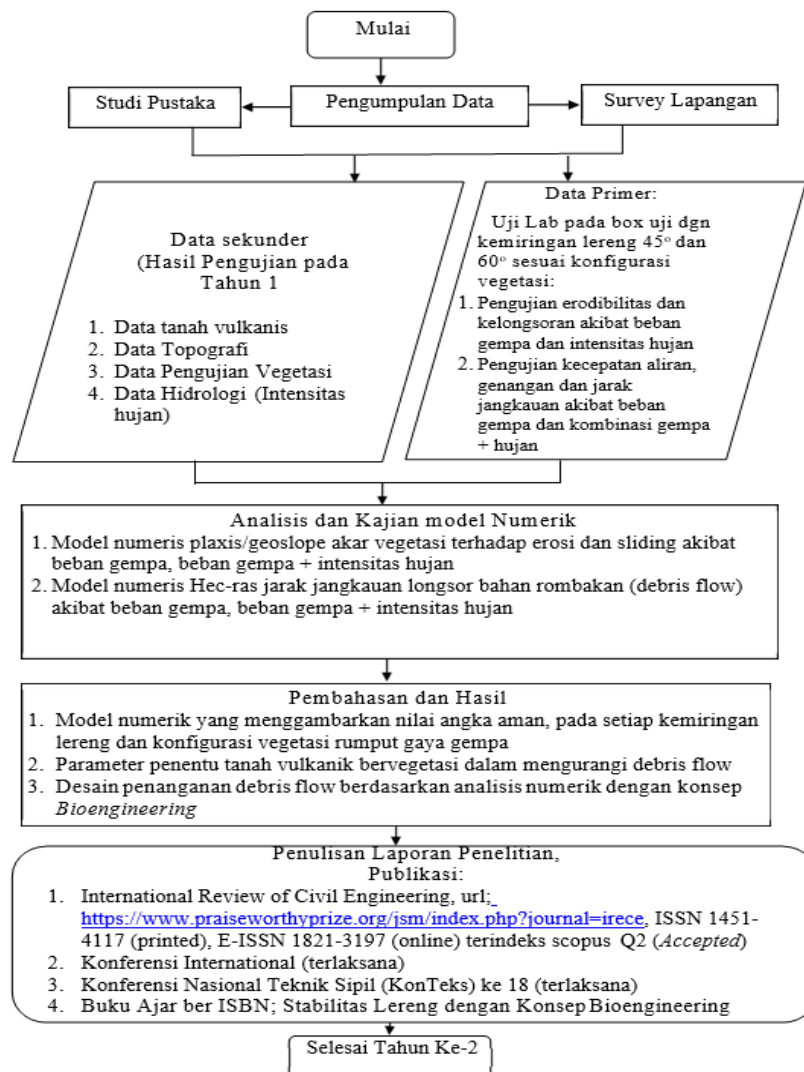
Pengujian ini dilakukan dengan pembuatan box uji yang telah ditanami vegetasi yang selanjutnya diberikan getaran dengan *shaking table* seperti Gambar 31. Pengaturan frekuensi dari *shaking table* meniru magnitudo pada historis kejadian gempa di lereng Desa Abang Batudinding. Hasil akhir yang diharapkan dapat diselesaikan ditahun kedua adalah bagaimana kinerja vegetasi rumput vetiver dan rumput gajah dalam meredam getaran yang menimbulkan gelincir dan erosi serta desain struktural penanganan debris flow dengan konsep *bioengineering*.



Gambar 31 Rencana konfigurasi pengujian gempa dengan *shaking table*

Madel uji lab pada box uji dgn kemiringan lereng 45° dan 60° dengan konfigurasi vegetasi rumput vetiver dan rumput gajah berselang-seling dengan jarak 40 cm x 40 cm. Model ini digunakan adalah untuk mengetahui *safety factor* dan deformasi dari tanah pada setiap kemiringan lereng dengan perilaku penanaman vegetasi yang merupakan kombinasi antara vetiver dan rumput gajah. Pengujian laboratorium juga dilakukan pada penelitian tahun kedua yaitu pengujian mekanika pengakaran terhadap kestabilan lereng akibat gaya gempa. Pengujian numerik juga dilakukan dengan software dengan mensimulasikan kejadian longsor pada tahun 2021 yang dipicu akibat terjadinya gempa dan hujan. Simulasi numerik telah dilakukan untuk menghitung ketahanan berbagai konfigurasi vegetasi rumput gajah dan rumput vetiver dan kemudian parameter ini dipilih sebagai acuan untuk membandingkan model isolasi pada kondisi tanah yang berbeda.

Penyelesaian penelitian di tahun ke 2, menggunakan metode seperti diagram alir penelitian seperti pada Gambar 33.



Gambar 33. Diagram Alir Penelitian Tahun ke 2

Luaran di Skema Penelitian Dasar tahun ke 2 adalah sebagai berikut.

1. Luaran wajib Jurnal *International Review of Civil Engineering*, url; <https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irece>, ISSN 2036-9913 terindeks scopus Q2,
2. Konferensi Internasional *The 4th Warmadewa International Conference (on Science, Technology, and Humanity)*, Bulan Oktober
3. Konferensi Nasional Teknik Sipil Seluruh Indonesia (KonTeks) ke 18, Labuan Bajo, NTT, Bulan November
4. Buku referensi berISBN: *Stabilitas Lereng dengan Konsep Bioengineering*, Bulan November

Strategi untuk mencapai tahun ke 2, karena beberapa material telah terpenuhi di tahun ke 1 sehingga banyak mudahan dapat dilakukan terutama tidak lagi pengujian properties tanah. Penambahan bisa dilakukan lebih awal dengan box uji yang lebih kecil dan pembuatan *shaking table*. Pelaksanaan penelitian di tahun ke 2, mengikuti rencana seperti pada Tabel 22 di bawah ini:

Tabel 22. Jadwal Penelitian Tahun ke 2

No	Nama Kegiatan	Bulan							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	Persiapan dan Pengumpulan Data								
1	Penyusunan rencana kerja penelitian	■							
2	Pengumpulan data sekunder	■							
3	Penyemaian bibit vegetasi (vetiver dan rumput gajah)	■							
4	Pembangunan alat uji/model fisik (<i>shaking table</i> dan box uji)	■	■						
B	Pengujian Model Fisik								
1	Pengujian erodibilitas dan kelongsoran akibat beban gempa dan intensitas hujan.			■	■				
2	Pengujian kecepatan aliran, genangan dan jarak jangkauan akibat beban gempa dan kombinasi gempa + hujan.			■	■				
C	Pengujian Model Numeris								
1	Model numeris plaxis/geoslope akar vegetasi terhadap erosi dan sliding akibat beban gempa, beban gempa + intensitas hujan	■	■	■	■				
2	Model numeris Hec-ras jarak jangkauan longsor bahan rombakan (debris flow) akibat beban gempa, beban gempa + intensitas hujan		■	■	■	■			
D	Analisis Data								
1	Analisis parameter penentu tanah vulkanik bervegetasi dalam mengurangi debris flow			■	■	■	■		
2	Desain penanganan debris flow berdasarkan analisis numerik dengan konsep bioengineering			■	■	■	■		
E	Penyusunan Laporan dan Luaran								
1	Penyusunan laporan kemajuan				■				
2	Penyusunan laporan akhir					■	■	■	■
3	Submitted Jurnal Internasional Bereputasi <i>International Review of Civil Engineering</i> , url; https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irece , ISSN 2036-9913 terindeks scopus Q2						■		
4	Accepted Jurnal Internasional Bereputasi							■	■
5	Konferensi/Seminar Internasional						■		
6	Konferensi Nasional Teknik Sipil (KonTeks) ke 18							■	
7	Buku Referensi: Stabilitas Lereng Tanah Vulkanik Konsep Bioengineering	■	■	■	■	■	■	■	

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Pusdalop BPBD Provinsi Bali, "Laporan Kejadian Bencana Provinsi Bali 2010-2019," Denpasar, 2020.
2. I. N. Sinarta, P. I. Wahyuni, and P. Aryastana, "Analysis of discharge and area of the debris flow based on geological structural and rainfall levels in the slopes of Mount Abang, Kintamani," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, no. 2, p. 022064, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1098/2/022064.
3. I. N. Sinarta, P. I. Wahyuni, and P. Aryastana, "Analysis of Debris Flow Hazard in Volcanic Soil by the Flood Flows Modelling (DFLOWZ) and Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph," *Int. Rev. Civ. Eng.*, vol. 14,

no. 2, pp. 112–118, 2023, doi: 10.15866/irece.v14i2.20470.

4. I. N. Sinarta and P. I. Wahyuni, “Analisis Potensi Longsor Rombakan (Debris Flow) dengan Pemodelan Aliran di Lereng Gunung Abang , Kintamani , Bali,” *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 28, no. 2, pp. 161–168, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/mkts/article/view/37157>.
5. I. N. Sinarta, A. Rifa’i, T. F. Fathani, and W. Wilopo, “Slope Stability Assessment Using Trigger Parameters and SINMAP Methods on Tamblingan-Buyan Ancient Mountain Area in Buleleng Regency, Bali,” *Geosciences*, vol. 7, no. 4, p. 110, 2017, doi: 10.3390/geosciences7040110.
6. T. Chaithong, “Analysis of Extreme Rainfall-Induced Slope Failure Using a Rainfall Infiltration-Infinite Slope Analysis Model,” *Int. J. Geomate*, vol. 13, no. 35, pp. 156–165, 2017, doi: 10.21660/2017.35.37981.
7. T. F. Fathani, D. Karnawati, and W. Wilopo, “An integrated methodology to develop a standard for landslide early warning systems,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 16, no. 9, pp. 2123–2135, 2016, doi: 10.5194/nhess-16-2123-2016.
8. M. E. Chowdhury, M. S. Islam, T. Alam, S. Barua, M. S. Shahriar, and H. Anisa, “Infiltration in vegetated soil: empirical modeling and sensitivity analysis,” *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 7, no. 1, pp. 547–559, 2021, doi: 10.1007/s40808-020-00867-x.
9. S. Shrestha, AB; GC, E; Adhikary, RP; Rai, *Resource Manual on Flash Flood Risk Management Module 3: Structural Measures*. International Centre for Integrated Mountain Development GPO Box 3226, Kathmandu, Nepal, 2012.
10. R. K. Regmi, G. Lee, and K. Jung, “Analysis on failure of slope and landslide dam,” *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 17, no. 5, pp. 1166–1178, Jun. 2013, doi: 10.1007/s12205-013-0049-y.
11. H. Faulkner, “Badlands in marl lithologies: A field guide to soil dispersion, subsurface erosion and piping-origin gullies,” *Catena*, vol. 106, pp. 42–53, 2013, doi: 10.1016/j.catena.2012.04.005.
12. K. M. N. S. Wani and B. A. Mir, “Application of Bio-Engineering for Marginal Soil Improvement: An Eco-Friendly Ground Improvement Technique,” *Indian Geotech. J.*, vol. 52, no. 5, pp. 1097–1115, 2022, doi: 10.1007/s40098-022-00639-7.
13. F. Rey *et al.*, “Soil and water bioengineering: Practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration,” *Sci. Total Environ.*, vol. 648, pp. 1210–1218, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.217.
14. D. H. Gray and R. B. Sotir, *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
15. D. Salter, J. Howell, and S. Eagle, *Bioengineering for Green Infrastructure*, 1st ed. New Zealand: Asian Development Bank, 2020.
16. J. Wan, H. Xiao, J. He, and L. Li, “Research on the Slope green and enviResearch on the sloperonment protection using dynamical game theory,” *Adv. J. Food Sci. Technol.*, vol. 5, no. 10, pp. 1292–1295, 2013, doi: 10.19026/ajfst.5.3099.
17. F. F. Badhon, M. S. Islam, M. A. Islam, and M. Z. U. Arif, “A simple approach for estimating contribution of vetiver roots in shear strength of a soil–root system,” *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1007/s41062-021-00469-1.
18. N. Kusminingrum, “Peranan Rumput Vetiver dan Bahia dalam Meminimasi Terjadinya Erosi Lereng,” *Jalan-Jembatan*, vol. 28, no. September, pp. 167–177, 2011.
19. R. Perkasa, T. F. Fathani, and S. Wijono, “Kajian perencanaan tata ruang dan wilayah kawasan rawan bencana tanah longsor di kabupaten banyumas.”
20. F. H. Ali and N. Osman, “Shear strength of a soil containing vegetation roots,” *Soils Found.*, vol. 48, no. 4, pp. 587–596, 2008, doi: 10.3208/sandf.48.587.
21. S. Aziz and M. S. Islam, “Erosion and runoff reduction potential of vetiver grass for hill slopes: A physical model study,” *Int. J. Sediment Res.*, vol. 38, no. 1, pp. 49–65, 2023, doi: 10.1016/j.ijsrc.2022.08.005.
22. S. Sarminah *et al.*, “Iklim di Indonesia merupakan iklim terhadap erosi . Selain curah hujan yang mengetahui Nilai Penting Jenis (NPJ),” *Agrifor*, vol. XVII, pp. 355–368, 2018.
23. R. Roopnarine, G. Eudoxie, and J. Opadeyi, “Soil Friction Angle as an Instability Factor in Landslide Susceptibility Modeling,” *J. Earth Sci. Geotech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 55–71, 2013.

24. M. C. Satriagasa and H. Suryatmojo, "Efektivitas Tutupan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) dalam Mitigasi Erosi Tanah oleh Air Hujan," *agriTECH*, vol. 40, no. 2, p. 141, 2020, doi: 10.22146/agritech.50290.
25. A. Shafee and A. Khoshghalb, "Particle node-based smoothed point interpolation method with stress regularisation for large deformation problems in geomechanics," *Comput. Geotech.*, vol. 141, p. 104494, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.compgeo.2021.104494.
26. K. Feng, G. Wang, D. Huang, and F. Jin, "Material point method for large-deformation modeling of coseismic landslide and liquefaction-induced dam failure," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 150, p. 106907, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.soildyn.2021.106907.
27. A. Shafee and A. Khoshghalb, "An improved node-based smoothed point interpolation method for coupled hydro-mechanical problems in geomechanics," *Comput. Geotech.*, vol. 139, p. 104415, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.compgeo.2021.104415.
28. N. Carrillo, "Simple Two and Three Dimensional Case in the Theory of Consolidation of Soils," *J. Math. Phys.*, vol. 21, no. 1–4, pp. 1–5, 1942, doi: 10.1002/sapm19422111.
29. M. S. Atkinson and P. J. L. Eldred, "Consolidation of soil using vertical drains," *Geotechnique*, vol. 31, no. 1, pp. 33–43, 1981, doi: 10.1680/geot.1981.31.1.33.
30. H. Abuel-Naga and A. Bouazza, "Equivalent diameter of a prefabricated vertical drain," *Geotext. Geomembranes*, vol. 27, no. 3, pp. 227–231, 2009, doi: 10.1016/j.geotexmem.2008.11.006.
31. Y. Nugraha, H. F., and N. I., "Analisa Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Tanaman Switchgrass," *Reka Rencana J. Online Inst. Teknol. Nas.*, vol. 2, pp. 71–82, 2016.
32. S. N. Mhaske, K. Pathak, and A. Basak, "A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory," *Catena*, vol. 172, no. September 2017, pp. 408–420, 2019, doi: 10.1016/j.catena.2018.08.039.
33. S. Para *et al.*, "Selection Of Wild Plant Species As Soil Bioengineering For Soil Slope Stability In South Kalimantan Indonesia To Overcome Shallow Landslides," vol. 3, no. 4, pp. 31–42, 2022.
34. K. S. Rao and S. K. Das, "Modelling of Slope Stability Analysis With Vegetation," in *Proceedings of International Conference on Recent Advances in Mechanics and Materials (ICRAMM-2016)*, 2016, vol. 1.
35. D. Forcellini, "The Role of Soil Structure Interaction on the Seismic Resilience of Isolated Structures," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 19, 2022, doi: 10.3390/app12199626.
1.
2.
3. dst.

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dr. Ir I NENGAH SINARTA S.T, M.T

Alamat : Jalan Sekar Sari No.99

berdasarkan Surat Keputusan Nomor 0536/E5/PG.02.00/2023 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 3538/LL8/AL.04/2023, 837/UNWAR/LEMLIT/PD-13/2023/ mendapatkan Anggaran Penelitian Model Pendekatan Mekanika Kontribusi Kombinasi Akar Vegetasi Rumput Gajah dan Rumput Vetiver pada Tanah vulkanik terhadap Ancaman longsor Bahan rombakan (Debris Flow) Sebesar 123,500,000

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan Penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	Jumlah
01	<p>Bahan</p> <p>Bibit Vetiver 100 Unit x Rp 2,000 = Rp 200,000 Bibit Rumput Gajauh Per Kg 5 Unitx Rp 25,000 = Rp 125,000 Steel Frame 2 Unit x Rp 5,000,000 = Rp 10,000,000 Box Uji Tanah 1 Unit x Rp 7,500,000 = Rp7,500,000 Rain Gauge 3 Unit x Rp 2,250,000 = Rp 6,750,000 Sprinkler Nozzle 3 Unit x Rp 500,000 = Rp 1,500,000 Selang HDPE 1 Unit x Rp 550,000 = Rp 550,000 Flow Meter 2 Unit x Rp 500,000 = Rp 1,000,000 Gate Valve 2 Unit x Rp 525,000 = Rp 1,050,000 Water Tank 650 L 1 Unit x Rp 1,500,000 = Rp 1,500,000 Soil Moisture Sensor 2 Unit x Rp 700,000 = Rp 1,400,000 Bak Infiltrasi 1 Unit x Rp 1,062,500 = Rp 1,062,500 Fertilizer 1 Unit x Rp 350,000 = Rp 350,000 ATK (Kertas A4, Kertas A3, Foto Copy) = 1 Paket x Rp 157,500 = Rp 157,500 Box Uji Tanah 1 Unit x Rp 7,500,000 = Rp7,500,000 ATK (Kertas A4, Foto Copy) = 1 Paket x Rp 162,160 = Rp 162,160</p>	40,807,160
02	<p>Pengumpulan Data</p> <p>Uang Harian Rapat 11 OH x Rp 50,000= Rp 550,000 Komsumsi Rapat 28 OH x Rp 20,000 = Rp 560,000 Petugas Surve 90 OH x Rp 80,000 =Rp 7,200,000 Penginapan petugas surve 90 OH x Rp 150,000 = Rp 13,500,000 Transport ke lapangan (Denpasar-Bangli) 24 OK x Rp 200,000 = Rpb 4,800,000 Uang Harian Rapat 17 OH x Rp 50,000= Rp 850,000 Komsumsi Rapat 42 OH x Rp 20,000 = Rp 840,000</p>	28,300,000
03	<p>Analisis Data(Termasuk Sewa Peralatan</p> <p>Boring 1 titik 1unit x Rp 15,000,000 = Rp 15,000,000 SPT 1 titik tiap 1 m 1unit x Rp 1,500,000 = Rp 1,500,000 Biaya analisis metode</p>	34,000,000

	<p>pemeliharaan vegetasi 1 P x Rp 2,000,000 = Rp 2,000,000 pengujian propertis tanah 1 unit x 1,500,000 = Rp 1,500,000 Biaya analisis hujan dan infiltrasi 1 P x Rp 2,000,000 = Rp 2,000,000 Biaya analisis Hasil model fisik 1P x Rp 2,000,000 = Rp 2,000,000 Pompa Air 1unit x Rp 525,000 = Rp 525,000 Alat Ukur Kekuatan Geser Tanah Torsional Vane Shear Tester 1 unit x Rp 370,000 = Rp 370,000 Biaya analisis metode pemeliharaan vegetasi 1 P x Rp 1,500,000 = Rp 1,500,000 Pengujian propertis tanah 2 unit x 1,500,000 = Rp 3,000,000 Biaya analisis hujan dan infiltrasi 1 P x Rp 1,500,000 = Rp 1,500,000 Biaya analisis Hasil model fisik 1P x Rp 1,500,000 = Rp 1,500,000 Pompa Air 1unit x Rp 975,000 = Rp 975,000 Alat Ukur Kekuatan Geser Tanah Torsional Vane Shear Tester 1 unit x Rp 630,000 = Rp 630,000</p>	
04	<p>Pelaporan, Luaran Wajib dan Luaran Tambahan Publikasi artikel di Jurnal Internasional Bereputasi 1 Paket x Rp 1,800,000 = Rp1,800,000 Publikasi artikel di Jurnal Internasional Bereputasi (Webinar WICSSTH, Artikel Konferensi Nasional Teknik Sipil 17, Tiket Pesawat Pulang Pergi, Hotel, Pembayaran Geomate) 1 Paket x Rp 18,192,840 = Rp 18,592,840</p>	20,392,840
05	Lain-lain	0
	Jumlah	123,500,000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan Penelitian dimaksud.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Denpasar, 21-12-2023



Ketua,

(Dr. Ir I NENGAH SINARTA S.T, M.T)

NIP/NIK 5171020207700002