

ANALISIS STABILITAS TANAH RAWA TERHADAP *EMBANKMENT* JALAN TOL MANADO BITUNG DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN YANG DIPADUKAN DENGAN ABU TERBANG (*FLY ASH*)

Wiliam Nico Gunawan

Fabian J. Manoppo, Alva Sarajar

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: wiliamg@ymail.com

ABSTRAK

Pada umumnya dalam stabilisasi Tanah dilakukan dengan metode kompaksi atau penambahan material seperti semen dan abu terbang (*fly ash*). Dalam penelitian ini dilakukan stabilisasi terhadap Tanah rawa dengan menggunakan semen yang dipadukan dengan abu terbang (*fly ash*). semen merupakan material hasil dari industri yang biasanya digunakan dalam pelaksanaan konstruksi beton sedangkan abu terbang (*fly ash*) merupakan material dari limbah industri pembakaran batubara dan dapat mencemarkan lingkungan jika tidak dipergunakan secara bijak. semen dan abu terbang, keduanya dapat digunakan untuk perbaikan sifat mekanik dari tanah, karena keduanya memiliki sifat sebagai perekat yang baik.

Penelitian ini mengambil tanah rawa yang berada pada pembuatan jalan tol Manado-Bitung dengan menggunakan 4% campuran semen dari berat sampel dan divariasikan dengan 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% abu terbang (*fly ash*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan peningkatan daya dukung tanah dan dapat menahan beban *embankment* dan jalan tol Manado-Bitung.

Kata kunci: stabilisasi, abu terbang (*fly ash*), semen, tanah rawa

PENDAHULUAN

Latar belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang industri yang semakin pesat mengakibatkan penggunaan kendaraan bermotor meningkat tajam, akibatnya jalur transportasi Manado-Bitung menjadi semakin padat. Waktu perjalanan yang diperlukan bisa mencapai dua kali lipat dari waktu perjalanan biasanya. Pemerintah mengambil kebijakan untuk membuat jalan alternatif untuk mengatasi masalah ini, yaitu dengan membangun Jalan Tol Manado-Bitung.

Dalam pengerjaan Jalan Tol Manado-Bitung, ditemukan masalah dalam pelaksanaan pembuatan *embankment* (timbunan) jalan yang berada tepat pada area tanah rawa dengan daya dukung yang rendah. Tinggi *embankment* yang diperlukan untuk mencapai trase jalan adalah setinggi 15 meter dan menimbulkan pembebanan yang sangat besar terhadap tanah rawa tersebut, sehingga mengakibatkan pembuatan *embankment* menjadi tidak aman.

Dalam penelitian ini akan dilakukan stabilisasi terhadap tanah rawa tersebut dengan menambahkan material bersifat *pozzolan* yang dapat menghasilkan proses sementasi, yaitu abu

terbang (*fly ash*) dan semen *Portland*. Abu terbang merupakan limbah industri pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan, sedangkan semen *Portland* merupakan bahan hasil industri yang biasanya digunakan dalam pembuatan bangunan atau konstruksi perkerasan jalan. Proses Hidrasi (*cementitious*) yang terjadi ketika sampel tanah dicampurkan dengan abu terbang atau dengan semen *Portland* akan menyebabkan peningkatan daya dukung tanah.

Rumusan Masalah

Terdapat masalah dalam pembuatan *embankment* jalan tol Manado-Bitung pada area tanah rawa yang memiliki daya dukung tanah yang rendah. Oleh karena itu perlu adanya usaha untuk meningkatkan daya dukung tanah seperti stabilisasi tanah dengan menambahkan material yang bersifat *pozzolan*.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah rawa dengan menstabilisasikan tanah rawa dengan menggunakan material bersifat *pozzolan*.

Manfaat Penelitian

1. Dapat menjadi salah satu solusi dalam menyelesaikan masalah pembuatan *embankment* jalan tol Manado-Bitung pada area tanah rawa.
2. Dapat menjadi referensi dalam melaksanakan stabilisasi tanah dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*) dan semen *Portland*.

Batasan Masalah

1. Material *pozzolan* yang digunakan adalah semen 3 roda tipe 1 dan abu terbang (*fly ash*) kelas C dari PLTU Amurang.
2. Sampel tanah yang digunakan adalah tanah rawa pada area pembuatan *embankment* jalan tol Manado-Bitung pada STA 0+500
3. Pengambilan sampel tanah pada kedalaman 1.0-1.5 meter dari permukaan tanah rawa.
4. Prosedur percobaan menggunakan standar ASTM
5. Variasi penambahan material *pozzolan* yang digunakan sebesar 4% semen *Portland* dan 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% abu terbang (*fly ash*).
6. Pemodelan *embankment* jalan tol menggunakan program SLIDE 5.0.
7. Metode analisis stabilitas lereng yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode bishop yang disederhanakan, metode janbu yang disederhanakan dan metode kesetimbangan batas umum.
8. Reaksi kimia yang terjadi pada tanah yang dicampurkan dengan semen dan abu terbang (*fly ash*) tidak di bahas.
9. Pelaksanaan di lapangan tidak dibahas pada penelitian ini.

LANDASAN TEORI

Stabilisasi Tanah

Stabilitas tanah merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk mendapatkan standar tanah yang diperlukan dalam pengerjaan suatu konstruksi bangunan. Stabilitas tanah terbagi menjadi dua macam.

1. Stabilisasi mekanik seperti pemadatan tanah langsung, penambahan tiang pancang, atau penggunaan geotekstil.
2. Stabilisasi menggunakan zat kimia seperti semen, kapur, abu terbang (*fly ash*), dan bitumen.

Stabilisasi tanah bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik dari tanah seperti meningkatkan kuat geser tanah, mengurangi deformasi, memberikan volume yang stabil yaitu dengan mengontrol batas susut dan batas memuai dari tanah, mengurangi permeabilitas tanah, serta meningkatkan ketahanan dari tanah yaitu menghalangi untuk terjadi degradasi pada agregat tanah.

Semen Portland

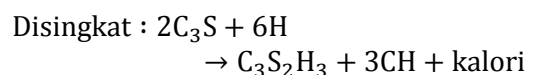
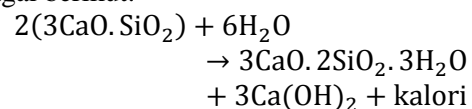
Semen merupakan bahan pengikat yang biasanya digunakan dalam pembuatan suatu konstruksi beton. Semen Portland merupakan istilah dari semen hidrolik. Dinamakan semen hidrolik dikarenakan ketika semen dicampurkan dengan air akan terjadi proses hidrasi (mengeras) dan menjadi suatu massa yang padat dan memiliki kuat tekan.

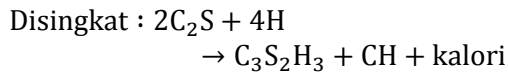
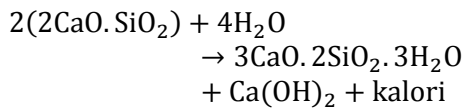
Dalam penelitian ini hanya menggunakan Semen Portland Tipe I. susunan kimia Semen Portland tipe I dapat dilihat dari tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Semen Portland Tipe I

Senyawa	Nama Senyawa	Presentase
CaO	Kapur	63
SiO ₂	Silika	22
Al ₂ O ₃	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	Oksida Besi	2,5
MgO	Magnesia	2,6
K ₂ O	Oksida Kalium	0,6
Na ₂ O	Oksida Natrium	0,3
SO ₂	Oksida Belerang	2,0
CO ₂	Oksida Karbon	-
H ₂ O	Air	-

Proses hidrasi pada semen terjadi mulai dari bagian terluar semen yang pertama kali bersentuhan dengan air, kemudian secara bertahap terhidrasi sampai ke bagian inti dari semen. Proses hidrasi pada semen sangatlah kompleks, sehingga tidak semua reaksi kimia dapat diketahui secara rinci. Persamaan reaksi kimia untuk Trikalium Silikat (C₃S) dan Dikalium Silikat (C₂S) adalah sebagai berikut.





Reaksi kimia $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ biasa disebut sebagai *tobermorite* yang berbentuk gel dan relatif panas. *Tobermorite* merupakan senyawa yang memberikan daya rekat pada semen.

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan limbah padat yang terbentuk dari hasil sisa pembakaran batu bara. Abu terbang merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan mineral pada batu bara akibat pembakaran yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan uap. Abu terbang bisa didapatkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Abu terbang dibedakan menjadi 3 jenis (berdasarkan ASTM C 618), yaitu:

1. Abu Terbang Kelas C

Abu Terbang tipe ini disebut juga dengan istilah *high calcium fly ash* dikarenakan mengandung kalsium oksida (CaO) lebih dari 10% dan dihasilkan dari pembakaran sub bitumen atau batu bara muda. tipe ini memiliki sifat sementasi dan bersifat *pozzolan*.

2. Abu Terbang Kelas F

Abu terbang tipe ini disebut juga dengan istilah *low calcium fly ash* dikarenakan mengandung kalsium oksida (CaO) kurang dari 10% dan dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara. tipe ini tidak memiliki sifat sementasi dan bersifat *pozzolan*.

3. Abu Terbang Kelas N

Abu terbang tipe ini merupakan material alam yang dihasilkan dari proses pembakaran maupun tidak melalui proses pembakaran. contohnya tanah diatomic, *opaline chert*, *shales*, tuff dan abu vulkanik. Tipe ini memiliki sifat *pozzolan* yang baik.

Reaksi *pozzolan* merupakan perubahan sifat dari suatu material yang memiliki senyawa silika dan alumina yang pada awalnya tidak memiliki sifat sementasi, akan tetapi karena bentuknya yang halus dan dengan adanya air (H_2O) maka senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan membentuk proses sementasi.

Pada abu terbang tipe F tidak memiliki kalsium yang besar sehingga tidak memiliki sifat sementasi, diperlukan senyawa kalsium tambahan untuk bisa memiliki sifat sementasi. Material yang biasa digunakan untuk menambahkan kalsium pada abu terbang tipe F yaitu semen dan kapur. Sedangkan pada abu terbang tipe C sudah memiliki kalsium yang cukup sehingga memiliki sifat sementasi dengan sendirinya.

Komposisi kimia pada semen, abu terbang tipe C dan abu terbang tipe F bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia Pada Semen, Abu Terbang Tipe C dan F

No	Material	Komposisi Kimia (%)		
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
1	Semen Portland	60-70	17-25	3-8
2	Abu Terbang Tipe C	12-29	44-64	20-30
3	Abu Terbang Tipe F	1-7	45-64	20-30

(Sumber dari Neville-1981 dan American Concrete Institute 1987b)

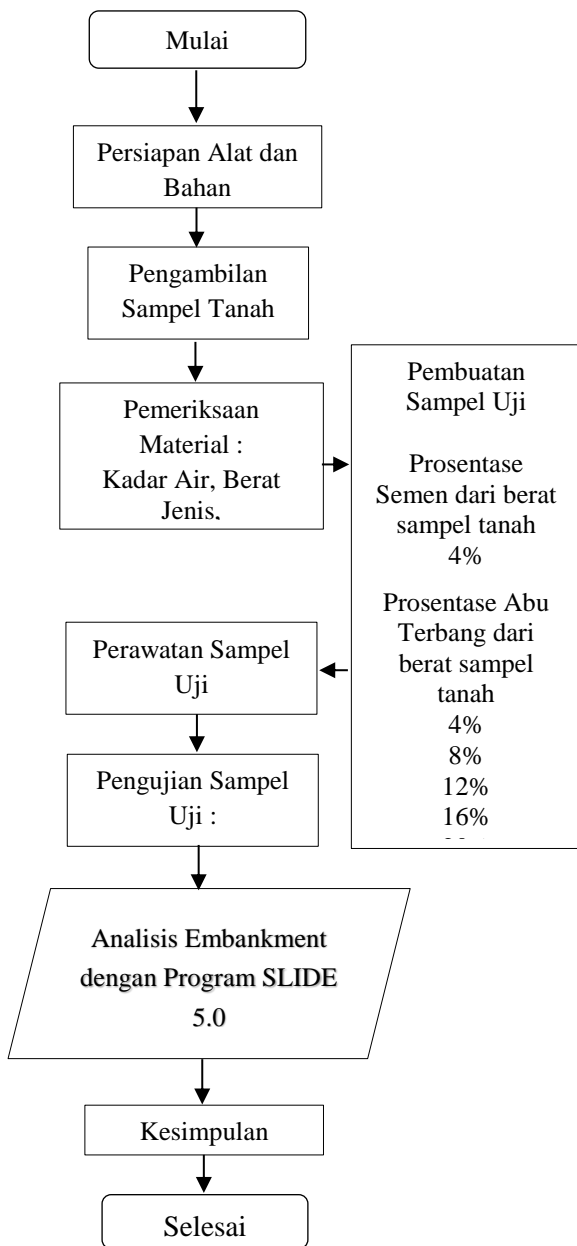
METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah Penelitian

1. Pengambilan data sekunder seperti data standard penetrometer test.
2. Pengambilan sampel tanah pada kedalaman 1,0-1,5 meter dengan menggunakan sekop dan cangkul. Sampel tanah di ambil secara terganggu
3. Persiapan alat dan bahan untuk pengujian laboratorium.
4. Menghilangkan kadar air tanah kondisi terganggu dengan cara di jemur.
5. Pemeriksaan kadar air pada tanah
6. Pemeriksaan berat jenis tanah.
7. Pemeriksaan analisa saringan.
8. Pengujian pepadatan tanah untuk mendapatkan kadar air optimum dan berat isi kering tanah.
9. Pembuatan sampel campuran tanah ditambahkan dengan 4% semen dengan variasi 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% abu terbang.

10. Pengujian CBR untuk penambahan 4% semen dan variasi 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% abu terbang pada waktu perendaman 4 hari.
11. Pengujian Triaxial untuk penambahan 4% semen dan variasi 4%, 8%, 12%, 16% dan 20% abu terbang pada waktu perawatan 2 hari.
12. Pengolahan dan pembahasan hasil pengujian laboratorium
13. Pemodelan *embankment* jalan tol menggunakan program SLIDE berdasarkan data tanah setelah diperkuat.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

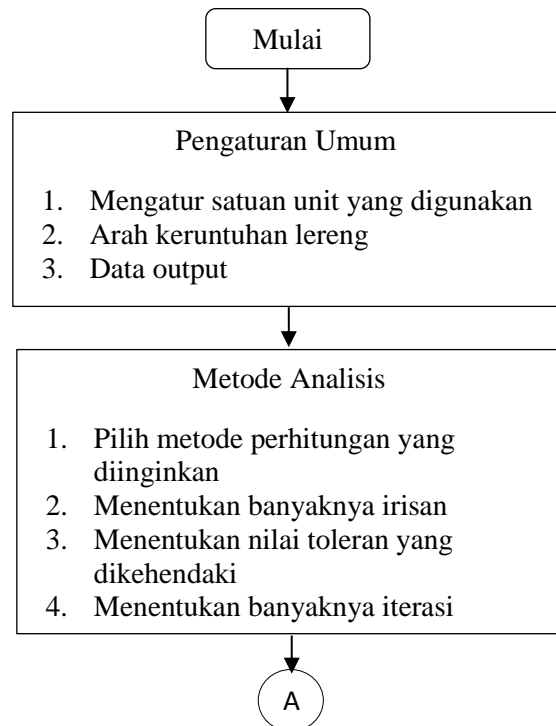
Prosedur Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan SLIDE

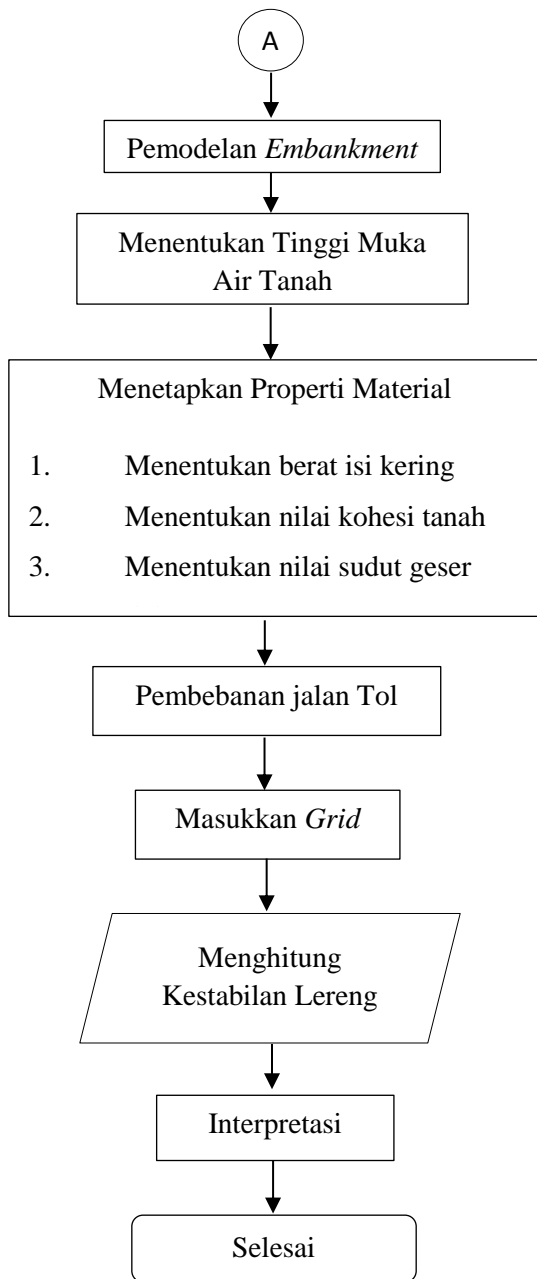
Pada penelitian di laboratorium yang telah dilaksanakan, mendapatkan hasil nilai dari parameter-parameter tanah yang di stabilisasi berupa nilai kohesi tanah, sudut geser tanah dan berat isi kering tanah. Ketiga parameter tersebut diperlukan untuk perhitungan kestabilan lereng pada program SLIDE.

Berdasarkan data sekunder yang didapatkan, diketahui dimensi dari *embankment*, beban jalan tol Manado-Bitung yang direncanakan dan kedalaman tanah rawa. Data-data tersebut diperlukan untuk pemodelan lereng pada program SLIDE. Berikut data-data sekunder yang didapatkan.

1. Lebar jalan tol = 60 meter
2. Tinggi *embankment* = 15 meter dari permukaan tanah rawa
3. Kemiringan lereng = 1:1
4. Beban jalan tol = 600 kN/m
5. Kedalaman tanah rawa = 10 meter

Metode perhitungan kestabilan lereng menggunakan metode bishop yang disederhanakan, metode janbu yang disederhanakan dan metode kesetimbangan dasar umum. Berdasarkan ketiga metode tersebut akan memberikan nilai faktor keamanan yang dapat dibandingkan antara keduanya. Berikut flow chart pengoperasian program SLIDE 5.0.





Gambar 2. Flow Chart Slide

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian yang diperoleh berdasarkan pengujian di laboratorium dan analisis kestabilan lereng dengan pemodelan menggunakan program SLIDE menghasilkan nilai faktor keamanan dari *embankment* yang direncanakan pada area tanah rawa yang sudah di stabilisasi dengan menggunakan campuran semen dan abu terbang (*fly ash*).

Hasil Pengujian di Laboratorium

Telah dilakukan pengujian di laboratorium Geoteknik fakultas teknik UNSRAT untuk mendapatkan sifat fisik dan sifat mekanik dari sampel tanah rawa yang akan di stabilisasi. Berikut pengujian yang telah dilaksanakan.

Pengujian Kadar Air tanah

Pada pengujian ini didapatkan hasil persentase kadar air sisa yang berada di dalam sampel tanah rawa yang telah diambil dan dijemur. Berikut data yang diperoleh.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kadar Air Tanah

No	Parameter	A	B
1	Berat Cawan (gram)	5.67	5.22
2	Berat Cawan + Tanah basah (gram)	59.67	58.33
3	Berat Cawan + Tanah Kering (gram)	59.5	58.16
4	Berat Air (gram)	0.17	0.17
5	Berat Tanah Kering (gram)	53.83	52.94
6	Kadar Air (%)	0.3158	0.3211
7	Kadar Air Rata-Rata (%)	0.3184636	

Pengujian Berat Jenis Tanah

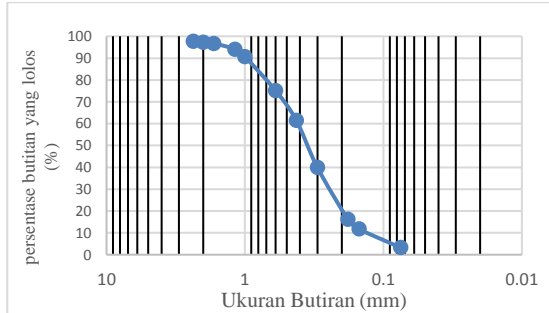
Pada pengujian ini didapatkan nilai berat jenis dari tanah. Berikut data yang diperoleh dengan persamaan untuk berat jenis.

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

No	Parameter	A	B
1	Berat Piknometer (gram)	33.31	31.85
2	Berat Piknometer + Tanah (gram)	43.39	41.87
3	Berat Piknometer + Tanah + Air (gram)	136.67	137.07
4	Berat Piknometer + Air (gram)	130.13	130.45
5	Berat Jenis (gram/cm ³)	2.8474	2.9470
6	Berat Jenis Rata-Rata (gram/cm ³)	2.89725	

Pengujian Analisa Butiran Tanah

Pada pengujian ini didapatkan jumlah tertahan dari masing masing nomor ayakan untuk mendapatkan gradasi dari butiran tanah yang akan menunjukkan jenis dari tanah yang di uji. Berikut data yang diperoleh.



Gambar 3. Grafik kurva gradasi

Dari grafik kurva gradasi di atas didapatkan nilai dari $D_{60} = 0.41606$ mm, $D_{30} = 0.24833$ mm dan $D_{10} = 0.14937$ mm. Selanjutnya hitung koefisien keseragaman (CU) dan koefisien gradasi (CC) dengan persamaan berikut.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,41606}{0,14937} = 2.78538 < 6.0$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{0,24833^2}{0,41606 \times 0,14937} = 0,99231 \approx 1,000$$

Kesimpulan dari hasil di atas tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah berpasir dengan gradasi buruk. Persentase jenis butiran tanah sebagai berikut.

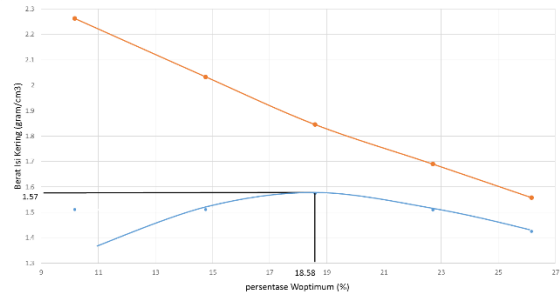
Tabel 6. Persentase Jenis Sampel Tanah

No	Jenis Tanah	Persentase
1	Kerikil	2.77
2	Pasir Sedang	35.800
3	Pasir Halus	58.200

Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan jenis tanah lebih cenderung berpasir.

Pengujian Pemadatan Tanah

Pada pengujian ini didapatkan nilai berat isi kering maksimum (γ_{Dry}) dan kadar air optimum (W_{Opt}). Berikut grafik yang menunjukkan berat isi kering dan $W_{Optimum}$.



Gambar 4. Grafik hubungan berat isi kering dan $W_{Optimum}$

Dari Grafik kurva hubungan antara berat isi kering dan $W_{Optimum}$ tanah didapatkan nilai untuk berat isi kering (γ_{Dry}) sebesar 1,57 gram/cm³ dan nilai $W_{Optimum}$ sebesar 18,58%.

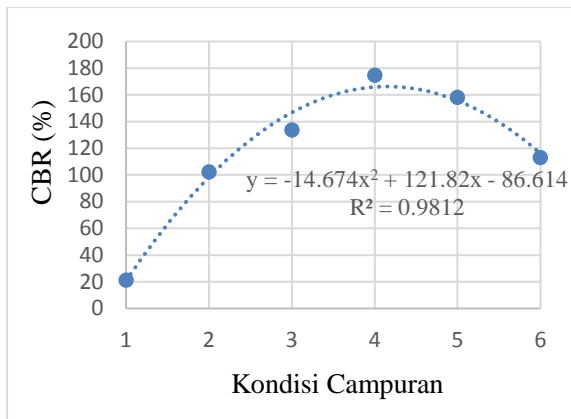
Pengujian California Bearing Ratio (CBR)

Pada pengujian ini didapatkan nilai CBR terendam dari tanah setelah di stabilisasi menggunakan semen dan abu terbang (*fly ash*). Berikut data yang didapatkan.

Tabel 7. Hasil Nilai CBR Terendam

No	Kondisi campuran	Nilai CBR (%)	
		0.1"	0.2"
1	tanah asli (semen 0%, FA 0%)	14.46775	21.21937
2	kondisi 1 (semen 4%, FA 4%)	81.0194	102.2388
3	kondisi 2 (semen 4%, FA 8%)	114.7775	133.7463
4	kondisi 3 (semen 4%, FA 12%)	174.5775	172.97
5	kondisi 4 (semen 4%, FA 16%)	146.6065	158.1807
6	kondisi 5 (semen 4%, FA 20%)	79.09037	113.17

Dari hasil data di atas diambil nilai CBR tertinggi pada masing-masing kondisi campuran, kemudian dihubungkan dengan treadline polynomial untuk mendapatkan prediksi dari nilai CBR setelah di stabilisasi menggunakan semen dan abu terbang (*fly ash*). Hasilnya dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 5. Grafik Kurva Prediksi Nilai CBR Setelah di Stabilisasi

Berdasarkan grafik kurva prediksi nilai CBR setelah di stabilisasi didapatkan persamaan pangkat dua untuk bisa memprediksikan peningkatan nilai CBR setelah tanah di stabilisasi menggunakan semen dan abu terbang (*fly ash*). Persamaannya sebagai berikut dengan nilai R^2 sebesar 0.9812.

$$y = -14,674x^2 + 121,82x - 86,614$$

Kemudian nilai CBR dikoreksi berdasarkan persamaan yang telah didapatkan. Hasilnya dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 8. Nilai CBR Terkoreksi

No	Kondisi campuran	Nilai CBR (%)
1	tanah asli (semen 0%, FA 0%)	20.532
2	kondisi 1 (semen 4%, FA 4%)	98.33
3	kondisi 2 (semen 4%, FA 8%)	146.78
4	kondisi 3 (semen 4%, FA 12%)	165.882
5	kondisi 4 (semen 4%, FA 16%)	155.636
6	kondisi 5 (semen 4%, FA 20%)	116.042

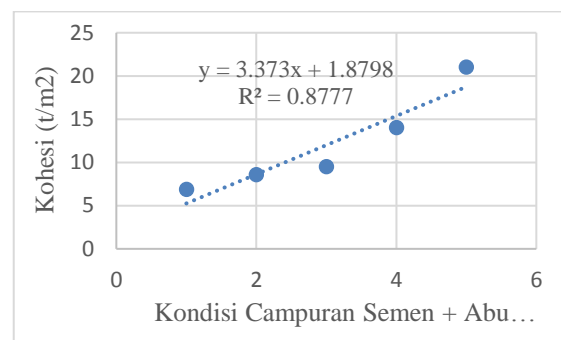
Pengujian Triaxial (Unconsolidated Undrained)

Pada pengujian ini didapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam pada sampel tanah yang di stabilisasi menggunakan semen dan abu terbang (*fly ash*) dengan variasi campuran yang ada. Data yang didapatkan bisa dilihat pada tabel berikut.

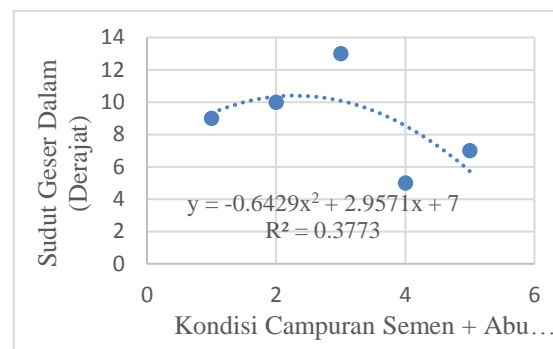
Tabel 9. Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Tanah yang di Stabilisasi

KONDISI TANAH	E (t/m ²)	c (t/m ²)	φ (derajat)
1 (SEMEN 4%, FA 4%)	10.49293	6.8695	9
2 (SEMEN 4%, FA 8%)	16.48349	8.5895	10
3 (SEMEN 4%, FA 12%)	29.28837	9.492	13
4 (SEMEN 4%, FA 16%)	20.8987	14.028	5
5 (SEMEN 4%, FA 20%)	25.25864	21.0154	7

Berikut grafik hubungan antara kondisi campuran semen dan abu terbang (*fly ash*) dengan nilai kohesi dan sudut geser tanah.



Gambar 6. Grafik Kurva Hubungan Antara Kondisi Campuran dengan Nilai Kohesi



Gambar 7. Grafik Kurva Hubungan Antara Kondisi Campuran dengan Nilai Sudut Geser Tanah

Berdasarkan kedua grafik diatas, didapatkan persamaan linier untuk prediksi nilai kohesi tanah yang di stabilisasi dan persamaan pangkat dua untuk prediksi nilai sudut geser dalam.

Persamaan yang didapat sebagai berikut.

$$c = 3,373x + 18,798$$

$$\phi = -0,6429x^2 + 2,9571x + 7$$

Kemudian nilai kohesi dan sudut geser dalam di koreksi berdasarkan persamaan yang telah didapatkan. Berikut nilai kohesi dan sudut geser dalam terkoreksi.

Tabel 10. Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah Terkoreksi

KONDISI TANAH	c (t/m2)	φ (derajat)
1 (SEMEN 4%, FA 4%)	5.2528	9.3142
2 (SEMEN 4%, FA 8%)	8.6258	10.3426
3 (SEMEN 4%, FA 12%)	11.9988	10.0852
4 (SEMEN 4%, FA 16%)	15.3718	8.542
5 (SEMEN 4%, FA 20%)	18.7448	5.713

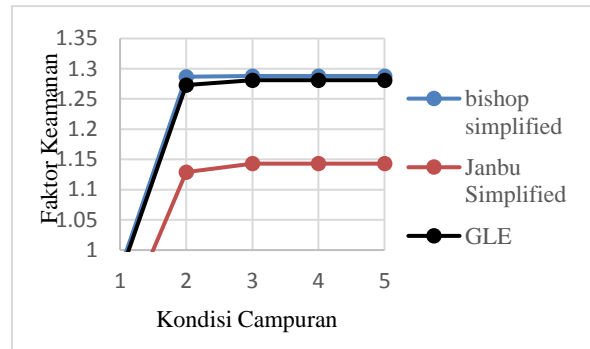
Hasil Analisis Pemodelan Menggunakan SLIDE

Setelah mengetahui sifat mekanik dari tanah rawa yang telah di stabilisasi menggunakan semen dan abu terbang (*fly ash*), kemudian dilanjutkan dengan pemodelan *embankment* dengan menggunakan program SLIDE untuk menghitung faktor keamanannya. Dalam perhitungan kestabilan lereng digunakan dua metode perhitungan sebagai pembanding, yaitu metode bishop yang disederhanakan (*bishop simplified*), metode janbu yang disederhanakan (*janbu simplified*) dan metode kesetimbangan batas umum (*generalized limit equilibrium*). Berikut hasil dari analisis kestabilan lereng.

Tabel 11. Nilai Faktor Keamanan Lereng

No	Kondisi Campuran	Faktor Keamanan		
		Bishop simplified	janbu simplified	GLE
1	semen 4%, FA 4%	0.968	0.871	0.959
2	semen 4%, FA 8%	1.287	1.129	1.273
3	semen 4%, FA 12%	1.288	1.143	1.281
4	semen 4%, FA 16%	1.288	1.143	1.281
5	semen 4%, FA 20%	1.288	1.143	1.281

Berikut grafik perbandingan antara metode bishop yang disederhanakan, metode janbu yang disederhanakan dan metode kesetimbangan batas umum (GLE).



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Faktor Keamanan Metode Bishop Simplified dengan Metode Janbu

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menstabilisasi tanah rawa dengan menggunakan material *pozzolan* yaitu semen dan abu terbang (*fly ash*) demi meningkatkan daya dukung dari tanah rawa agar mampu menahan beban *embankment* dan beban jalan raya tol Manado-Bitung. Hasilnya tanah rawa dapat distabilisasi dengan baik sehingga daya dukung dari tanah rawa tersebut meningkat dan mampu untuk menahan pembebanan *embankment* dan jalan tol. Berikut beberapa hal yang menjadi kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Nilai kohesi dari tanah rawa setelah di stabilisasi meningkat secara drastis, sehingga menyebabkan tanah rawa mampu menahan beban *embankment* dan jalan tol yang besar.
2. Untuk mendapatkan nilai dari kohesi dan sudut geser tanah setelah distabilisasi dengan menggunakan campuran semen dan abu terbang (*fly ash*), dapat diprediksikan dengan persamaan yang didapatkan. Persamaan linier untuk nilai kohesi adalah $c = 3,373x + 18,798$ dan persamaan pangkat dua untuk nilai sudut geser dalam adalah $\phi = -0,6429x^2 + 2,9571x + 7$.
3. Nilai CBR terendam dari tanah rawa setelah di stabilisasi meningkat secara drastis. Hal ini menyebabkan tanah rawa setelah distabilisasi menggunakan campuran semen dan abu

- terbang (*fly ash*) menjadi tanah yang tergolong sangat kuat.
4. Untuk mendapatkan nilai dari CBR terendam setelah distabilisasi dengan menggunakan campuran semen dan abu terbang (*fly ash*), dapat diprediksikan dengan persamaan yang didapatkan. Persamaan pangkat dua untuk nilai CBR terendam adalah $CBR = -14,674x^2 + 121,82x - 86,614$.
 5. Nilai faktor keamanan yang didapatkan setelah tanah distabilisasi menggunakan campuran semen dan abu terbang (*fly ash*) pada semua kondisi campuran adalah lebih dari satu. Hal ini menunjukkan kestabilan lereng dikatakan aman.
 6. Perbandingan nilai faktor keamanan lereng berdasarkan metode bishop yang diseder-

hanakan dengan metode janbu, tidak memiliki gap yang sangat besar. Nilai faktor keamanan lereng dengan metode bishop yang disederhanakan sedikit lebih tinggi dari nilai faktor keamanan lereng dengan metode janbu. Namun tetap keduanya menunjukkan nilai faktor keamanan lereng yang tergolong aman.

Saran

Untuk menentukan variasi pencampuran semen dan abu terbang (*fly ash*) yang paling berpengaruh dalam menstabilisasi tanah, perlu adanya perhitungan Analysis of Variance (ANOVA). Dengan memperbanyak sampel uji akan menghasilkan data yang didapatkan semakin akurat dalam menstabilisasi tanah dengan menggunakan semen dan abu terbang (*fly ash*).

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International, 2007. *Standar Test Method for Particel Size Analysis of Soils (ASTM D 422)*. United State, ASTM International.
- ASTM International. *Standar Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (ASTM D854 – 14)*, United State, ASTM International.
- ASTM International. *Standar Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (ASTM D1557 - 12)*, United State, ASTM International.
- ASTM International. *Standar Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory Compacted Soils (ASTM D1883 – 14)*, United State, ASTM International.
- ASTM International. *Standar Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soils and Rock by Mass (ASTM D2216 – 10)*, United State, ASTM International.
- ASTM International. *Standar Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils (ASTM D2850 - 15)*, United State, ASTM International.
- Balasubramaniam Et Al, 1995. *Developments in Deep Foundations and Ground Improvement Schemes*, Balkema, Rotterdam.
- Holtz, Robert D. dan William D. Kovacs 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Look Burt G.,2014. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Table*, CRC Press/Balkema, London.
- Magdi M. E. Zumrawi 2015. *Jurnal Ilmiah: Stabilisation of Pavement Subgrade by Using Fly Ash Activated by Cement*, university of Khartoum, Khartoum, Sudan.
- Rollings Marian P. dan Raymond S. Rollings. Jr, V. T., 1996. *Geotechnical Materials In Construction*, McGraw-Hill Book. Company, New York.

Saifuddin Arief, 2008. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Irisan*, Sorowako, Sulawesi selatan.

Stevanny Gumalang, 2016. *Pengaruh Kekuatan Kadar Air dan Superplasticizer Pada Kekuatan dan Keleccakan Beton Bertulang Geopolimer Memadat Sendiri Berbasisi Abu Terbang*, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Taufan Candra Abadi, 2007. *Jurnal Ilmiah: Perbandingan Hasil Stabilisasi dengan Fly Ash dan Semen pada Tanah Ekspansif Cikampek*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.