

## **Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Campuran Abu Batu Bara Dan Abu Terbang Batu Karang Dengan Aplikasi Timbunan Tipe Urugan Tanah**

**Fergy A.E Sompie <sup>1</sup>, Fabian J Manoppo <sup>2</sup>, Oktovian B.A Sompie <sup>3</sup>**

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program studi Teknik Sipil Pasca Sarjana Unsrat

<sup>2),3)</sup> Staf Pengajar Program studi Teknik Sipil Pasca Sarjana Unsrat

e-mail :

### **ABSTRACT**

The expansive soil is a soil which clay content has a potential for shrinkage due to changes in water content, causing changes in the volume of soil. The expansive soil is a problematic type of soil in a construction project, especially for the construction of a base ground of a building because it contains montmorillonite minerals with the largest surface area and is very easy to absorb water. The ground with high shrinkage value, the water becomes very influential to the behavior physical and mechanical soils. Therefore, in conducting the construction planning, investigation or soil investigation must be conducted in order to know the physical and mechanical properties of the soil if the soil contains clay mineral that is expansive so that we are able to stabilize to increase the strength and carrying capacity of the soil. Stabilization is done by using fly ash (fly ash) coal and rocks.

The objective of this research is to obtain the shear parameter value after mixing coal fly ash and coral as well as to know the application on landfill type by using 2D plaxis program to know the value of decrease, excess pore water pressure and safety factor. The composition of the mixture used for obtaining shear parameter values is coal fly ash + ash, soil + rock fly ash and soil + coal fly ash and coral reefs of 2%, 4%, 6%, 8% respectively. For applications on the design of embankment type of soil type taken mixture composition is soil + coal fly ash, soil + fly ash rock and soil + fly ash coal and coral reef 2% and 8% respectively. The sample of the soil is taken in Warembungan Village, Pineleng District. Investigation of physical and mechanical properties of the soil is also carried out such as filter and hydrometer analysis, moisture content, specific gravity, atterberg test, consolidation test to determine the development (swelling) and CBR Laboratory.

The results showed that the addition of fly ash coal, rock and coal + corals showed the variation of cohesion values and shear angle in the increasing percentage of fly ash coal, coal and coral + coal. The original soil cohesion value is 1.72 t / m<sup>2</sup> and the inner shear angle is 11.8 °. In mixing between expansive soil + fly ash coal maximum cohesion value was found at 8% addition which was 1.90 t / m<sup>2</sup> while the shear angle value rose to 17,93 ° at 6% addition. In mixing of expansive soil + fly ash of rock the maximum cohesion value is in 2% addition which is 1.48 t / m<sup>2</sup> while the shear angle value rises to 30,10 °. In mixing of expansive soil + fly ash coal + coral maximum cohesion value is in 2% addition which is 0,58 t / m<sup>2</sup> whereas shear angle value rose to 38,80 °. For embankment applications with 0% or no mixture of decreasing values, excess pore water and safety factors are 0.312 m, 2.34 kN / m<sup>2</sup>, and 1.18, respectively. In mixing between expansive soil + fly ash coal decreased slightly on 8% variation where the value of decrease, excess pore water and safety factor were 0.35 m respectively; 0.565 kN / m<sup>2</sup>, and 1.117. In mixing between expansive soil + fly ash rocks, the decreasing value, excess pore water and safety factor increased in 2% variation respectively to 0.188 m; 0.777 kN / m<sup>2</sup>, and 1,253. In mixing of expansive soil + fly ash coal + coral, decreasing value, excess pore water and safety factor increased in 2% variation to 0.267 m respectively; 0.657 kN / m<sup>2</sup>, and 1.245. The addition of fly ash to coral reefs is more effective and efficient than coal in raising the value of soil shear strength parameter but in landfill application will be more effective if it is done the addition of both fly ash coal + coral to get smaller decrease value and safety factor greater than. It is recommended to first base soil stabilization and use better material selection for embankment to further increase the safety factor and minimize the decrease value.

**Keywords:** *expansive soil, high shrinkage, stabilization, fly ash coal, coral reef ash, safety factor*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Tanah ekspansif adalah tanah yang kandungan lempungnya memiliki potensi kembang-susut akibat perubahan kadar air sehingga menyebabkan perubahan volume tanah. Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang bermasalah dalam suatu proyek konstruksi khususnya untuk pekerjaan timbunan tanah dasar suatu bangunan karena mengandung mineral montmorillonite dengan luas permukaan yang paling besar dan sangat mudah menyerap air. Tanah dengan nilai kembang susut yang tinggi, air menjadi sangat berpengaruh sekali terhadap perilaku fisis dan mekanis tanah (Das, 1994). Sebagai material yang sangat penting dan berhubungan dengan teknologi konstruksi teknik sipil, maka pembangunan konstruksi di atas tanah ekspansif akan memiliki pengaruh yang besar, mengingat daya dukungnya yang rendah dan memiliki resiko keruntuhan yang cukup besar sehingga kurang mampu menanggung beban konstruksi yang ada di atasnya. Apabila terjadi kerusakan struktur bangunan sipil akibat pembangunan di atas tanah yang bersifat ekspansif maka akan diperlukan biaya yang besar untuk melakukan perbaikan konstruksi tersebut. Oleh karena itu dalam melakukan perencanaan konstruksi, harus dilakukan investigasi atau penyelidikan tanah agar dapat mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah dasar apabila tanah tersebut mengandung mineral lempung yang bersifat ekspansif sehingga kita mampu melakukan stabilisasi untuk menambah kekuatan dan daya dukung tanah.

Produksi abu terbang di Indonesia berkisar antara 400.000-500.000 ton/tahun (Priyatma dan Tri Utomo, 1996). Di Sulawesi Utara sudah banyak dilakukan stabilisasi tanah dengan abu terbang batubara (fly ash). Pemanfaatan abu terbang batu bara sudah banyak dilakukan karena terbukti dapat memperbaiki gradasi serta meningkatkan kekuatan tanah. Penggunaan batu bara sebagai sumber energi akan menghasilkan abu yaitu berupa abu terbang (fly ash) maupun abu dasar (bottom ash). Abu terbang (fly ash) batu bara adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara dengan

gradasi yang sangat uniform dan termasuk pozzolanic material karena mengandung bahan pozzolan seperti Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), Magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ) dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Dengan mencampur fly ash pada tanah ekspansif akan terbentuk reaksi antara kalsium yang terdapat pada fly ash dengan alumina dan silikat pada tanah sehingga memperkaya kandungan alumina dan silika pada tanah. Pemanfaatan limbah pembakaran batu bara inilah yang sangat menguntungkan karena limbah tersebut yang dihasilkan oleh industri tidak dibuang ke lingkungan sekitar sehingga menimbulkan polusi namun dimanfaatkan kembali sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif. Tidak memerlukan biaya yang besar seperti penggunaan semen, tetapi mengambil bahan atau media di alam sekitar yang harusnya dibuang atau tidak diperlukan lagi. Oleh sebab itu, abu terbang (fly ash) batubara dapat digunakan sebagai bahan kimiawi yang selain bermanfaat bagi lingkungan juga dapat dipakai untuk keperluan teknik sipil yaitu sebagai bahan campuran untuk menstabilisasi tanah lempung ekspansif.

Bahan lain yang dipertimbangkan untuk dipakai dalam proses stabilisasi adalah abu terbang batu karang. Batu karang umumnya berupa batu kapur sehingga agregat yang berasal dari batuan ini memiliki kandungan kimia berupa kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) yang paling besar sehingga masuk dalam kelompok batuan kapur. Penambahan kapur sebagai bahan additive digunakan untuk stabilisasi tanah karena adanya reaksi kimiawi antara kapur dan silika yang terdapat pada tanah, sebagai usaha untuk memberikan perbaikan pada tanah tersebut. Abu terbang didapat dari penghancuran batu karang hingga mencapai ukuran filler. Pemanfaatan batu karang yang dimaksud adalah batu karang yang sudah mati yang dapat diambil di pinggir pantai oleh masyarakat khususnya yang tinggal menetap di daerah kepulauan yang sulit memperoleh bahan untuk membangun konstruksi sipil. Sebagai contoh, di Pulau Siladen, Sulawesi Utara, masyarakat disana sulit memperoleh batu pondasi untuk keperluan pembangunan talud, dengan adanya batu karang yang telah mati dan

banyak terdapat di pinggiran pantai oleh karena terbawa arus air laut, maka masyarakat sekitar memanfaatkan batu karang tersebut untuk keperluan konstruksi, yaitu sebagai batu pondasi dan pembuatan talud.

Oleh karena akses yang terbatas sehingga diperlukan biaya yang tidak sedikit untuk membeli batu pondasi di tempat lain. Dengan pemanfaatan batu karang, masyarakat yang tinggal di pinggiran pantai atau di daerah kepulauan memperoleh kemudahan untuk menjadikan bahan tersebut sebagai bahan konstruksi tanpa mengeluarkan biaya yang mahal karena telah terbukti kekuatannya dalam mengganti material yang lain. Kandungan kapur yang terkandung pada batu karang dapat mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi penyerapan air dan pengembangan (swelling) yang diakibatkan oleh air (Hurnaeni, 2007). Oleh sebab itu, abu terbang batu karang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan untuk stabilisasi tanah lempung ekspansif.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong di antara partikel – partikel padat tersebut.

Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dan bangunan (Das, 1991). Berdasarkan asal mula pembentukannya, tanah dapat dibedakan dalam 2 (dua) kelompok besar yaitu sebagai hasil pelapukan, baik secara fisika maupun secara kimiawi dan yang lainnya berasal dari bahan organik. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, disebut tanah residual dan apabila telah berpindah tempat disebut tanah angkutan. Tanah merupakan campuran dari partikel – partikel yang terdiri dari salah satu atau semua jenis material berikut yaitu kerikil, pasir, lanau dan lempung. Secara kualitatif sifat – sifat agregat kerikil dan pasir

dinyatakan dengan istilah padat, sedang dan lepas. Sedangkan untuk lempung (*clay*) dipergunakan istilah keras, kaku sedang dan lunak.

#### Sifat – sifat Tanah

Sifat – sifat tanah terdiri dari sifat – sifat fisik (*physical properties*) dan sifat – sifat teknis (*engineering properties*). Sifat – sifat fisik antara lain mengenai berat spesifik, distribusi ukuran butiran, analisis hidrometer dan batas – batas konsistensi tanah. Sedangkan, sifat – sifat teknis antara lain diperoleh dari, pengujian UCS, CBR, konsolidasi, dan triaksial (kondisi Uncosolidated – Undrained).

#### Sifat – sifat Fisik

##### Berat Spesifik (Specific Gravity, $G_s$ )

Harga berat spesifik dari butiran tanah (bagian padat) sering dibutuhkan dalam bermacam – macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga – harga itu dapat ditentukan secara akurat di laboratorium. Tabel 2 menunjukkan harga – harga berat spesifik beberapa mineral yang umum terdapat pada tanah. Sebagian besar dari mineral – mineral tersebut mempunyai berat spesifik berkisar antara 2,6 sampai dengan 2,9. Berat spesifik dari bagian padat tanah pasir yang berwarna terang, umumnya sebagian besar terdiri dari quartz, dapat diperkirakan sebesar 2,65; untuk tanah berlempung atau berlanau, harga tersebut berkisar antara 2,6 sampai 2,9.

Tabel 1. Berat Spesifik Mineral – Mineral Penting (Das, 1991)

Mineral	Berat Spesifik $G_s$
Quartz (kwarsa)	2,65
Kaolinite	2,6
Illite	2,8
Montmorillonite	2,65–2,80
Halloysite	2,0–2,55
Potassium feldspar	2,57
Sodium and calcium feldspar	2,62–2,76
Chlorite	2,6–2,9
Biotite	2,8–3,2
Muscovite	2,76–3,1
Hornblende	3,0–3,47
Limonite	3,6–4,0
Olivine	3,27–3,37

Tabel 2. Berat Spesifik Jenis Tanah (Hardiyatmo, 1992)

Macam Tanah	Berat Jenis G <sub>s</sub>
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

(Sumber : Hardiyatmo,1992)

**Analisis Distribusi Ukuran Butiran**

Analisis distribusi ukuran butiran disebut juga analisis saringan atau ayakan yang termasuk analisis mekanis tanah. Analisis mekanis tanah adalah penentuan variasi ukuran partikel – partikel yang ada pada tanah. Variasi tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering total. Sebenarnya ada dua cara yang umum untuk mendapatkan distribusi ukuran – ukuran partikel tanah, yaitu *analisis saringan*, untuk ukuran partikel – partikel berdiameter lebih besar dari 0,075 mm, dan *analisis hidrometer*, untuk ukuran partikel – partikel berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm.

Untuk analisis saringan, pada prinsipnya adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang – lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan.

**Tabel 3. Ukuran – Ukuran Saringan Standard di Amerika Serikat (Das, 2010)**

Sieve no.	Opening (mm)	Sieve no.	Opening (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	50	0.355
7	2.80	60	0.250
8	2.36	70	0.212
10	2.00	80	0.180
12	1.70	100	0.150
14	1.40	120	0.125
16	1.18	140	0.106
18	1.00	170	0.090
20	0.850	200	0.075
25	0.710	270	0.053
30	0.600		

**Analisis Hidrometer**

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir – butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel – partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda – beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Untuk mudahnya, dapat dianggap bahwa semua partikel tanah itu berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendap dari partikel – partikel tersebut dapat dinyatakan dalam hukum Stokes (Das, 1991) yaitu,

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \tag{1}$$

- $v$  = kecepatan mengendap
- $\gamma_s$  = berat volume partikel tanah
- $\gamma_w$  = berat volume air
- $\eta$  = kekentalan air
- $D$  = diameter partikel tanah

Jadi, dari persamaan (1)

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \tag{2}$$

Dimana:

$$v = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{L}{T} \tag{3}$$

perhatikan bahwa  $\gamma_s = G_s \gamma_w$

Jadi, dengan mengkombinasikan persamaan – persamaan (1) dan (2) maka :

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \tag{4}$$

Bila satuan  $\eta$  adalah gram detik/cm<sup>2</sup>,  $\gamma_w$  dalam gram/cm<sup>3</sup>,  $L$  dalam cm,  $t$  dalam menit, dan  $D$  dalam mm, didapat:

$$\frac{D(mm)}{10} \sqrt{\frac{18\eta[(g \cdot \text{det})/cm^2]}{(G_s - 1)\gamma_w(g/cm^3)}} \sqrt{\frac{L(cm)}{t(\text{men}) \times 60}}$$

Atau

$$D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

Dengan menganggap bahwa  $\gamma_w$  kira – kira 1 gram/cm<sup>3</sup>, didapat:

$$D(mm) = K \sqrt{\frac{L(cm)}{t(men)}} \quad (5)$$

Dimana:

$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}} \quad (6)$$

Harus dicatat bahwa harga  $K$  merupakan fungsi dari  $G_s$  dan  $\eta$ , yang tergantung pada temperatur uji. Pada tabel 5 diberikan harga  $K$  menurut temperature uji dan harga berat jenis ( $G_s$ ) dari butiran tanah.

Di dalam laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (=457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml. Campuran Calgon (natrium hexametaphosphate) biasanya digunakan sebagai bahan pendispersi (*dispersing agent*). Total volume dari larutan air + calgon + tanah yang terdispersi dibuat menjadi 1000 ml dengan menambahkan air suling. Pada gambar 2 ditunjukkan sebuah alat hidrometer tipe ASTM 152 H.

### Kurva Distribusi Ukuran Butiran

Hasil dari analisis mekanik (analisis saringan dan hidrometer) umumnya digambarkan dalam kertas semilogaritmik yang dikenal sebagai *kurva distribusi ukuran – butiran* (particle size distribution curve). Diameter partikel (butiran) digambarkan dalam skala logaritmik, dan persentase dari butiran yang lolos ayakan digambarkan dalam skala hitung biasa. Sebagai contoh, grafik distribusi ukuran butiran dari dua tanah ditunjukkan

dalam gambar 4. Grafik distribusi ukuran butiran merupakan kombinasi dari hasil analisis saringan dan hasil analisis hidrometer untuk fraksi halusnya. Bilamana hasil dari analisis saringan dan analisis hidrometer digabung, diskontinuitas (discontinuity) umumnya timbul dalam rentang dimana kedua grafik saling bertumpangan.

Hal ini disebabkan karena pada kenyataannya butiran tanah pada umumnya mempunyai bentuk yang tidak rata. Analisis saringan memberikan ukuran butiran secara langsung, sedangkan analisis hidrometer memberikan diameter dari bulatan (sphere) yang mengendap pada kecepatan yang sama sebagai butiran tanah. Persentase dari kerikil, pasir, lanau, dan butiran berukuran lempung yang dikandung oleh tanah dapat ditentukan dari grafik distribusi ukuran butiran.

### Ukuran Efektif, Koefisien Keseragaman, dan Koefisien Gradasi

Kurva distribusi ukuran butiran dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda – beda. Selain itu ada tiga parameter dasar yang dapat ditentukan kurva tersebut, dan parameter – parameter tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar. Parameter – parameter tersebut adalah:

Ukuran efektif (*effective size*),

Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*),  
Koefisien gradasi (*coefficient of gradation*).

Diameter dalam kurva distribusi ukuran butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lebih halus (lolos saringan) didefinisikan sebagai *ukuran efektif* atau  $D_{10}$ . *Koefisien keseragaman* diberikan dengan hubungan :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (7)$$

Dimana:

$C_u$  = koefisien keseragaman

$D_{60}$  = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos saringan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran

Koefisien gradasi dinyatakan sebagai,

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (8)$$

Dimana:

$C_c$  = koefisien gradasi  
 $D_{30}$  = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos saringan

Kurva distribusi ukuran butiran – butiran tidak hanya menunjukkan rentang (range) dari ukuran butir yang dikandung di dalam tanah saja, tetapi juga menunjukkan tipe dari kurva distribusi.

### Batas – batas Konsistensi Tanah

Massa butiran tanah dikatakan bersifat kohesif apabila untuk memisahkan ikatan /lekatan butiran – butiran tanah itu pada kondisi kering udara diperlukan suatu gaya tertentu, tanah berbutir halus dalam hal ini lempung (*clay*) dan lanau (*silt*), dapat memperlihatkan sifat kohesif.

Partikel tanah lempung umumnya berbentuk pelat (*pipih*) dan biasanya bersifat mampu menyerap lapisan air (absorbed water) pada permukaannya. Sifat mampu menyerap air pada lempung dan lanau menjadikan material – material ini bersifat plastis. Plastisitas adalah suatu sifat tanah berbutir halus yang terdeformasi tanpa adanya retakkan atau perubahan volume yang cukup berarti. Plastisitas tanah kohesif terutama disumbangkan oleh kandungan mineral lempung, antara lain monmorilonit, kaolinit, klorit, dan sebagainya. Beberapa mineral (misalnya kuarsa) dapat saja memiliki ukuran lempung < 0,002 mm, namun material ini tidak dapat berperilaku plastis meskipun ukuran butirannya halus dan pada permukaannya terkandung air.

Batasan konsistensi diperlukan untuk mengklasifikasikan kondisi fisik tanah berbutir halus dalam hal ini kadar air.

Terdapat empat konsistensi tanah berdasarkan kadar air, yakni :

1. Cair
2. Plastis
3. Semi Padat
4. Padat

Kadar air dari peralihan keadaan padat ke semi padat dapat disebut batas susut (*shrinkage limit, SL*), keadaan semi padat ke plastis disebut batas plastis (*plastis limit, PL*) dan dari keadaan plastis ke cair disebut batas cair (*liquid limit, LL*). Batas – batas ini dikenal juga sebagai batas – batas Atterberg (*Atterberg Limits*).

Suatu rentang antara batas plastis dan batas cair di atas dikenal sebagai indeks plastis (*index plasticity, IP*) dapat dilihat bahwa indeks plastisitas merupakan suatu interval yang menunjukkan tanah masih bersifat plastis.

Berdasarkan penjelasan di atas maka besarnya indeks plastisitas ditentukan sebagai berikut :

$$IP = LL - PL \quad (9)$$

### Aktivitas

Ketebalan air mengelilingi butiran tanah lempung tergantung dari macam mineralnya. Jadi, dapat diharapkan plastisitas tanah lempung tergantung dari :

- Sifat mineral lempung yang ada pada butiran
- Jumlah mineral

Parameter menurut Skemton 1953 yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut :

$$\text{Activity (A)} = \frac{PI}{C-10} \quad (17)$$

Keterangan ;

PI = Indeks Plastisitas

C = persentase lempung lolos saringan 0.002 mm

Dari rumus tersebut kategori tanah terbagi dalam tiga golongan, yaitu :

$A < 0,75$  ( tidak aktif)

$0,75 < A < 1,25$  (normal)

$A > 1,25$  (aktif)

### Karakteristik Tanah Lempung

#### Karakteristik Umum Lempung

Lempung (*clays*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan – lempengan pipih dan merupakan partikel – partikel dari mika, mineral – mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral – mineral yang

sangat halus lainnya. Pada tabel 1, lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron). Namun demikian, di beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung (lihat ASTM D-653). Di sini tanah diklasifikasikan sebagai *lempung* (hanya berdasarkan pada ukurannya saja). Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral – mineral lempung (clay minerals).

Dari segi mineral (bukan ukurannya), yang disebut tanah lempung (dan mineral lempung) ialah yang mempunyai partikel – partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat – sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air” (Grim, 1953). Jadi dari segi mineral, tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (non-clay soils) meskipun terdiri dari partikel – partikel yang sangat kecil (partikel – partikel quartz, feldspar, dan mika dapat berukuran submikroskopis, tetapi umumnya mereka tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah). Dari segi ukuran, partikel – partikel tersebut memang dapat digolongkan sebagai partikel lempung. Untuk itu, akan lebih tepat bila partikel – partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron (= 2  $\mu$ ), atau < 5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut sebagai lempung saja. Partikel – partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid (< 1  $\mu$ ) dan ukuran 2  $\mu$  merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung.

### Struktur Mineral Lempung

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks dibentuk oleh mineral pembentuk utama Montmorillonite, Illite dan Kaolinite terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu (1) *silika tetrahedra* dan (2) *aluminium oktahedra* membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ( $Al_2 O_3 \cdot n Si O_2 \cdot kH_2O$ ). Setiap unit tetrahedral (bersisi empat) terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silikon (Gambar ). Kombinasi dari unit –

unit silika tetrahedra tersebut membentuk lembaran silika (silica sheet, Gambar ). Tiga atom oksigen pada dasar setiap tetrahedra tersebut dipakai bersama oleh tetrahedra – tetrahedra yang bersebelahan. Unit – unit oktahedra (bersisi delapan) terdiri dari enam gugus ion hidroksil (OH) yang mengelilingi sebuah atom aluminium (Gambar ), dan kombinasi dari unit – unit hidroksi aluminium berbentuk oktahedra itu membentuk *lembaran oktahedra*. Lembaran ini disebut juga lembaran gibbsite – Gambar ). Kadang – kadang atom magnesium menggantikan kedudukan atom aluminium pada unit – unit oktahedra; bila demikian adanya, lembaran oktahedra tersebut disebut lembaran *brucite*.

Pada sebuah lembaran silika, setiap atom silikon yang bermuatan positif dan bervalensi empat dihubungkan dengan empat atom oksigen yang bermuatan negatif dengan valensi total delapan. Tetapi setiap atom oksigen pada dasar tetrahedra itu dihubungkan dengan dua atom silikon lainnya. Ini berarti bahwa atom – atom oksigen di sebelah atas dari unit – unit tetrahedral mempunyai kelebihan valensi (negatif) sebesar satu dan harus diseimbangkan. Bila lembaran silika itu ditumpuk di atas lembaran oktahedra seperti terlihat pada gambar , atom – atom oksigen tersebut akan menggantikan posisi ion hidroksil untuk memenuhi keseimbangan muatan mereka.

Mineral *kaolinite* terdiri dari tumpukan lapisan – lapisan dasar lembaran – lembaran kombinasi silika-gibbsite seperti terlihat pada gambar dan . Setiap lapisan dasar itu mempunyai tebal kira – kira 7,2 Å ( 1 Å =  $10^{-10}$  m). Tumpukan lapisan – lapisan tersebut diikat oleh ikatan hidrogen (hydrogen bonding). Mineral kaolinite berwujud seperti lempengan – lempengan tipis, masing – masing dengan diameter kira – kira 1000 Å dan 20.000 Å dan ketebalan dari 100 Å sampai 1000 Å. Luas permukaan partikel kaolinite per unit massa adalah kira – kira 15  $m^2$ /gram. Luas permukaan per unit massa ini didefinisikan sebagai luasan spesifik (*specific surface*). Rumus kimia kaolinite adalah  $Al Mg(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot kH_2O$

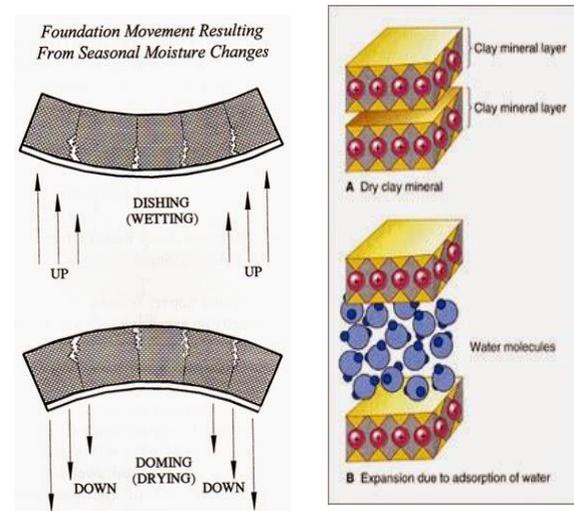
**Illite** terdiri dari dari sebuah lembaran gibbsite yang diapit oleh dua lembaran silica seperti pada gambar . Illite ini kadang – kadang juga disebut mika lempung. Lapisan – lapisan illite terikat satu sama lain oleh ion – ion kalium (= K = ion potassium). Muatan negatif yang diperlukan untuk mengikat ion – ion kalium tersebut didapat dengan adanya penggantian (substitusi) sebagian atom silikon pada lembaran tetrahedra oleh atom – atom aluminium. Substitusi dari sebuah elemen oleh lainnya tanpa mengubah bentuk kristal utamanya disebut sebagai substitusi *isomorf* (isomorphous substitution). Partikel – partikel illite pada umumnya mempunyai dimensi mendatar berkisar antara 1000 Å sampai 5000 Å (juga umumnya berbentuk lempengan – lempengan tipis) dan ketebalan dari 50 Å sampai 500 Å. Luasan spesifik dari partikel adalah sekitar 80 m<sup>2</sup>/ gram. Rumus kimia mineral Illite adalah  $K_yAl_2(FeMg_2Mg_3)(Si_{4-y}Al_yO_{10}(OH)_2$ .

**Mineral–mineral montmorillonite** mempunyai mempunyai bentuk struktur yang sama dengan illite yaitu satu lembaran gibbsite diapit oleh dua lembaran silica (Gambar dan ). Pada montmorillonite terjadi substitusi isomorf antara atom – atom magnesium dan besi menggantikan sebagian atom – atom ion kalium seperti pada illite, dan sejumlah besar molekul tertarik kepada ruangan di antara lapisan – lapisan tersebut. Partikel montmorillonite mempunyai dimensi mendatar dari 1000 Å sampai 5000 Å dan ketebalan 10 Å sampai 50 Å. Luasan spesifiknya adalah sekitar 800 m<sup>2</sup>/gram. Rumus kimia montmorillonite adalah  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ .

### Tanah Lempung Ekspansif

Lempung ekspansif (*expansive soil*) adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air yang ada di dalam tanah tersebut. Jika kandungan airnya banyak maka tanah tersebut akan mengembang (*swelling*) dan kekuatan daya dukungnya akan berkurang demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut (*shrinkage*) dan mengakibatkan

tanah pecah – pecah di permukaannya. Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang bermasalah dalam suatu proyek konstruksi khususnya untuk pekerjaan timbunan tanah dasar suatu bangunan. Dengan perubahan volume tanah akibat kadar air yang rendah dapat mengakibatkan penurunan pada bangunan di atasnya (Settlement) terlebih jika penurunannya tidak seragam (Non-uniform Settlement). Penurunan tersebut dapat terjadi pada masa konstruksi maupun selama operasional bangunan tersebut. Selain penurunan, akibat kadar air yang tinggi dalam tanah dapat pula mengakibatkan tanah mengembang sehingga dapat menyebabkan bangunan terangkat (Uplift). Untuk konstruksi seperti jalan raya, kondisi ini akan sangat menimbulkan masalah, perkerasan akan retak, turun, bergelombang, bahkan bisa sampai patah jika perkerasannya kaku (*rigid pavement*).



**Gambar 39. Ilustrasi perubahan volume Tanah Akibat Perubahan Kadar Air (Sumber: Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan**

Di Indonesia, ditinjau dari kejadian tanahnya, hampir 65% tanah yang ada di Indonesia merupakan tanah laterit, tanah ini merupakan tanah ekspansif yang mempunyai kembang susut yang besar (Tuti dan Sularno, 1985). Mochtar (2000) dan Sudjianto (2007)

menyatakan, tanah lempung ekspansif hampir terdapat di seluruh Indonesia, mulai dari Nanggroe Aceh Darussalam (NAD) sampai ke Papua. Kerugian yang diakibatkan oleh tanah ekspansif diantaranya adalah :

- a. Pengembangan (*heave*) dan retak (*cracking*) pada permukaan jalan raya
- b. Kelebihan tegangan lateral pada dinding penahan tanah
- c. *Heave* dan *buckling* pada slab lantai
- d. *Heave* dan *buckling* pada dinding penahan
- e. Berkurangnya daya dukung dan kuat geser tanah

### Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat sifat teknis tanah. Stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan - bahan buatan pabrik sehingga sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Guna merubah sifat sifat teknis tanah seperti kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal seperti mencampur tanah dengan semen atau pasir, abu terbang, injeksi semen (*grouting*), pemanasan, dll. Dalam pekerjaan sipil, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material lokal yang ada dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah (*additive*) ke dalam tanah.

Usaha stabilisasi yang biasa pada tanah berbutir halus dapat dilakukan dengan memberi bahan tambah kimia sehingga terjadi suatu reaksi yang dapat meningkatkan daya dukungnya. Bahan-bahan yang biasa dipergunakan antaralain semen, abu batu bara (*fly ash*), kapur dan campuran antara abu batu bara dan kapur (Bowles, 1989). Penelitian ini menggunakan abu batu bara dan abu batu karang untuk meningkatkan daya dukung tanah sebagaimana yang pernah dilakukan untuk campuran beraspal oleh Anwar (2011).

### Abu Terbang (*fly ash*) Batu Bara

Batubara adalah suatu lapisan yang padat, yang pembentukannya atau penyebarannya secara horizontal dan vertikal, dan merupakan suatu lapisan yang bersifat heterogen. Karena sifat batubara yang heterogen maka pada (eksplorasi pemborannya) Recovery harus memenuhi syarat maksimal 90% yang diambil, bila kurang dari 90% maka tidak Representatif dan penyebaran batubara menunjukkan perbedaan kualitas maka penyebaran batubara sangat mempengaruhi kualitas. Berdasar proses terjadinya batubara terbagi menjadi dua yaitu :

a. Proses biokimia yakni proses penghancuran oleh bakteri-bakteri "anaerobic" terhadap kayu-kayuan (sisa tumbuhan) sehingga terbentuk gel atau biasa disebut gelly. Bakteri anaerobic bakteri yang hidup pada tempat (air) yang kurang mengandung oksigen pada air kotor, contohnya pada daerah rawa-rawa.

b. Proses termodinamika yakni proses perubahan beat menjadi lapisan batu bara oleh adanya panas dan tekanan, juga proses dari luar seperti proses geologi (perlipatan dll) Penggunaan batubara sebagai sumber energi akan menghasilkan abu yaitu berupa abu terbang (*fly ash*) maupun abu dasar (*bottom ash*).

Kandungan abu terbang sebesar 84 % dari total abu batubara. Produksi abu terbang batubara dunia yang diperkirakan tidak kurang dari 500 juta ton per tahun dan ini diperkirakan akan bertambah. Hanya 15 % dari produksi abu terbang yang digunakan. Sisa dari abu terbang cenderung sebagai reklamasi (Tanaka dkk., 2002). Hal ini dapat menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu masalah abu terbang batubara harus segera diselesaikan agar tidak terjadi penumpukan dalam jumlah yang besar baik di Indonesia maupun di dunia.

### Batu Karang

Batu karang termasuk batuan sedimen atau endapan yang terdapat pada umumnya di sekitar kepulauan dan pantai yang mempunyai temperature air laut tinggi sepanjang tahun. Batu karang dapat berbentuk massif (batu gunung) hingga batu karang terumbu (*coral reef*). Batu karang umumnya berupa batu kapur sehingga agregat yang berasal dari

batuan ini memiliki kandungan kimia berupa CaO yang paling besar sehingga masuk dalam kelompok batuan kapur. Batu karang yang berupa batu kapur yang massif secara geologi disebut sebagai batuan kapur kristalin. Sedangkan batu karang terumbu akan bersifat ambyar bila dipecahkan, oleh sebab itu batuan seperti ini disebut sebagai batuan kapur.

### Timbunan Tipe Urugan Tanah

Timbunan atau urugan dibagi dalam 2 macam sesuai dengan maksud penggunaannya yaitu:

1. Timbunan biasa, adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir subgrade yang disyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud khusus lainnya. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk penggantian material existing subgrade yang tidak memenuhi syarat.

Bahan timbunan biasa harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari tanah yang disetujui oleh Pengawas yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen.
  - Bahan yang dipilih tidak termasuk tanah yang plastisitasnya tinggi, yang diklasifikasi sebagai A-7-6 dari persyaratan AASHTO M 145 atau sebagai CH dalam sistim klasifikasi "Unified atau Casagrande". Sebagai tambahan, urugan ini harus memiliki CBR yang tak kurang dari 6 %, bila diuji dengan AASHTO T 193.
  - Tanah yang pengembangannya tinggi yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25 bila diuji dengan AASHTO T 258, tidak boleh digunakan sebagai bahan timbunan. Nilai aktif diukur sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (PI) – (AASHTO T 90) dan presentase ukuran lempung (AASHTO T 88).
2. Timbunan pilihan, adalah timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir subgrade yang disyaratkan dalam gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya, misalnya untuk mengurangi tebal lapisan pondasi bawah, untuk memperkecil

gaya lateral tekanan tanah dibelakang dinding penahan tanah talud jalan.

Bahan timbunan pilihan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai "Timbunan Pilihan" bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud yang telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh Pengawas.
- Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah berpasir (sandy clay) atau padas yang memenuhi persyaratan dan sebagai tambahan harus memiliki sifat tertentu tergantung dari maksud penggunaannya. Dalam segala hal, seluruh urugan pilihan harus memiliki CBR paling sedikit 10 %, bila diuji sesuai dengan AASHTO T 193.

### Program Plaxis

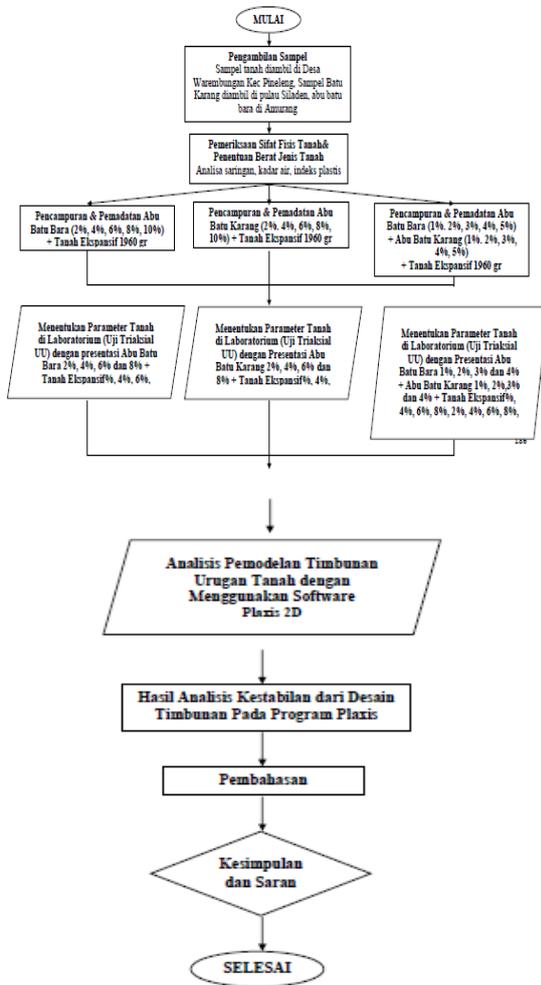
Plaxis adalah paket program finite elemen untuk analisa 2 dan 3 dimensi dari deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Dengan program ini kita dapat mengetahui faktor keamanan dari suatu lereng. *Plaxis* mulai dikembangkan sekitar tahun 1987 di *Technical University of Delft* atas inisiatif dari *Dutch Departement of Public Works and Water Management*.

*Plaxis* adalah program elemen hingga untuk aplikasi geoteknik dimana digunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Program *plaxis* dan model-model tanah didalamnya telah dikembangkan dengan seksama. Walaupun pengujian dan validasi telah banyak dilakukan, tetap tidak dapat dijamin bahwa program *plaxis* adalah bebas dari kesalahan. Simulasi permasalahan geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga sendiri telah secara implisit melibatkan kesalahan pemodelan dan kesalahan numerik yang tidak dapat dihindarkan. Akurasi dari keadaan sebenarnya yang diperkirakan sangat bergantung pada keahlian dari pengguna terhadap pemodelan permasalahan, pemahaman terhadap model-model tanah serta keterbatasannya, penentuan parameterparameter model, dan kemampuan

untuk melakukan interpretasi dari hasil komputasi.

sampel tanah diambil pada kedalaman kira - kira 1,5 meter.

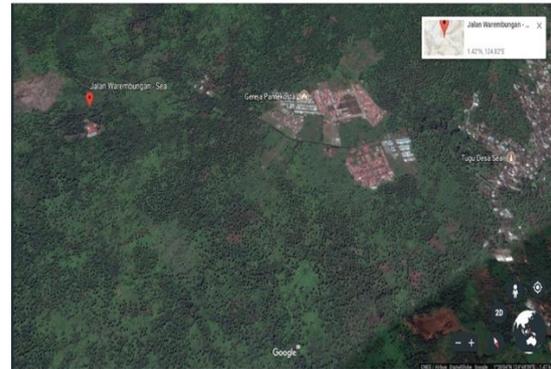
### METODOLOGI PENELITIAN



Bagan Alir Penelitian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang diambil di sekitar jalan Warembungan – Sea menuju desa Warembungan Kecamatan Pineleng Propinsi Sulawesi Utara. Titik koordinat pengambilan sampel N.01°.26'.04” E.124°.48'.59” dan



Gambar 59. Foto Lokasi Jalan Warembungan – Sea, Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Ekspansif

### Data Lokasi Pengambilan Sampel Abu Terbang (fly ash) Batu Karang

Untuk bahan stabilisasi yang kedua, yaitu abu terbang (*fly ash*) batu karang. Dengan melakukan pengujian analisa distribusi ukuran butiran, dipakailah abu terbang batu bara yang lolos saringan no. 200. Untuk mendapatkan abu terbang ini, diambil batu karang sebagai bahan bakunya. Adapun batu karang yang dimaksud adalah batu karang yang sudah mati dan terseret di pinggir pantai akibat arus air laut di Pulau Siladen, Sulawesi Utara. Jadi tidak benar jika dikatakan akan memusnahkan biota laut, melainkan sangat menolong para penduduk kepulauan yang tinggal disana untuk menjadikannya sebagai bahan bangunan karena batu karang termasuk dalam golongan batu gamping atau batu kapur. Kandungan kapur inilah yang membuat batu karang (kalsium karbonat atau CaCO<sub>3</sub>) kuat menopang struktur. Oleh karena akses untuk memperoleh batu pondasi sebagai bahan bangunan konstruksi yang sulit sehingga menyebabkan mahalnya harga batu pondasi tersebut disana, warga dengan tingkat perekonomian menengah ke bawah cenderung memanfaatkan batu karang ini sebagai batu pondasi atau untuk keperluan pembuatan talud. Peneliti tertarik mengambil batu karang sebagai bahan penelitian salah satunya untuk membuktikan bahwa lautan dapat memberikan sumbangsih bagi keperluan konstruksi. Dan Pulau Siladen menjadi objek

penelitian bagi peneliti untuk memperoleh batu karang tersebut dengan titik koordinat N.1°37'.52" E.124°48'08".



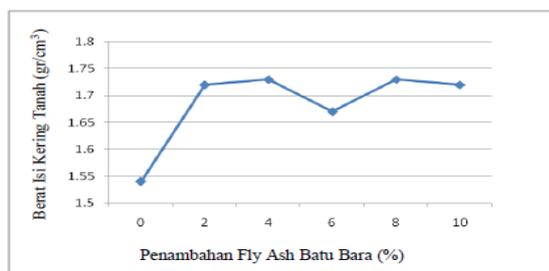
Gambar 63. Lokasi Tempat Pengambilan Sampel Batu Karang di Pulau Siladen, Sulawesi Utara (google earth, 2017)

### Pengaruh Pencampuran Tanah Ekspansif dan Abu Terbang (*fly ash*) Batu Bara Terhadap Pemadatan

Hasil percobaan pemadatan tanah lempung ekspansif dengan penambahan abu terbang (*fly ash*) batu bara terhadap nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dapat dilihat pada tabel 26, gambar 54 dan 55.

Tabel 26. Hasil Uji Pemadatan dengan Penambahan Abu Terbang (*fly ash*) Batu Bara Terhadap Berat Isi Kering dan Kadar Air Optimum

No	Komposisi Campuran	$\gamma_d \text{ max}_3$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$w_{opt}$ (%)
1	Tanah asli	1,54	18,5
2	Tanah ekspansif + 2 % BB	1,72	18,7
3	Tanah ekspansif + 4 % BB	1,73	18,2
4	Tanah ekspansif + 6 % BB	1,67	21,4
5	Tanah ekspansif + 8 % BB	1,73	20,4
6	Tanah ekspansif + 10 % BB	1,72	19,9



Gambar 66. Pengaruh Penambahan Fly Ash Batu Bara Pada Tanah Ekspansif Terhadap

Hasil pemadatan tanah ekspansif yang dicampur dengan abu terbang (*fly ash*) batu

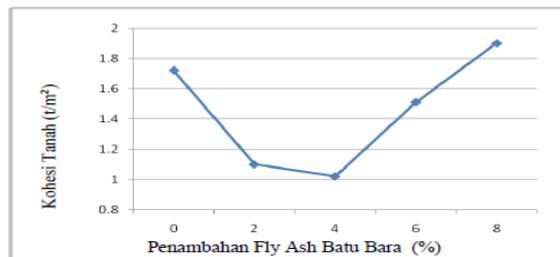
bara dengan komposisi campuran 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dapat dijelaskan bahwa dengan adanya penambahan *fly ash* batu bara pada sampel tanah ekspansif Desa Warembungan Kecamatan Pineleng berpengaruh pada naiknya berat isi kering tanah yang pada awalnya sebesar 1,54 gr/cm<sup>3</sup> menjadi 1,73 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan kadar air cenderung menurun menjadi 18,2% pada penambahan *fly ash* batu bara 4% walaupun di level 6% terjadi peningkatan nilai kadar air, namun pada level 8% dan 10% berturut – turut kembali menurun sebesar 20,4% dan 19,9%. Besaran nilai kadar air yang cenderung masih agak tinggi dibandingkan dengan tanah asli walaupun sudah pada penambahan 10% *fly ash* diduga akibat reaksi kimia montmorillonite yang lebih cepat bereaksi dengan *fly ash* itu sendiri dibandingkan kaolinite dan halloysite

### Pengaruh Pencampuran Tanah Ekspansif dan Abu Terbang (*fly ash*) Batu Bara Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah (Uji Triaksial – UU)

Hasil percobaan pemadatan tanah lempung ekspansif dengan penambahan abu terbang (*fly ash*) batu bara terhadap nilai parameter kuat geser tanah yaitu kohesi ( $c$ ) dan ( $\phi$ ) dapat dilihat pada tabel 27, gambar 56 dan 57.

Tabel 27. Hasil Uji Triaksial – Kondisi Unconsolidated Undrained dengan Penambahan Fly Ash Batu Bara

No	Komposisi Campuran	$c$ (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
1	Tanah asli	1,72	11,8
2	Tanah ekspansif + 2 % BB	1,10	12,90
3	Tanah ekspansif + 4 % BB	1,02	12,93
4	Tanah ekspansif + 6 % BB	1,51	17,93
5	Tanah ekspansif + 8 % BB	1,90	11,54

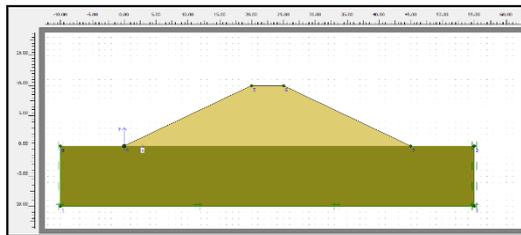


Gambar 68. Pengaruh Penambahan Fly Ash Batu Bara Pada Tanah Ekspansif Terhadap Nilai Kohesi Tanah

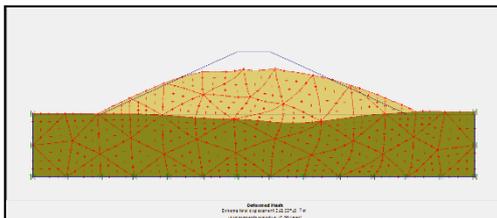
Hasil uji kuat geser tanah ekspansif tanah Desa Warembungan Kecamatan Pineleng dengan penambahan *fly ash* batu bara komposisi campuran 2%, 4%, 6%, 8% menggunakan uji triaksial kondisi unconsolidated – undrained (tidak terkonsolidasi- tidak teraliri) berpengaruh pada nilai kohesi tanah. Nilai kohesi pada tanah ekspansif asli sebesar 1,72 t/m<sup>2</sup> mengalami kenaikan yang signifikan pada penambahan *fly ash* batu bara 8% sebesar 1,90 t/m<sup>2</sup>. Ini membuktikan penambahan *fly ash* batu bara dapat menaikkan gaya tarik – menarik antar partikel tanah ekspansif sehingga lebih meningkatkan kekuatan tanah. Sedangkan pada nilai sudut geser dalam naik pada penambahan *fly ash* 6% menjadi 17,93°.

**Stabilisasi Tanah Ekspansif pada Aplikasi Timbunan Tipe Urugan Tanah**

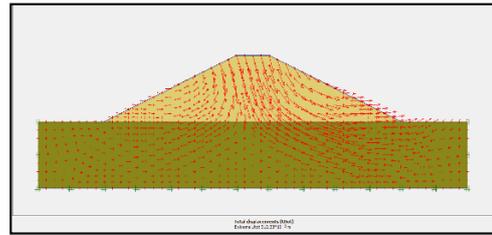
Setelah dilakukan penelitian pencampuran *fly ash* batu bara dan karang terhadap tanah ekspansif, dilakukan aplikasi pada perencanaan tipe urugan tanah dengan desain tinggi lapisan tanah dasar yang merupakan lapisan tanah asli atau tanah ekspansif 10 m, tinggi timbunan 10 m dan untuk perencanaan muka air tanah diambil 5 m dapat dilihat dari gambar di bawah ini.



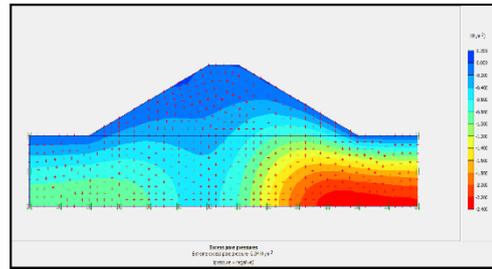
Gambar 78. Desain Timbunan Tipe Urugan Tanah dengan Kondisi Tanpa Campuran atau 0%



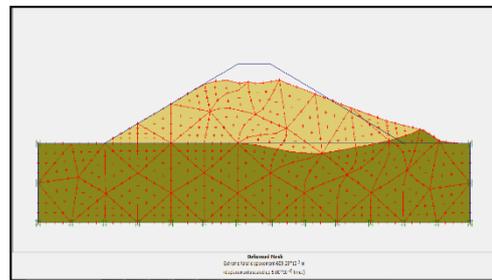
Gambar 79. Kondisi Timbunan yang Mengalami Deformasi Bentuk Saat Mengalami Proses Konsolidasi



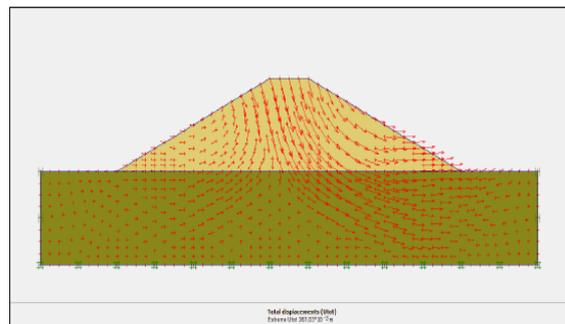
Gambar 80. Kondisi dan Arah Runtuhnya Timbunan dengan Total Displacement 0,312 m



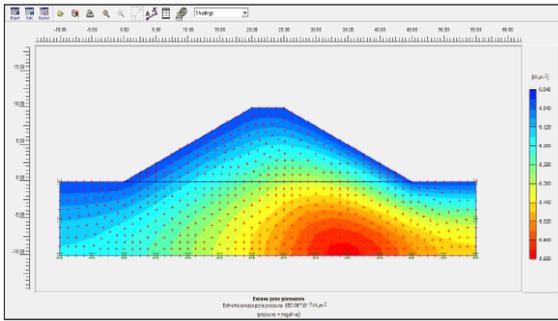
Gambar 81. Gambaran Kondisi Kelebihan Air Pori Pada Kondisi 0% Setelah Konsolidasi



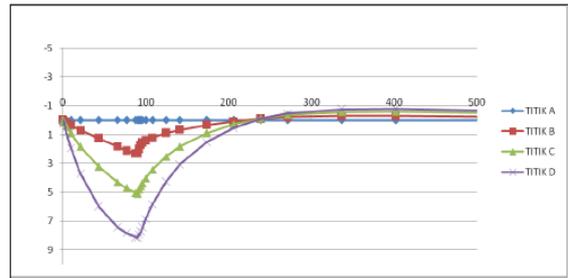
Gambar 82. Kondisi Timbunan yang Mengalami Deformasi Ditinjau dari Kondisi *Phi-C Reduction*



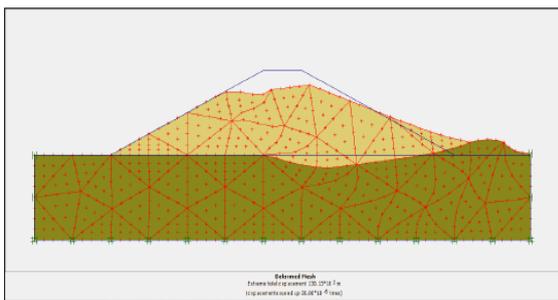
Gambar 134. Kondisi Timbunan yang Mengalami Keruntuhan Akibat Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8%



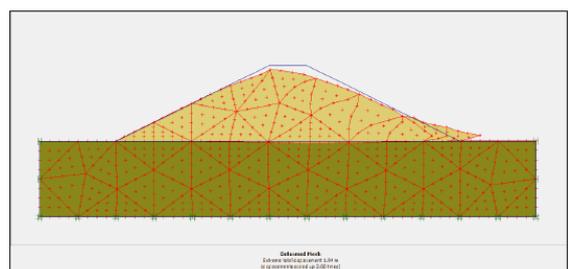
Gambar 135. Kondisi dan Arah Runtuhnya Timbunan dengan Total Displacement 1,94 m



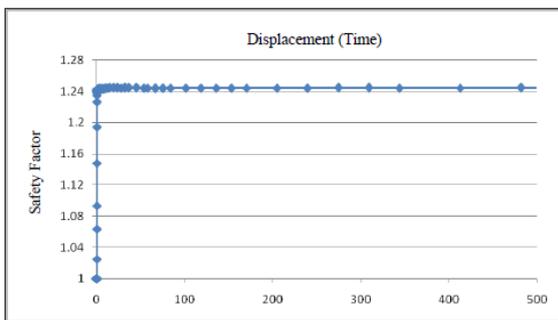
Gambar 138. Arah Keruntuhan Timbunan yang Mengalami Deformasi Ditinjau dari Kondisi *Phi-C Reduction* (+8% *Fly Ash* Batu Bara+Karang)



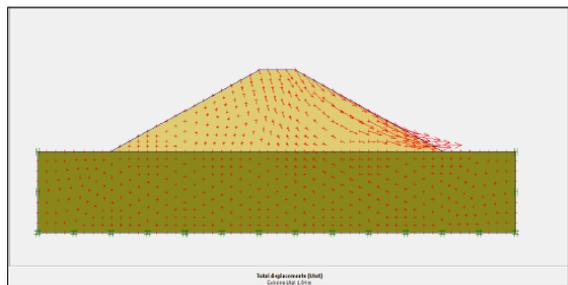
Gambar 136. Gambaran Kondisi Kelebihan Air Pori Pada Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8% Setelah Konsolidasi



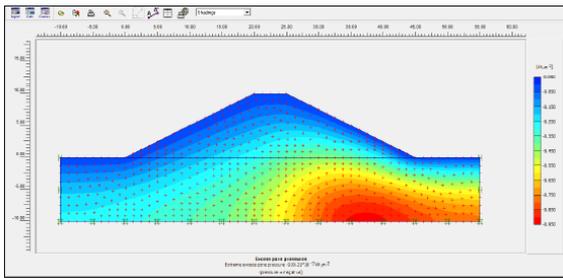
Gambar 139. Grafik Hubungan *Displacement – Step* Pada Fase Konsolidasi Dengan Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8%



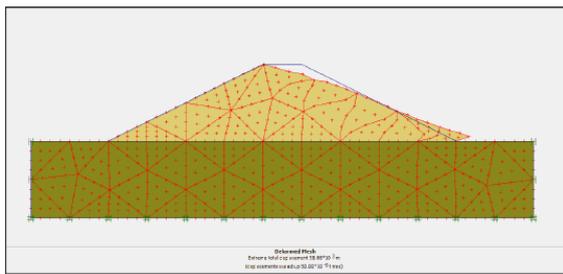
Gambar 137. Kondisi Timbunan yang Mengalami Deformasi Ditinjau dari Kondisi *Phi-C Reduction* Pada Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8%



Gambar 140. Grafik Hubungan *Displacement – Time* Pada Fase Konsolidasi Dengan Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8%



Gambar 141. Grafik Hubungan *Safety Factor* – *Displacement* Dengan Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8%



Gambar 142. Grafik Hubungan *Excess Pore Pressure* – *Time* Pada Fase Konsolidasi Dengan Penambahan *Fly Ash* Batu Bara+Karang 8%

Dapat dilihat pada gambar grafik di atas, untuk desain timbunan dengan penambahan 8% abu terbang batu bara dan karang terhadap hubungan *displacement* – *step* dengan titik A sebagai tinjauan, pada step ke 13 terjadi keruntuhan sebesar 0,23 m sedangkan pada hubungan grafik *displacement* – *time* menunjukkan keruntuhan hampir mencapai 0,53 m pada hari ke 500. Sedangkan untuk nilai faktor keamanan didapat sebesar 1,25 dan hubungan grafik *excess pore pressure* – *time* memperlihatkan di titik D mengalami kelebihan tekanan air pori paling ekstrim mencapai 11 kN/m<sup>2</sup> (tanda negative).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan kajian yang digambarkan dalam tesis ini penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Penambahan fly ash batu bara, batu karang serta batu bara + batu karang menunjukkan terjadinya variasi nilai kohesi dan sudut geser dalam seiring bertambahnya persentasi fly ash batu bara, karang serta batu bara + karang. Nilai kohesi tanah asli sebesar 1,72 t/m<sup>2</sup> dan sudut geser dalam sebesar 11,8°. Pada pencampuran antara tanah ekspansif + fly ash batu bara nilai kohesi maksimum terdapat pada penambahan 8% yaitu 1,90 t/m<sup>2</sup> sedangkan nilai sudut geser naik menjadi 17,93° pada penambahan 6%. Pada pencampuran antara tanah ekspansif + fly ash batu karang nilai kohesi maksimum terdapat pada penambahan 2% yaitu 1,48 t/m<sup>2</sup> sedangkan nilai sudut geser naik menjadi 30,10°. Pada pencampuran antara tanah ekspansif + fly ash batu bara + karang nilai kohesi maksimum terdapat pada penambahan 2% yaitu 0,58 t/m<sup>2</sup> sedangkan nilai sudut geser naik menjadi 38,80°. Dari data ini dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan fly ash karang lebih memberikan nilai kekuatan geser yang lebih besar dibandingkan variasi campuran fly ash batu bara dan batu bara + karang.
2. Penambahan fly ash batu bara, batu karang serta batu bara + batu karang menunjukkan terjadinya variasi nilai penurunan, kelebihan air pori dan faktor keamanan. Untuk aplikasi timbunan dengan kondisi 0% atau tanpa campuran nilai penurunan, kelebihan air pori dan faktor keamanan berturut – turut adalah 0,312 m, 2,34 kN/m<sup>2</sup>, dan 1,18. Pada pencampuran antara tanah ekspansif + fly ash batu bara menurun tipis pada variasi 8% dimana nilai penurunan, kelebihan air pori dan faktor keamanan berturut – turut sebesar 0,35 m; 0,565 kN/m<sup>2</sup>, dan 1,117. Pada pencampuran antara tanah ekspansif + fly ash batu karang, nilai penurunan, kelebihan air pori dan faktor keamanan mengalami kenaikan pada variasi 2% berturut – turut menjadi 0,188 m; 0,777 kN/m<sup>2</sup>, dan 1,253. Sedangkan Pada pencampuran antara tanah ekspansif + fly ash batu bara+karang, nilai penurunan, kelebihan air pori dan faktor keamanan mengalami kenaikan pada variasi 2% berturut – turut menjadi 0,267 m; 0,657 kN/m<sup>2</sup>, dan 1,245. Dari data ini dapat diambil

kesimpulan bahwa penambahan fly ash batu bara + karang dapat lebih memberikan nilai penurunan yang lebih kecil dengan faktor keamanan yang lebih besar dibandingkan variasi campuran fly ash batu bara dan batu bara + karang.

3. Penambahan fly ash batu karang lebih efektif dan efisien dibandingkan batu bara dalam menaikkan nilai parameter kuat geser tanah tetapi pada aplikasi timbunan urugan tanah akan lebih efektif jika dilakukan penambahan keduanya yaitu fly ash batu bara + karang untuk mendapatkan nilai penurunan yang lebih kecil dan factor keamanan yang lebih besar.

#### Saran

1. Disarankan untuk melakukan stabilisasi tanah dasar terlebih dahulu dan menggunakan material pilihan yang lebih baik untuk timbunan agar dapat lebih menaikkan faktor keamanan dan memperkecil nilai penurunan.
2. Analisa mineralogy lempung dengan pengujian difraksi sinar – X disarankan untuk dilakukan terlebih dahulu agar lebih tepat dalam menentukan variasi campuran.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Braja M Das, *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
- Braja M Das, *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
- Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1992
- Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2014
- Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 2*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2014
- Joseph E Bowles, Johan K Hainim, *Sifat – sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.
- L.D Wesley, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 1977.
- O. B. A. Sompie, *Rekayasa Geoteknik Pada Tahapan Konstruksi Perkerasan Urugan Tanah*, Manado, 2010.
- Panduan Praktikum Mekanika Tanah*, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado
- Plaxis 2D Version 9.0 - 2 Tutorial Manual. Pdf*
- Plaxis 2D Version 9.0 – 5 Scientific Manual. Pdf*
- R.F Craig, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.
- Braja M Das, *Principles Of Geotechnical Engineering 7<sup>th</sup> Edition*, Cengage Learning, USA, 2010.
- Oktoavian B. A. Sompie, *Improvement Of Soil Consolidation Test And Inclusion Of Secondary Compression On Hydraulic Structure Design*, PPLH-SDA Unsrat Press, Manado, 2010.