

## PENGARUH SERBUK ARANG KAYU DAN FLY ASH TERHADAP KUAT GESER TANAH LEMPUNG (STUDI KASUS : DS.KEBUNAGUNG, KEC.SUKODONO, KAB.LUMAJANG, JAWA TIMUR)

Tsalas Aulia Fajrul Septian<sup>1</sup>, Arik Triarso<sup>2</sup>  
D4 Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya  
E-mail: [tsalas.22078@mhs.unesa.ac.id](mailto:tsalas.22078@mhs.unesa.ac.id)<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penambahan serbuk arang kayu dan fly ash terhadap kuat geser tanah lempung di Desa Kebonagung, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang. Sampel tanah asli tergolong lempung plastisitas tinggi (USCS) dengan kadar air rata-rata 48,66%, berat jenis 2,693, batas cair 60,99%, batas plastis 31,79%, dan indeks plastisitas 29,20%. Uji-lab meliputi kadar air, berat jenis, analisa saringan, batas Atterberg, uji pemadatan Proctor, dan uji kuat geser langsung. Hasil Proctor menunjukkan kadar air optimum 17% dan berat kering maksimum 1,31 g/cm<sup>3</sup>. Variasi campuran yang diuji: tanah asli; tanah + fly ash 10%; tanah + serbuk arang kayu (5%, 10%, 15%) + fly ash 10%. Hasil uji kuat geser memperlihatkan bahwa penambahan kombinasi serbuk arang kayu dan fly ash meningkatkan parameter kohesi dan sudut geser dibanding tanah asli, dengan peningkatan paling signifikan pada persentase arang kayu tertentu. Temuan menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan serbuk arang kayu dan fly ash berpotensi meningkatkan daya dukung tanah lempung sehingga layak dipertimbangkan sebagai alternatif perbaikan tanah dasar pada pekerjaan konstruksi.

### Kata kunci

**Tanah lempung, serbuk arang kayu, fly ash, direct shear test.**

### ABSTRACT

*This study evaluates the effect of adding wood charcoal powder and fly ash on the shear strength of clay soil in Kebonagung Village, Sukodono District, Lumajang Regency. The original soil sample was classified as high-plasticity clay (USCS) with an average water content of 48.66%, specific gravity of 2.693, liquid limit of 60.99%, plastic limit of 31.79%, and plasticity index of 29.20%. Laboratory tests included water content, specific gravity, sieve analysis, Atterberg limits, Proctor compaction, and direct shear testing. The Proctor test results showed an optimum moisture content of 21% and a maximum dry density of 1.33 g/cm<sup>3</sup>. The tested mixture variations were natural soil; soil + 10% fly ash; and soil + wood charcoal powder (5%, 10%, and 15%) + 10% fly ash. The direct shear test results showed that the addition of wood charcoal powder and fly ash improved the cohesion and internal friction angle compared with the natural soil, with the most significant improvement observed at a certain charcoal content. These findings indicate that stabilization using wood charcoal powder and fly ash has the potential to improve the bearing capacity of clay soil and may be considered as an alternative for subgrade improvement in construction works.*

### Keywords

**Clay soil, wood charcoal powder, fly ash, shear strength, direct shear test.**

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan di bidang teknik sipil mendorong semakin luasnya pemanfaatan lahan marginal sebagai alternatif untuk kebutuhan konstruksi. Akan tetapi, tidak semua jenis tanah memiliki karakteristik yang sesuai untuk dijadikan tanah dasar, karena beberapa di antaranya memiliki daya dukung yang rendah dan memerlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum digunakan [Th Rompas Turangan E & Riogilang, 2018]. Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang sering menimbulkan permasalahan dalam pekerjaan teknik sipil. Tanah ini umumnya memiliki permeabilitas

yang rendah, kandungan mineral yang kurang menguntungkan, serta kuat geser yang kecil, sehingga kurang stabil apabila dijadikan dasar bangunan [Natalia et al., 2018]. Selain itu, tanah lempung memiliki sifat mudah menyerap air, yang menyebabkan tanah mengembang dan mengalami penurunan kemampuan menahan tegangan geser [Lydia et al., 2023]. Untuk mengatasi kondisi tersebut, diperlukan upaya stabilisasi tanah menggunakan bahan tambah yang mampu memperbaiki sifat fisik dan mekanis tanah. Salah satu bahan yang berpotensi digunakan adalah serbuk arang kayu, karena material ini dapat membantu memperbaiki struktur tanah, mengurangi plastisitas, dan menekan perubahan volume akibat kembang susut [Melati Nurita Sandi et al., 2022]. Selain serbuk arang kayu, fly ash juga dikenal memiliki sifat pozzolanik yang dapat mendukung peningkatan karakteristik tanah [Hangge et al., 2021]. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk arang kayu dan fly ash terhadap kuat geser tanah lempung di Desa Kebonagung, Kecamatan Sukodono, Kabupaten Lumajang, sebagai salah satu alternatif perbaikan tanah dasar pada pekerjaan konstruksi

### **1.1 Tanah Lempung**

Tanah lempung adalah tanah berbutir sangat halus yang bersifat plastis, berdaya kapilaritas tinggi, tetapi memiliki permeabilitas rendah sehingga aliran air berlangsung lambat (Candra et al., 2018). Tanah lempung lunak dengan kandungan bahan organik lebih dari 2% kurang layak digunakan sebagai tanah dasar karena dapat menurunkan kinerja dan meningkatkan risiko kerusakan konstruksi (Ananda Upa' & Hakim, 2019). Sifat tanah lempung juga dipengaruhi oleh mineral penyusunnya, yaitu kaolinit yang stabil, illit yang tidak mudah mengembang, dan montmorillonit yang cenderung mengembang karena ikatannya lemah terhadap air (Bella et al., 2015).

### **1.2 Serbuk Arang kayu**

Serbuk arang kayu mampu memperbaiki sirkulasi air dan udara di dalam tanah, mengikat karbon, serta mengurangi potensi kembang susut karena sifatnya dapat menurunkan nilai indeks plastisitas tanah. Kondisi tersebut menjadi dasar pemanfaatan serbuk arang kayu sebagai bahan stabilisasi tanah, sebab secara umum sifat dan komponen kimia pada berbagai jenis arang memiliki susunan bahan yang relatif sama. Serbuk Arang kayu mengandung beberapa unsur, antara lain karbon (C), aluminium (Al), silika (Si), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan fosfor (P), dengan karbon (C) sebagai unsur yang paling dominan (Mina et al., 2022).

### **1.3 Manajemen Risiko**

Fly ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap yang bersifat sebagai bahan pozzolan. Secara garis besar, fly ash juga mengandung unsur kimia utama berupa silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), serta unsur tambahan seperti magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), fosfor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), dan karbon (Yohanes et al., 2020). Fly ash memiliki 2 tipe yaitu:

- Fly Ash Kelas F Fly ash Kelas F berasal dari batubara bituminus atau antrasit, dengan total  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$  dan  $\text{CaO}$  rendah Jenis ini bersifat pozzolanik murni, menghasilkan panas hidrasi lambat, cocok untuk beton tahan sulfat atau stabilisasi tanah jangka panjang karena reaktivitas silika dan alumina tinggi.
- Fly Ash Kelas C Fly ash Kelas C dari batubara lignit atau sub bituminus, dengan total  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$  dan  $\text{CaO}$  tinggi (15-30%). Memiliki sifat pozzolanik sekaligus sementasi karena  $\text{CaO}$  reaktif, memberikan kekuatan awal tinggi tapi panas hidrasi lebih cepat, ideal untuk proyek konstruksi cepat. Tabel harus diterangkan dalam batang tubuh.

## 2.4 Klasifikasi Tanah USCS

Sistem klasifikasi USCS diciptakan oleh Casagrande pada masa Perang Dunia II untuk mendukung keperluan rekayasa Angkatan Darat Amerika Serikat, dan kemudian disempurnakan pada tahun 1969. Metode USCS, tanah diklasifikasikan menjadi dua kategorikan yaitu : a) Tanah berbutir kasar: Jika kurang dari 50% lolos saringan No. 200 (75  $\mu$ m), mencakup kerikil (GW, GP, GM, GC) dan pasir (SW, SP, SM, SC). b) Tanah berbutir halus: Jika lebih dari 50% lolos saringan No. 200, terdiri dari lanau (ML, MH), lempung (CL, CH), dan campuran. Dalam klasifikasi USCS ada simbol – simbol yang harus dipahami. Dengan bertujuan untuk mempermudah memahami jenis dan sifat tanah. Simbol yang digunakan sebagai berikut :

**Tabel 1. Simbol Klasifikasi USCS**

|    |                                                        |
|----|--------------------------------------------------------|
| G  | <i>Gravel</i> ( kerikil )                              |
| S  | <i>Sand</i> ( pasir )                                  |
| C  | <i>Anorganic clay</i> ( lempung )                      |
| M  | <i>Anorganic silt</i> ( lanau )                        |
| O  | lanau atau lempung organik                             |
| Pt | <i>Peat</i> ( tanah gambut atau tanah organik tinggi ) |
| W  | <i>Well-graded</i> ( gradasi baik )                    |
| P  | <i>Poorly-graded</i> ( gradasi buruk )                 |
| H  | <i>High plasticity</i> ( plastisitas tinggi )          |
| L  | <i>low plasticity</i> ( plastisitas rendah )           |

## 2.4 Uji Sifat Fisis

### Uji Kadar Air

Uji kadar air tanah merupakan pengujian laboratorium untuk mengukur persentase berat air terhadap berat kering tanah, yang krusial untuk menentukan konsistensi, kepadatan, dan perilaku geoteknik tanah. Prosedur umum mengikuti SNI 1965:2019 atau ASTM D2216, melibatkan pengeringan sampel pada suhu 105-110°C hingga massa konstan.

Uji kadar air tanah merupakan pengujian laboratorium untuk mengukur persentase berat air terhadap berat kering tanah, yang krusial untuk menentukan konsistensi, kepadatan, dan perilaku geoteknik tanah. Prosedur umum mengikuti SNI 1965:2019 atau ASTM D2216, melibatkan pengeringan sampel pada suhu 105-110°C hingga massa konstan.

### Uji Berat Jenis

Berat jenis tanah (specific gravity,  $G_s$ ) adalah rasio antara massa butiran padat tanah terhadap massa air suling dengan volume dan suhu yang sama (Bambali et al., 2021), yang pengujiannya mengacu pada SNI 1964:2008.

### Analisa Saringan

Analisis saringan pada pengujian kuat geser tanah mengacu pada uji distribusi ukuran partikel tanah (mekanik saringan kering/basah) sebagai tahap persiapan untuk mengetahui kandungan fraksi granular sebelum uji direct shear atau triaksial, yang mempengaruhi nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser internal( $\phi$ ) (Nurdian et al., 2015).

### Uji Batas – Batas Atterberg

Batas-batas Atterberg merupakan ukuran kadar air kritis pada tanah berbutir halus yang menandai perubahan konsistensi dari cair ke padat, mencakup batas cair (LL), batas plastis (PL), dan batas susut (SL). Parameter ini digunakan untuk klasifikasi tanah

(USCS), indeks plastisitas ( $PI = LL - PL$ ), dan prediksi perilaku geoteknik seperti pemadatan atau kekuatan geser (Pramudya Wardani et al., n.d.).

#### 1. Batas Cair (Liquid Limit)

Pengujian batas cair ini diterapkan untuk menentukan konsistensi perilaku material dan sifatnya, dilakukan sesuai dengan metode (SNI 1967:2008).

#### 2. Batas Plastis (Plastic Limit)

Pengujian batas plastis merujuk pada kadar air tanah saat berada dalam kondisi plastis hingga semi padat. Nilai ini diukur dengan menggulung tanah hingga muncul retakan pertama. Kadar air pada kondisi penggulungan tersebut menjadi nilai batas plastis tanah (Darwis, 2018). Prosedur pengujian mengikuti standar SNI 1966:2008.

#### Uji Pemadatan Proctor

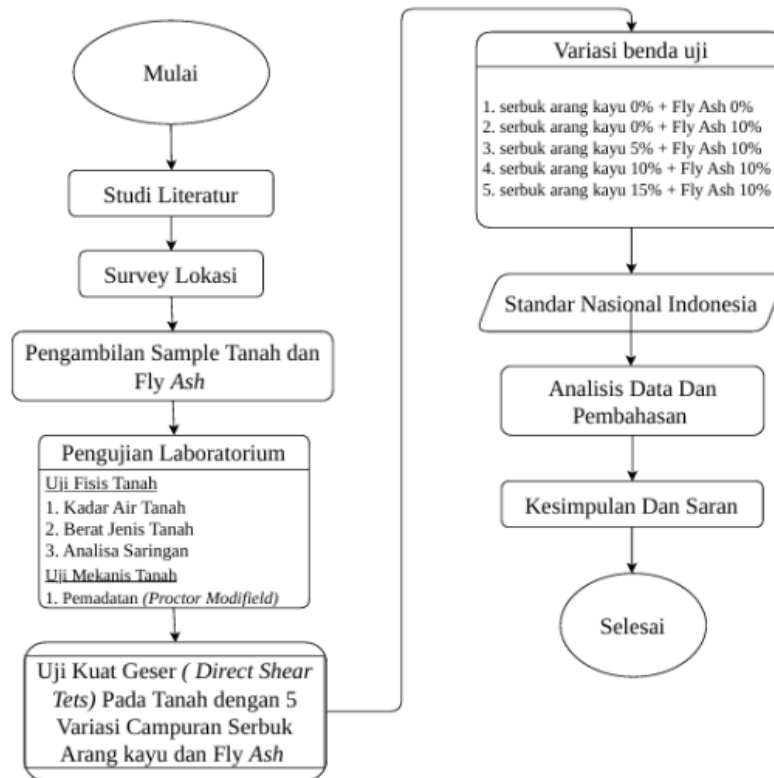
Uji pemadatan Proctor dirancang untuk mencari kepadatan kering maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) serta kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) tanah melalui proses pemadatan berulang dengan energi spesifik, sesuai standar SNI baik untuk versi standar maupun modified Proctor (Utami et al., 2019). Varian utamanya terdiri dari Standard Proctor (3 lapis, 25 pukulan per lapis, palu 2,5 kg jatuh 30 cm) untuk energi rendah, serta Modified Proctor (5 lapis, 25 pukulan per lapis, palu 4,5 kg jatuh 45 cm) untuk energi tinggi pada proyek berbeban berat seperti jalan tol. Data hasilnya dimanfaatkan untuk pengendalian lapangan guna memastikan tanah mencapai setidaknya 95%  $\gamma_{dmax}$  demi mengurangi potensi pergerakan tanah (Nawir et al., 2023).

#### Uji Kuat Geser Langsung

Uji kuat geser langsung (direct shear test) merupakan prosedur laboratorium yang mengukur kekuatan geser tanah melalui perpindahan horizontal dua bagian sampel dalam shear box di bawah tekanan normal konstan. Metode ini menghasilkan nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) berdasarkan grafik tegangan normal terhadap geser maksimum, mengikuti standar SNI atau ASTM. Pengujian ini efektif untuk tanah granular padat atau kondisi drainase cepat, tetapi kurang tepat pada skenario tidak drainase karena bidang kegagalan diasumsikan tetap (Rahim & Lenggu, 2024).

## 2. METODE PENELITIAN

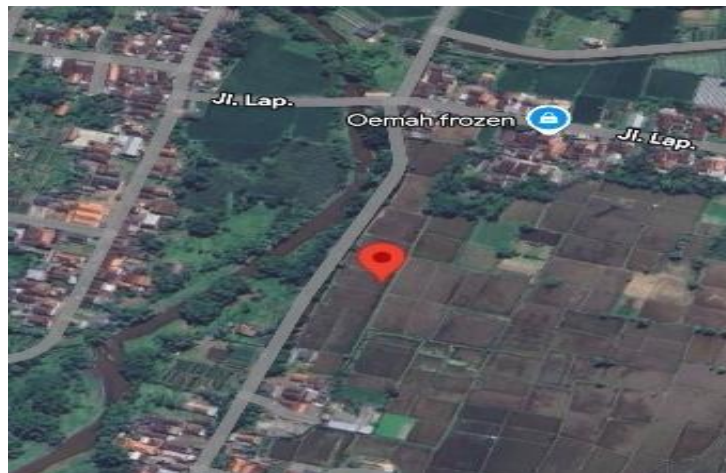
Metode yang digunakan adalah eksperimen, dimana peneliti akan melakukan percobaan terhadap benda yang akan diuji atau diteliti secara langsung sesuai dengan standar pengujian yang ada dan hasilnya akan dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya. Penelitian ini bertempat di Laboratorium Mekanika Tanah Prodi Teknik sipil Vokasi Universitas Negeri Surabaya.



**Flowchart 1. Diagram Alur Penelitian**

### 3.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini pengambilan sample tanah berlokasi di Ds. Kebunagung, Kec. Sukodono, Kab. Lumajang, Jawa timur.



**Gambar 1. Lokasi Penelitian**

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil uji laboratorium dimanfaatkan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah asli serta mengevaluasi perubahan sifat tanah setelah pencampuran dengan serbuk arang kayu dan fly ash. Pengujian meliputi sifat fisik-mekanik seperti kadar air, berat jenis, analisis saringan, batas Atterberg (LL, PL, IP), uji pemadatan Proctor, dan Uji Geser Langsung (Direct Shear Test). Data ini dianalisis guna menentukan kepadatan optimum

tanah asli, sekaligus dasar evaluasi kekuatan geser pada campuran serbuk arang kayu (variasi 0%, 5%, 10%, 15%) dan fly ash (10%).

a. Uji Kadar Air

**Tabel 2. Data Pengujian Kadar Air**

| Test No                                     |    | 1     | 2     | 3     |
|---------------------------------------------|----|-------|-------|-------|
| No Cawan                                    |    | 5     | 17    | 44    |
| Berat cawan kosong, (W1)                    | gr | 9     | 11    | 10,5  |
| Berat cawan + tanah basah, (W2)             | gr | 35    | 36,5  | 35,5  |
| Berat cawan + tanah kering, (W3)            | gr | 26,5  | 27,5  | 28    |
| Berat air, (W2 - W3)                        | gr | 8,50  | 9,00  | 7,50  |
| Berat tanah kering, (W3 - W1)               | gr | 17,50 | 16,50 | 17,50 |
| Kadar air, $w = (W2-W3)/(W3-W1) \times 100$ | %  | 48,57 | 54,55 | 42,86 |
| Kadar air rata-rata, w                      | %  | 48,66 |       |       |

Sumber: Dokumen Penelitian

Dari tabel kadar air di atas diperoleh hasil dan rata-rata pada 3 sampel yang di uji yaitu pada tes nomor 1 mendapatkan nilai kadar air 48,57% , pada tes nomor 2 mendapatkan nilai kadar air 54,55%, dan pada tes no 3 mendapatkan nilai kadar air 42,86%. Dari ketiga pengujian benda uji yang sudah dilakukan pada pengujian di laboratorium didapat rata rata kadar air sebesar 48,66%.

b. Uji Berat Jenis

**Tabel 3. Data Pengujian Berat Jenis**

| Berat Jenis Tanah Asli 100%                            |       |        |        |        |
|--------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| Test No                                                |       | 1      | 2      | 3      |
| No Pknometer                                           |       | A1     | A2     | A3     |
| Berat piknometer kosong, (W1)                          | gr    | 70,5   | 71,5   | 73     |
| Berat piknometer + tanah kering, (W2)                  | gr    | 81,5   | 80,5   | 82     |
| Berat piknometer + tanah kering + air, (W3)            | gr    | 177,88 | 178,09 | 180,08 |
| Temperatur campuran tanah + air, (T1)                  | °C    | 29     | 29     | 29     |
| Berat piknometer + air, (W4)                           | gr    | 171,06 | 172,07 | 174,76 |
| Berat tanah kering, (W2-W1)                            | gr    | 11     | 9      | 9      |
| Volume butiran tanah, $(W4)+(W2-W1)-(W3)$              | cc    | 4,18   | 2,98   | 3,68   |
| Gs (pada T1 °C) $= (W2-W1)/(W4)+(W2-W1)-(W3)$          | gr/cc | 2,632  | 3,020  | 2,446  |
| Koreksi, K                                             |       | 0,9978 | 0,9978 | 0,9978 |
| Gs (pada 20 °C) $= Gs \text{ (pada T1 °C)} \times K =$ | gr/cc | 2,626  | 3,013  | 2,440  |
| Gs (pada 20 °C) rata-rata =                            | gr/cc | 2,693  |        |        |

Sumber: Dokumen Penelitian

Dari tabel berat jenis di atas, hasil uji pada 3 sampel menunjukkan: tes 1 sebesar 2,626 gr/cc, tes 2 sebesar 3,013 gr/cc, dan tes 3 sebesar 2,440 gr/cc. Rata-rata dari ketiga pengujian laboratorium tersebut adalah 2,693 gr/cc. Berdasarkan nilai berat jenis ini, tanah termasuk kategori lempung anorganik, sesuai penilaian dan batas besaran

c. Uji Analisa Saringan

**Tabel 4. Data Pengujian Analisa Saringan**

| No. Ayakan | Diameter lubang ayakan | Berat tanah yang tertahan diatas tiap tiap ayakan (gr) | Berat tanah yang tertahan diatas tiap - tiap ayakan (%) | Kumulatif dari tanah yang tertahan (%) | Tanah yang lolos tiap ayakan (%) |
|------------|------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| 4          | 4,75                   | 0                                                      | 0                                                       | 0                                      | 100                              |
| 10         | 2                      | 0                                                      | 0                                                       | 0                                      | 100                              |
| 20         | 0,85                   | 0                                                      | 0                                                       | 0                                      | 100                              |
| 40         | 0,425                  | 0                                                      | 0                                                       | 0                                      | 100                              |
| 60         | 0,25                   | 0                                                      | 0                                                       | 0                                      | 100                              |
| 100        | 0,15                   | 60                                                     | 12                                                      | 12                                     | 88                               |
| 200        | 0,075                  | 119                                                    | 24                                                      | 36                                     | 64                               |
|            |                        | 322                                                    | 64                                                      | 100                                    | 0                                |

Sumber: Dokumen Penelitian

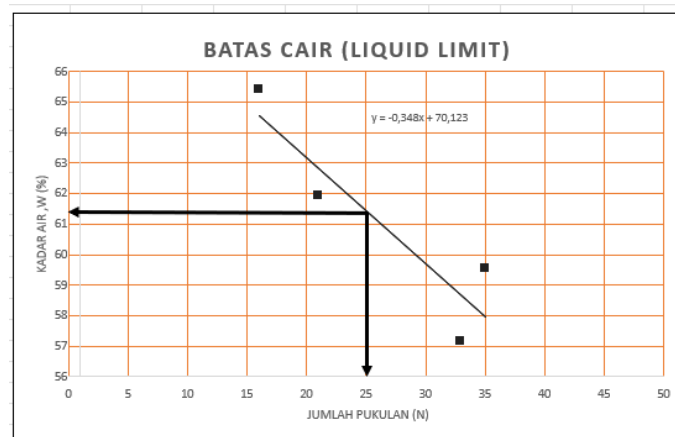
Pengujian analisis saringan menggunakan metode basah karena sampel tanah berupa lempung. Pengujian dilakukan dengan set ayakan No. 4, No. 10, No. 20, No. 40, No. 60, No. 100, No. 200, dan pan. Hasil yang diperoleh menunjukkan pada ayakan No.4 – No. 60 tanah yang lolos sebanyak 100% dari tanah yang di uji. Pada ayakan No. 100 tanah yang lolos adalah sebesar 12%, pada ayakan No. 200 tanah yang lolos sebesar 24% . Berdasarkan persen lolos saringan no.200 tanah tersebut masuk dalam golongan tanah lempung dengan kadar tinggi.

d. Uji Batas Cair

**Tabel 5. Data Pengujian Batas Cair**

| Test No                            |    | 1     | 2     | 3     | 4     |
|------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|
| No Cawan                           |    |       |       |       |       |
| Berat cawan kosong, (W1)           | gr | 11    | 11    | 11    | 13    |
| Berat cawan + tanah basah, (W2)    | gr | 32,5  | 44,5  | 44    | 47    |
| Berat cawan + tanah kering, (W3)   | gr | 24    | 32    | 32    | 34    |
| Berat air, (W2 - W3)               | gr | 8,50  | 12,50 | 12,00 | 13,00 |
| Berat tanah kering, (W3 - W1)      | gr | 13,00 | 21,00 | 21,00 | 21,00 |
| Kadar air, w (W2-W3)/(W3-W1) x 100 | %  | 65,38 | 59,52 | 57,14 | 61,90 |
| Jumlah Pukulan                     |    | 16,00 | 35,00 | 33,00 | 21,00 |
| LL                                 |    | 61,42 |       |       |       |

Sumber: Dokumen Penelitian



**Gambar 2. Grafik Batas Cair**

Sumber: Dokumen Penelitian

Dari Grafik diatas terhadap jumlah ketukan dan kadar ait diperoleh nilai batas Cair LL= 61,42%, Maka tanah tersebut masuk kategori lempung dengan plastisitas yang tinggi (LL>40%)

e. Uji Batas Plastis

**Tabel 6. Data Pengujian Batas Plastis**

| Test No                             |    | 1     | 2     | 3     | 4     |
|-------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|
| No Cawan                            |    |       |       |       |       |
| Berat cawan kosong, (W1)            | gr | 11    | 11    | 12,5  | 11    |
| Berat cawan + tanah basah, (W2)     | gr | 15,5  | 14    | 17    | 14    |
| Berat cawan + tanah kering, (W3)    | gr | 14,5  | 13    | 16    | 13,5  |
| Berat air, (W2 - W3)                | gr | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 0,50  |
| Berat tanah kering, (W3 - W1)       | gr | 3,50  | 2,00  | 3,50  | 2,50  |
| Kadar air, w (W2-W3)/(W3-W1) x 100  | %  | 28,57 | 50,00 | 28,57 | 20,00 |
| Batas Plastis (Plastic Limit), PL = |    | 31,79 |       |       |       |

Sumber: Dokumen Penelitian

Dari hasil perhitungan pada tabel tersebut, maka dapat diperoleh hasil dan rata-rata pada 4 sampel yang di uji yaitu pada tes nomor 1 mendapatkan nilai Batas plastis 28,57%, pada tes nomor 2 mendapatkan Batas plastis 50,00%, pada tes no 3 mendapatkan Batas plastis 28,57%, dan pada tes no 4 mendapatkan Batas plastis

20,00%. Dari ketiga pengujian benda uji yang sudah dilakukan pada pengujian di laboratorium didapat rata rata Batas plastis tanah sebesar 31,79%

f. Klasifikasi Tanah USCS

**Tabel 7. Klasifikasi Tanah USCS**

| No | Parameter                       | Hasil | Satuan |
|----|---------------------------------|-------|--------|
| 1  | Pengujian kadar air             | 48,66 | %      |
| 2  | Pengujian berat jenis tanah     | 2,693 | gr/cc  |
| 3  | Pengujian analisa saringan      |       |        |
|    | #4 (4,75)                       | 100   | %      |
|    | #10 (2)                         | 100   | %      |
|    | #20 (0,85)                      | 100   | %      |
|    | #40 (0,425)                     | 100   | %      |
|    | #60 (0,25)                      | 100   | %      |
|    | #100 (0,15)                     | 88    | %      |
|    | #200 (0,075)                    | 64    | %      |
| 4  | Pengujian batas-batas Atterberg |       |        |
|    | 1. Batas Cair (LL)              | 61,42 |        |
|    | 2. Batas Plastis (PL)           | 31,79 |        |
|    | 3. Indeks Plastisitas           | 29,63 |        |

Sumber: Dokumen Penelitian

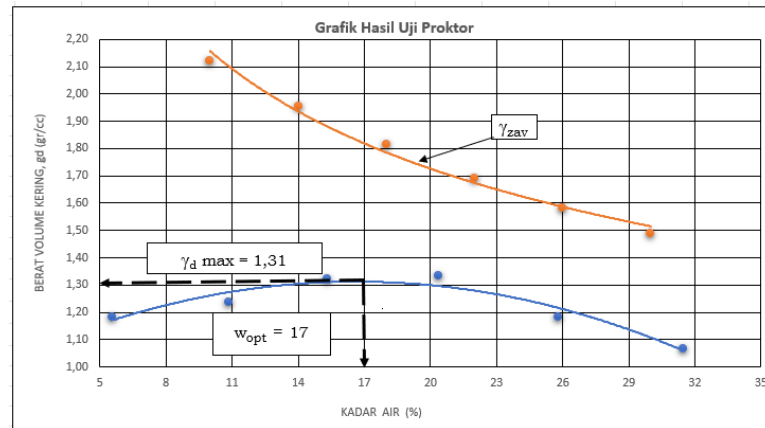
Berdasarkan tabel , fraksi yang lolos ayakan No. 200 lebih dari 50% dan batas cairnya melebihi 50%. Oleh karena itu, pada grafik di Gambar 4.2 dimasukkan nilai batas cair (Liquid Limit) dan indeks plastisitas (Plasticity Index), sehingga tanah uji dikategorikan sebagai CH atau OH menurut klasifikasi USCS, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.1. Dalam sistem USCS, simbol CH menunjukkan tanah lempung (C) dengan plastisitas tinggi (H), sedangkan simbol OH menunjukkan tanah organik (O) dengan plastisitas tinggi (H).

g. Uji Pemadatan Proctor

**Tabel 8. Data Pengujian Proctor**

| Test No                               |                    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|---------------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Penambahan Air (%)                    |                    | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     |
| No cawan                              |                    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| Berat cawan, (W1)                     | gr                 | 12,67  | 12,33  | 12,83  | 12,33  | 11,50  | 12,33  |
| Berat cawan + tanah basah, (W2)       | gr                 | 25,33  | 29,33  | 34,17  | 35,00  | 37,50  | 36,00  |
| Berat cawan + tanah kering, (W3)      | gr                 | 24,67  | 27,67  | 31,33  | 31,17  | 32,17  | 30,33  |
|                                       |                    |        |        |        |        |        |        |
| Berat Mold, (W4)                      | gr                 | 1696   | 1696   | 1696   | 1696   | 1696   | 1696   |
| Berat Mold + tanah basah, (W5)        | gr                 | 2846,5 | 2960,5 | 3098   | 3174   | 3066   | 2989   |
| Berat tanah basah, W5-W4              | gr                 | 1151   | 1265   | 1402,5 | 1478,5 | 1371   | 1293,5 |
| Volume Mold, V                        | cm <sup>3</sup>    | 921,03 | 921,03 | 921,03 | 921,03 | 921,03 | 921,03 |
| Berat volume, $\gamma = (W5-W4)/V$    | gr/cm <sup>3</sup> | 1,250  | 1,373  | 1,523  | 1,605  | 1,488  | 1,404  |
| Kadar air                             | %                  | 5,56   | 10,87  | 15,32  | 20,35  | 25,81  | 31,48  |
| Berat volume kering, $\gamma_d$       | gr/cm <sup>3</sup> | 1,184  | 1,239  | 1,321  | 1,334  | 1,183  | 1,068  |
| w, untuk menentukan $\gamma_{d_{av}}$ | %                  | 10     | 14     | 18     | 22     | 26     | 30     |
| y zero air void, $\gamma_{d_{av}}$    | gr/cm <sup>3</sup> | 2,122  | 1,956  | 1,814  | 1,691  | 1,584  | 1,490  |

Sumber: Dokumen Penelitian



**Gambar 3. Grafik Hasil Uji Proktor**

Sumber: Dokumen Penelitian

Dari pengujian pemadatan standar yang telah dilakukan mendapatkan hasil kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) sebesar 17%, Sedangkan untuk nilai berat kering maksimum ( $\gamma_d$ ) sebesar 1,31 gr/cc. nilai kadar air optimum ini yang akan selanjutnya dijadikan acuan dalam pengujian mekanis kuat geser tanah (direct shear test)

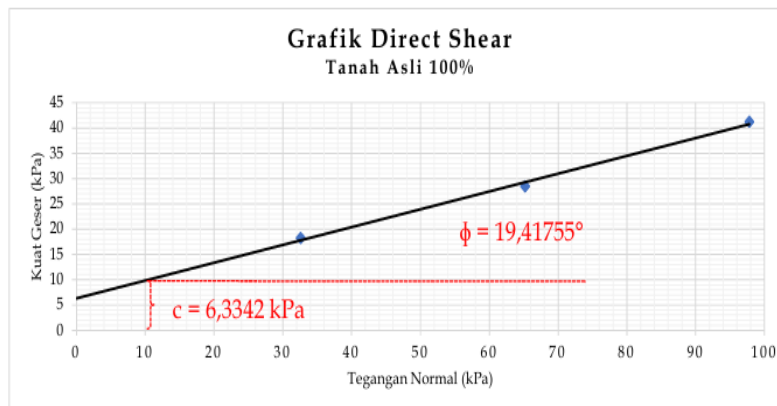
h. Uji Kuat Geser Langsung

- Uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) pada Tanah Asli 100%

**Tabel 9. Data Pengujian Kuat Geser**

| N  | Tegangan Normal    |        | Tegangan Geser |
|----|--------------------|--------|----------------|
| Kg | Kg/cm <sup>2</sup> | kPa    | kPa            |
| 10 | 0,326              | 32,595 | 18,253         |
| 20 | 0,652              | 65,190 | 28,455         |
| 30 | 0,978              | 97,785 | 41,233         |

Sumber: Dokumen Penelitian



**Gambar 4. Grafik Hasil Uji Kuat Geser**

Sumber: Dokumen Penelitian

**Tabel 10. Parameter Kuat Geser**

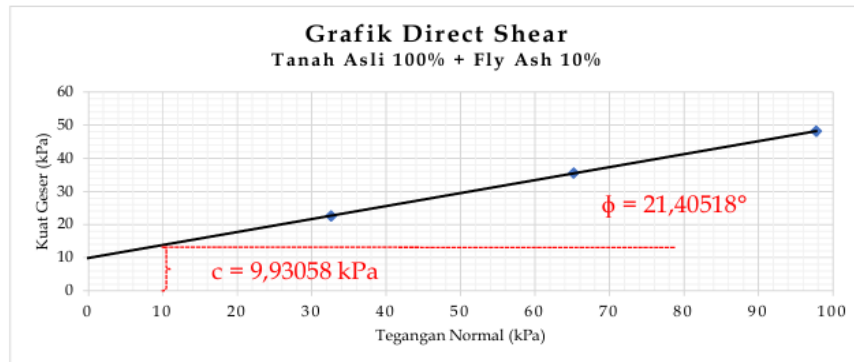
| Parameter Kuat Geser |           |
|----------------------|-----------|
| c                    | 6,334 kPa |
| $\phi$               | 19,417°   |

Sumber: Dokumen Penelitian

- Uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) **pada tanah asli 100% + Fly ash 10%**

**Tabel 11. Data Pengujian Kuat Geser**

| N  | Tegangan Normal    |        | Tegangan Geser |
|----|--------------------|--------|----------------|
| kg | Kg/cm <sup>2</sup> | kPa    | kPa            |
| 10 | 0,326              | 32,595 | 22,653         |
| 20 | 0,652              | 65,190 | 35,594         |
| 30 | 0,978              | 97,785 | 48,208         |



**Gambar 5. Grafik Hasil Uji Kuat Geser**

Sumber: Dokumen Penelitian

**Tabel 12. Parameter Kuat Geser**

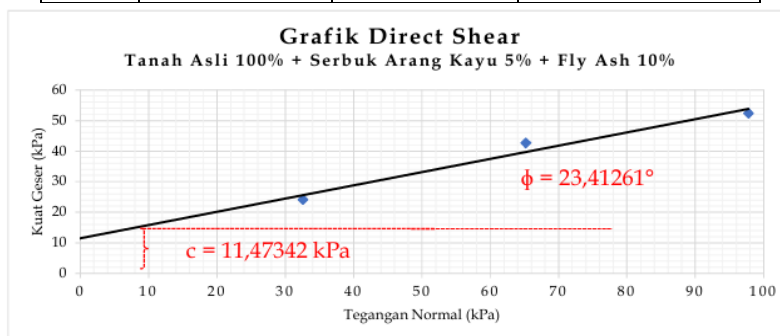
| Parameter Kuat Geser |           |
|----------------------|-----------|
| c                    | 9,930 kPa |
| $\phi$               | 21,405°   |

Sumber: Dokumen Penelitian

- Uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) **pada tanah asli 100% + Serbuk Arang Kayu 5% + Fly ash 10%**

**Tabel 13. Data Pengujian Kuat Geser**

| N  | Tegangan Normal    |        | Tegangan Geser |
|----|--------------------|--------|----------------|
| kg | Kg/cm <sup>2</sup> | kPa    | kPa            |
| 10 | 0,326              | 32,595 | 24,120         |
| 20 | 0,652              | 65,190 | 42,634         |
| 30 | 0,978              | 97,785 | 52,347         |



**Gambar 6. Grafik Hasil Uji Kuat Geser**

Sumber: Dokumen Penelitian

**Tabel 15. Parameter Kuat Geser**

| Parameter Kuat Geser |            |
|----------------------|------------|
| c                    | 11,473 kPa |
| $\phi$               | 23,413°    |

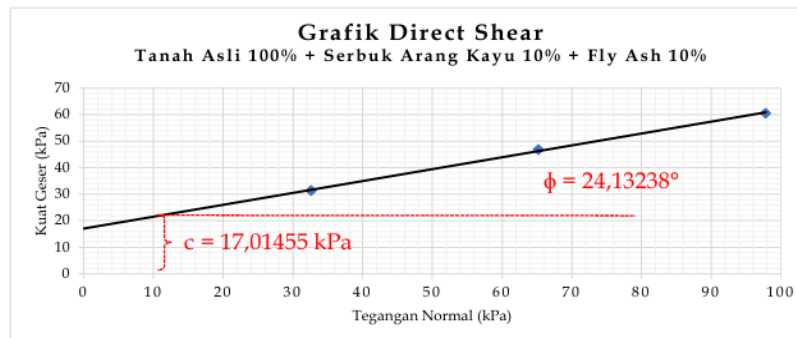
Sumber: Dokumen Penelitian

- Uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) **pada Tanah asli 100% + Serbuk arang kayu 10% + Fly ash 10%**

**Tabel 16. Data Pengujian Kuat Geser**

| N  | Tegangan Normal    |        | Tegangan Geser |
|----|--------------------|--------|----------------|
|    | Kg/cm <sup>2</sup> | kPa    | kPa            |
| 10 | 0,326              | 32,595 | 31,324         |
| 20 | 0,652              | 65,190 | 46,806         |
| 30 | 0,978              | 97,785 | 60,529         |

Sumber: Dokumen Penelitian



**Gambar 7. Grafik Hasil Uji Kuat Geser**

Sumber: Dokumen Penelitian

**Tabel 17. Parameter Kuat Geser**

| Parameter Kuat Geser |            |
|----------------------|------------|
| C                    | 17,014 kPa |
| $\Phi$               | 24,132°    |

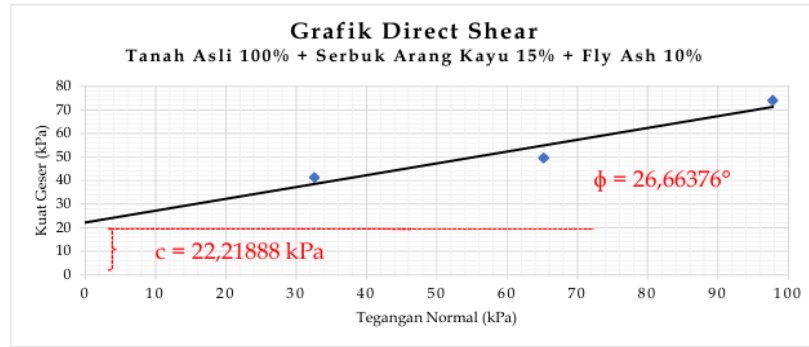
Sumber: Dokumen Penelitian

- Uji Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) **pada Tanah asli 100% + Serbuk arang kayu 15% + Fly ash 10%;**

**Tabel 18. Data Pengujian Kuat Geser**

| N  | Tegangan Normal    |        | Tegangan Geser |
|----|--------------------|--------|----------------|
|    | Kg/cm <sup>2</sup> | kPa    | kPa            |
| 10 | 0,326              | 32,595 | 41,233         |
| 20 | 0,652              | 65,190 | 49,577         |
| 30 | 0,978              | 97,785 | 73,925         |

Sumber: Dokumen Penelitian



**Gambar 8. Grafik Hasil Uji Kuat Geser**

Sumber: Dokumen Penelitian

**Tabel 19. Parameter Kuat Geser**

| Parameter Kuat Geser |            |
|----------------------|------------|
| C                    | 22,219 kPa |
| $\Phi$               | 26,664°    |

Sumber: Dokumen Penelitian

Berikut disajikan rekapitulasi hubungan nilai kohesi dan sudut geser pada seluruh variasi penambahan **serbuk arang kayu** dan **fly ash** sebagai bahan campuran, sebagaimana ditampilkan pada Tabel :

**Tabel 20. Data Pengujian Kuat Geser**

| Variasi Sampel                                        | C (kPa) | $\Phi$ (derajat) |
|-------------------------------------------------------|---------|------------------|
| Tanah Asli 100%                                       | 6,334   | 19,417           |
| Tanah Asli 100% + Fly ash 10%                         | 9,930   | 21,405           |
| Tanah Asli 100% + Serbuk Arang Kayu 5% + Fly ash 10%  | 11,473  | 23,412           |
| Tanah Asli 100% + Serbuk Arang Kayu 10% + Fly ash 10% | 17,014  | 24,132           |
| Tanah Asli 100% + Serbuk Arang Kayu 15% + Fly ash 10% | 22,218  | 26,664           |

Sumber : Data Penelitian

Setelah penambahan serbuk arang kayu dan fly ash sebagai bahan campuran pada tanah, nilai kohesi (c) mengalami peningkatan maksimum pada variasi 100% tanah asli + serbuk arang kayu 15%+ 10% fly ash.

#### 4. DAFTAR PUSTAKA

Ananda Upa', V., & Hakim, N. (2019). Analisis Kekuatan dan Stabilitas Tanah Lempung Organik Artifisial Untuk Perencanaan Jalan dengan Beban Lalu Lintas Tinggi. In Jurnal Aplikasi Teknik Sipil (Vol. 17, Number 2).

- Bella, R. A., Kerusakan, I., Akibat, K., Pengembangan, P., Lempung, T., Di Desa, E., & Bella, R. A. (2015). Identifikasi Kerusakan Kontruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Di desa Oebelo. In *Jurnal Teknik Sipil: IV (Number 2)*.
- Candra, A. I., Anam, S., Mahardana, Z. B., & Cahyono, A. D. (2018). Studi Kasus Stabilitas Struktur Tanah Lempung Pada Jalan Totok Kerot Kediri Menggunakan Limbah Kertas.
- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif. In *Jurnal Teknik Sipil (Vol. 10, Number 1)*.
- Indera, R., Mina, E., & Fakhri, N. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Dengan Memanfaatkan Limbah Gypsum Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai CBR. In *Jurnal Fondasi (Vol. 7, Number 1)*.
- Lydia, D., Sahat, S., & Yonas, P. (2023). Pengaruh Elektroomosis Terhadap Kuat geser tanah Lempung.
- Melati Nurita Sandi, D., Wendy Natasha, L., Ulfiyati, Y., & Suryani, E. (2022). Pemanfaatan Bubuk Arang Kayu Terhadap Stabilitas Tanah Lempung di Dusun Jatiluhur, Banyuwangi. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 3(1), 12–16. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v3i1.275>
- Mina, E., Fathonah, W., Wally, M. G., Fajarwati, Y., & Kusuma, I. fajar. (2022). Stabilisasi Tanah Dengan Penambahan Arang Kayu Terhadap Nilai Daya Dukung CBR. 18(1). <https://doi.org/10.21831/inersia.v18i1>
- Natalia, S., Sompie, O. B. A., & Manaroinsong, L. (2018). Pengaruh Penambahan Abu Batu Bara Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung.
- Nawir, H., Pramudita, L. D., Kartikadewi, T., Apoji, D., & Krisnanto, S. (2023). Compaction Control Using Degree of Saturation and Plasticity Index on Tropical Soil. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 55(3), 261–274. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2023.55.3.5>
- Nurdian, S., Setyanto, & Afriani, L. (2015). Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan menggunakan Uji Triaksial Dan Uji Kuat Geser Langsung Pada Tanah Lempung Substitusi Pasir.
- Pramudya Wardani, S., Rustamaji, R. M., & Aprianto. (n.d.). Pengaruh Siklus Basah Kering Pada Sampel Tanah Terhadap Nilai Atterberg Limit.
- Rahim, A., & Lenggu, J. C. A. (2024). Analisa Kuat Geser Tanah Pada Lokasi Km 9 Kampung Kadun Jaya Menggunakan Alat Uji Geser Langsung (Direct Shear). *Jurnal Teknik AMATA*, 5(2).
- Th Rompas Turangan E, C. A., & Riogilang, H. (2018). Pengaruh Pencampuran Belerang Terhadap Kuat Geser Tanah. *Jurnal Sipil Statik*, 6(10), 793–800.
- Utami, W., Setyanto, & Sulistyorini, R. (2019). Korelasi Uji Pemadatan Standard Proctor Method Terhadap Pengujian CBR Laboratorium Berdasarkan Alat Uji Tekan Modifikasi di Laboratorium Untuk Pemadatan Tanah di Lapangan.