

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan terdiri dari bahan-bahan organik yang telah melapuk yang disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut

Tanah merupakan bagian terpenting pada pekerjaan konstruksi. Kondisi tanah sangat berpengaruh terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya, baik konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan raya karena jika terjadi kerusakan pada tanah akan berakibat fatal terhadap konstruksi yang ada di atasnya. Oleh karena itu kondisi dan sifat fisik tanah harus diketahui terlebih dahulu pada saat akan membangun konstruksi di atasnya.

Banyak daerah di Indonesia yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif. Hal ini menghadapkan kita pada suatu pilihan untuk mendirikan bangunan pada lokasi tanah yang kurang menguntungkan bila ditinjau dari segi geoteknisnya, seperti pada tanah lempung ekspansif.

Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung tanah yang rendah pada kondisi muka air yang tinggi, sifat kembang susut yang besar dan plastisitas yang tinggi. Kemampuan mengembang yang cukup besar pada tanah ini mengakibatkan terjadinya penurunan yang sering kali tidak dapat ditahan oleh struktur di atasnya. Penurunan pada tanah umumnya terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama dan secara terus menerus. Oleh karena itu diperlukan perbaikan tanah pada tanah lempung ekspansif ini baik secara fisik, kimiawi, maupun secara mekanis.

Metode yang sering digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah pada tanah lempung ekspansif antara lain dengan cara mengganti material atau mencampur tanah, pemakaian ceruk bambu, penggunaan geosintesis, dan dengan merubah sifat

kimiawi tanah. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan solusi terbaik pada penanganan untuk tanah lempung ekspansif ini, salah satunya adalah dengan mencampur tanah dasar yang ada dengan bahan tambahan yang mempunyai kandungan kimia dan sifat-sifat khusus sehingga dapat mendapatkan sifat tanah dasar yang diinginkan. Beberapa diantaranya adalah dengan menggunakan campuran mortar, kapur, serat karung plastic, abu sekam padi, dan bubur kayu.

Di wilayah Bojonegoro, tepatnya di Desa Ngasem teridentifikasi oleh tanah lempung ekspansif. Tanah ekspansif merupakan tanah atau batuan yang memiliki potensi untuk mengembang dan menyusut akibat pengaruh kadar air. lempung merupakan tanah dengan ukuran mikronis sampai dengan sub-mikronis yang dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. oleh karena itu diperlukan adanya tindakan untuk meningkatkan kualitas dan daya dukung tanah lempung ekspansif, salah satunya yaitu dengan menggunakan campuran *fly ash*, dan *slag baja*.

Pada penelitian ini, perbaikan tanah lempung dilakukan dengan menggunakan penambahan bahan campuran sebanyak 5%, 10%, dan 15% dari berat tanah (dengan perbandingan campuran 75% *slag baja* dan 25% *fly ash*). Pada penelitian sebelumnya, dengan menggunakan campuran yang sama (dengan perbandingan *fly ash* 50% dan *slag baja* 50%) mendapatkan nilai CBR (*soaked* dan *unsoaked*) tertinggi dan prosentase swelling minimum pada kondisi campuran dengan prosentase 10%.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Dari berbagai sifat-sifat tanah diatas, masing-masing memiliki penanganan yang berbeda-beda. Pada penelitian kali ini akan dibahas tentang perkuatan tanah pada tanah yang bersifat lempung ekspansif, yaitu tanah yang memiliki sifat mengembang dan menyusut secara ekstrim sehingga menyebabkan perubahan volume yang besar atau potensi kembang susut yang besar akibat perubahan kadar air.

Salah satu penanganan yang bisa digunakan adalah dengan melakukan stabilitas pada tanah tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai cara perbaikan stabilitas pada tanah lempung ekspansif. Pada penelitian ini akan digunakan metode perbaikan tanah dengan menggunakan *slag baja* dan *fly ash* sebagai campuran perkuatan tanah lempung ekspansif.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *slag baja* dan *fly ash* terhadap berat isi kering dan kadar air optimum (OMC)?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *slag baja* dan *fly ash* terhadap nilai CBR, dan pada prosentase berapakah yang mendapatkan CBR maksimum?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *slag baja* terhadap nilai swelling, dan pada prosentase berapakah yang mendapatkan nilai swelling minimum?

### 1.4 Pembatasan Masalah

Agar tujuan yang diinginkan dapat tercapai, maka diberikan batasan terhadap permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, meliputi pemeriksaan analisa butiran, batas-batas atterberg, berat jenis tanah, pemadatan standard, uji swelling, dan CBR *soaked* dan CBR *unsoaked*.
2. Tanah lempung yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung yang berasal dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur pada kedalaman 50 cm diatas permukaan tanah.
3. Jenis *slag baja* yang digunakan adalah limbah dari PT. Ispat Indo (Jl. Gajahmada Kedungturi, Taman, Sidoarjo)
4. Air yang digunakan adalah air PDAM Kodya Malang.
5. Suhu selama proses pengujian/percobaan disesuaikan dengan suhu kamar.
6. Standart yang dilakukan dalam pengamatan percobaan di laboratorium mengikuti ASTM (*American Society For Testing and Materials*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation*).

7. Benda uji terdiri dari 0% ; 5% ; 10% ; dan 15% bahan campuran (*slag baja* 75% dan *fly ash* 25%) dari berat kering tanah.
8. Setiap variasi sampel ditambahkan air sesuai dengan rancangan kemudian dilakukan pengujian.

### 1.5 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *slag baja* dan *fly ash* terhadap berat isi kering dan kadar air optimum (OMC).
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *slag baja* pada nilai CBR terendam dan tanpa rendaman, dan kadar penambahan *slag baja* dan *fly ash* yang mendapatkan nilai CBR optimum.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *slag baja* dan *fly ash* terhadap nilai swelling dan kadar penambahan *slag baja* dan *fly ash* yang mendapatkan nilai swelling minimum.
4. Sebagai pembandingan pada penelitian yang lain dengan perbandingan bahan campuran 25% *slag baja* dan 75% *fly ash*.

### 1.6 Kegunaan

Adapun kegunaan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai salah satu alternative yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan/stabilisasi tanah yang memiliki sifat teknis tidak menguntungkan.
2. Sebagai salah satu solusi untuk penggunaan kembali limbah yang tidak bermanfaat menjadi suatu bahan yang dapat digunakan.
3. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah Lempung

##### 2.1.1 Pengertian Tanah Lempung

Pada umumnya, yang disebut dengan tanah lempung adalah tanah dengan ukuran partikel mikrokonis sampai dengan submikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur kimiawi penyusun batuan (Terzaghi, 1987). Tanah lempung dapat dibagi menjadi dua dilihat dari mineral pembentuknya, yaitu tanah lempung ekspansif dan tanah lempung non ekspansif. tanah lempung ekspansif mengandung jenis-jenis material tertentu yang mengakibatkan tanah lempung ekspansif mempunyai luas permukaan yang cukup besar dan mudah menyerap air dalam jumlah besar.

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki potensi mengembang dan menyusut secara ekstrim. Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah berbutir halus dengan koloidal terbentuk dari mineral ekspansif. Semua tanah lempung yang mengandung mineral ekspansif akan mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar jika terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya.

Pada umumnya tanah lempung ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ ) sebagian besar terdiri dari partikel-partikel mikroskopis dan sub mikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih. Tanah lempung sebagian besar terdiri dari unsur silika dan alumunium. Umumnya partikel partikel tanah lempung mempunyai muatan negative pada permukaannya, sedangkan molekul air bermuatan positif. Dua kutub tersebut tertarik oleh partikel lempung yang bermuatan negative dan oleh adanya kation-kation dalam lapisan ganda (*double layer*), oleh karena itulah pada saat musim hujan tanah lempung akan sangat liat (Das, 1988).

Sifat liat tanah lempung bergantung pada hasil pelapukan batu yang berasal dari materi debu dengan perbandingan kecil. Tanah lempung memiliki bermacam-macam tekstur. Macam-macam tanah tersebut juga memiliki ciri

morfologi yang membedakan antara satu tanah dengan tanah lainnya. berikut beberapa diantaranya:

- Tanah lempung (*Loam*), tidak terasa kasar dan licin serta permukaan yang mengkilap apabila dibentuk bola.
- Tanah lempung berpasir (*Sand Loam*), tanah terasa kasar dan mampu membentuk bola agak keras tetapi mudah hancur.
- Tanah lempung liat berpasir (*Sand-Clay Loam*), tanah dapat dibentuk gulungan yang dipilin, tetapi mudah hancur dan melekat.
- Tanah lempung liat berdebu (*Sandy-Silt Loam*), tanah terasa licin dan membentuk bola dan gulungan mengkilat dan melekat.
- Tanah lempung berliat (*Clay Loam*), tanah terasa agak kasar, membentuk gumpalan, dan daya lekatnya sedang.
- Tanah lempung berdebu (*Silty Loam*), tanah terasa agak licin dan dapat melekat.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh tanah lempung adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus ( $< 0.002$  mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Prosentase mengembang dan menyusut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

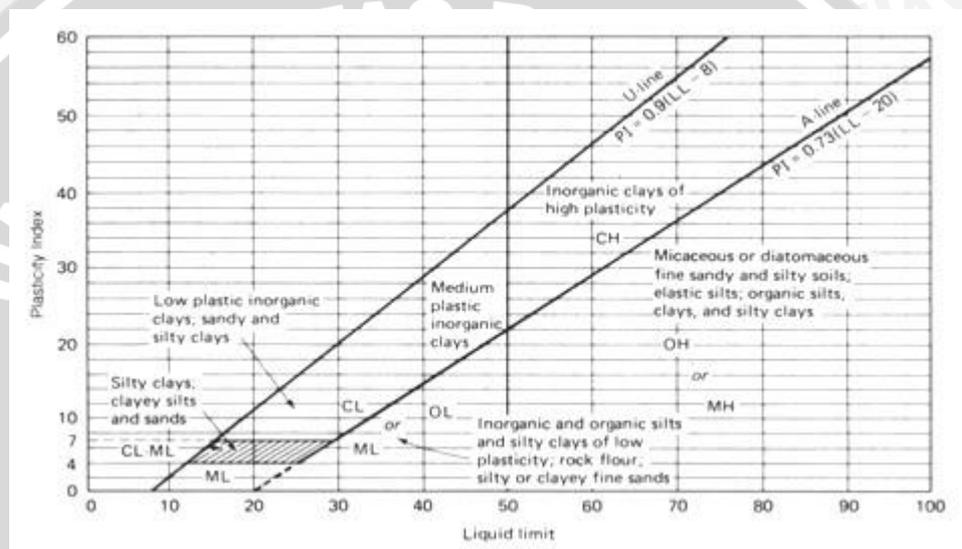
Konsistensi dari tanah lempung sendiri sangat dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembangan.

### 2.1.2 Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified (U.S.C.S)*

Sistem klasifikasi tanah *unified* merupakan sistem yang paling banyak digunakan secara meluas dan secara internasional telah diakui serta dipakai untuk berbagai macam pekerjaan teknik pondasi. Sistem *unified* ini merupakan analisis yang mutlak didasarkan pada hasil pengujian laboratorium. Pengujian yang digunakan antara lain yaitu analisa butir, dan batas-batas atterberg.

Klasifikasi ini mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar < 50% berat total sampel tanah lolos saringan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G (*gravel*) untuk kerikil atau S (*sand*) untuk tanah berpasir.
- 2) Tanah berbutir halus > 50% berat total sampel tanah lolos saringan No.200. simbol kelompok ini dimulai dengan huruf awal M (*silt*) untuk lanau anorganik, C (*clay*) untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik.



Gambar 2.1 Grafik Klasifikasi Tanah U.S.C.S

- Garis A pada umumnya memisahkan material seperti tanah liat (*clay*) dari material tanah gambut (*silty*), dan organik dari non-organik.
- Garis U menyatakan batas teratas untuk tanah pada umumnya.

*Catatan:* Jika batas pengukuran tanah berada di kiri garis U, maka perlu dilakukan pengecekan ulang. (Holtz and Kovacs, 1981)

### 2.1.3 Kepadatan Tanah Lempung

Tekstur tanah diartikan sebagai proporsi pasir, debu dan lempung. Tekstur tanah ditentukan di lapangan dengan cara melihat gejala konsistensi dan rasa

perabaan menurut bagan alir dan di laboratorium dengan metode pipet atau metode hydrometer. Tekstur tanah menentukan tata air, tata udara, kemudahan pengolahan dan struktur tanah. Berdasarkan prosentase perbandingan friksi-friksi tanah, maka tekstur tanah dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: halus, sedang, dan kasar. Makin halus teksur tanah mengakibatkan kualitasnya menurun karena berkurangnya kemampuan menghisap air.

Tanah lempung memiliki ciri berbutiran halus. Bentuk butir-butir lempung biasanya seperti mika dan liat bila lembab. Pada sifat fisik tanah, tanah seperti ini sangat liat, menjadi lekat jika terlalu basah, keras jika kering dan menggumpal dan akan menyebabkan resiko yang besar jika tidak ditangani secara tepat. Umumnya memiliki daya serap air yang cukup besar. (Harry O. Buckman dan Nyle C. Brady, 1982).

sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat (Hardiyatmo, 1992). Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya

berukuran koloid, merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu < 1  $\mu\text{m}$  (2  $\mu\text{m}$  merupakan batas atasnya). Tanah lempung merupakan hasil proses pelapukan mineral batuan induknya, yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida.

*Proctor* (1933), telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering yang padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya salah satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Hubungan berat volume kering ( $\gamma_d$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ), dinyatakan dalam pernyataan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w}$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Macam tanah, seperti

distribusi ukuran butir , bentuk butiran , berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya.

Energi pemadatan per volume satuan (E), dinyatakan dalam persamaan:

$$E = \frac{Nb Ni W H}{V}$$

Dengan: Nb = Jumlah pukulan per lapisan

Ni = Jumlah lapisan

W = Berat pemukul

H = Tinggi jatuh pemukul

V = Volume *mould*

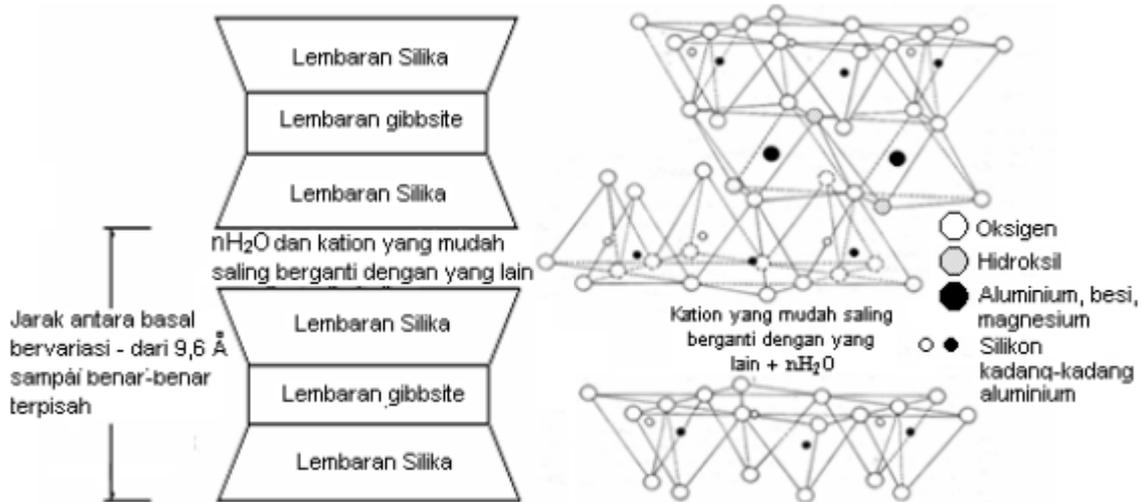
Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah pemadatan bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah, dan kadar airnya.

## 2.2 Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki potensi mengembang dan menyusut secara ekstrim. Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah dengan partikel agregat yang berbutir halus dan tersusun dari mineral mineral ekspansif sehingga memiliki sifat mengembang dan menyusut yang besar jika terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya. Beberapa jenis mineral penyusun tanah lempung ekspansif antara lain adalah *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite*.

### a. *Montmorillonite*

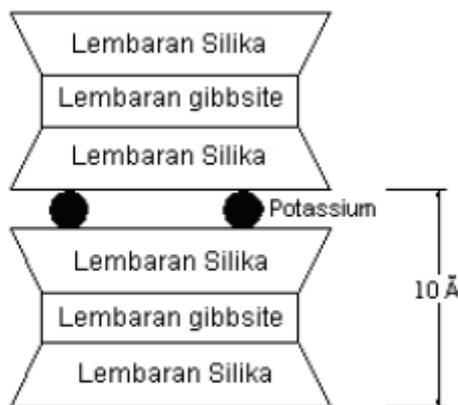
Disebut juga mineral dua banding satu karena struktur kristalnya terbentuk dari dua lempeng silica tetrahedral ( $\text{SiO}_2$ ) yang mengapit satu lempeng alumina octahedral ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ditengahnya. Karena struktur inilah *montmorillonite* dapat mengembang dan menyusut dan mempunyai daya absorpsi air dan kation yang lebih tinggi.



Struktur montmorillonite (Das Braja M, 1988)

b. *Illite*

*Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *montmorillonite*, perbedaannya adalah terdapat sekitar 20% pergantian silicon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral, dan struktur mineralnya tidak dapat mengembang.



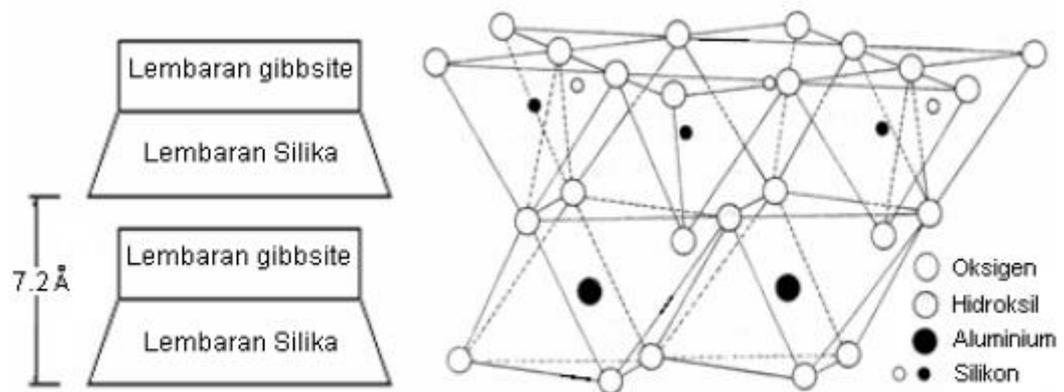
Struktur illite (Das Braja M, 1988)

c. *Kaolinite*

Merupakan hasil pelapikan sulfat atau air yang mengandung karbonat pada temperature sedang. Bagian dasar dari struktur ini adalah lemparan tunggal silica tetrahedral yang digabung dengan satu lemparan alumina

oktahedran. *Kaolinite* murni umumnya berwarna putih, putih kelabu, kekuning-kuningan, atau kecoklat-coklatan.

Untuk mengenali jenis tanah lempung ekspansif ini maka perlu dilakukan penyelidikan geoteknik dengan melakukan pengambilan sampel tanah di lapangan dan melakukan uji laboratorium. Pada umumnya tanah ekspansif sangat sensitive dengan pengaruh musim, selain itu kondisi lingkungan juga sangat berpengaruh pada perilaku kembang susut pada tanah jenis ini.



Struktur *kaolinite* (Das Braja M, 1988)

### 2.2.1 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut Chen (1975), cara-cara yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu:

1. Identifikasi mineralogi

Analisa Minerologi sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

- Difraksi sinar X (X-Ray Diffraction).
- Difraksi sinar X (X-Ray Fluorescence)
- Analisa Kimia (Chemical Analysis)
- Mikroskop Elektron (Scanning Electron Microscope).

2. Cara tidak langsung (indeks tunggal)

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas Atterberg, uji CBR, dan uji kembang susut tanah (*Swelling*).

### 2.2.2 Batas Konsistensi (Atterberg)

Atterberg limit merupakan ukuran dasar dari butiran halus tanah. Tergantung pada kandungan air pada tanah, tanah dapat diklasifikasikan menjadi empat kondisi, yaitu: padat, semi-padat, pastik, dan cair. Di setiap kondisi, konsistensi dan sifat dari tanah akan berbeda-beda, begitu pula sifat-sifat rekayasannya. Atterberg Limit dapat digunakan untuk membedakan antara lanau dan lempung dan juga lebih detailnya dapat membedakan antara berbagai macam lanau dan lempung.

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Menurut Atterberg, batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, dan batas susut. Batas-batas konsistensi tanah ini didasarkan pada kadar air, yaitu:

#### a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (batas atas atau daerah plastis). Cara menentukannya adalah dengan menggunakan alat Cassagrande. Tanah yang telah dicampur dengan air ditaruh di dalam mangkuk Cassagrande dan di dalamnya dibuat alur dengan menggunakan alat spatel (*grooving tool*). Bentuk alur sebelum dan sesudah percobaan tampak berbeda. Engkol dibuka sehingga mangkuk dinaikkan dan dijatuhkan pada dasar dan banyaknya pukulan dihitung sampai kedua tepi alur tersebut berhimpit. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar air berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik ini dapat dibaca kadar air pada pukulan tertentu.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3.1 mm. kadar air ini ditentukan dengan menggulung tanah pada plat kaca hingga berdiameter 3.1 mm atau 1/8 inch. Jika tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inchi, maka kadar air tanah itu adalah pada saat batas plastis.

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis, karena dapat menunjukkan sifat keplastisan tanah dengan persamaan:

$$PI = LL - PL$$

Dimana: PI = Plastis Indeks (%)

LL = Liquid Limit (%)

PL = Plastis Limit (%)

c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Tanah akan mengalami penyusutan bila kadar air secara perlahan-lahan hilang dari dalam tanah. Dengan hilangnya air terus menerus akan mencapai suatu tingkat keseimbangan, dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume tanah

Batas susut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$SL = \left[ \left( \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering}} \right) - \left( \frac{\text{volume air}}{\text{berat tanah kering}} \right) \right] \times 100\%$$

Pada penelitian sebelumnya, dari hasil pengujian batas-batas *atterberg* terhadap tanah asli didapat nilai batas cair sebesar 125%, batas plastis 44.315%, batas susut 8.23%, dan indeks plastisitas sebesar 80.685%.

**Tabel 2.1** Hasil pemeriksaan batas-batas atterberg

KOMPOSISI TANAH	LL (%)	PL (%)	SL (%)	PI (%)
<b>Tanah asli</b>	125	44.315	8.23	80.685
<b>Tanah asli + 5% campuran</b>	109.56	43.353	8.511	66.299
<b>Tanah asli + 10% campuran</b>	95.399	39.165	9.709	56.234
<b>Tanah asli + 15% campuran</b>	86.168	30.406	10.981	55.763

Dengan adanya penambahan campuran fly ash dan slag baja, indeks plastisitas tanah menurun seiring dengan penambahan campuran kedua bahan tersebut. Tanah yang diperlakukan dengan cara ini dapat mengalami penurunan Indeks Plastis dan penyusutan atau pemuaihan yang cukup berarti, tergantung pada jumlah bahan yang digunakan.

### 2.2.3 California Bearing Ratio (CBR)

Harga CBR merupakan ukuran daya dukung tanah yang dipadatkan dengan daya pemadatan tertentu dan kadar air tertentu yang dibandingkan dengan beban standar pada batu pecah. Dengan demikian besaran CBR adalah prosentase antara daya dukung tanah yang diteliti yang dibandingkan dengan daya dukung batu pecah standar pada nilai penetrasi yang sama (0.1 inch dan 0.2 inch) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah.

Nilai CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu kondisi tidak terendam (CBR *Unsoaked*) dan pada kondisi terendam (CBR *Soaked*). Pada umumnya harga CBR *Soaked* lebih rendah dari CBR *Unsoaked*, namun demikian kondisi *soaked* adalah kondisi yang lebih sering dialami di lapangan. Oleh karena itu pada proyek konstruksi bangunan digunakan harga CBR *soaked* sebagai dasar

perhitungan, karena kenyataannya air sangat mempengaruhi tanah pada konstruksi bangunan.

Kekuatan tanah dasar banyak tergantung pada kadar airnya, makin tinggi kadar airnya, maka akan semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut (L.D. Wesley, 1977). Tetapi hal tersebut tidak berarti tanah dasar harus dipadatkan dengan kadar air yang rendah agar mendapat nilai CBR yang tinggi, karena air akan mudah meresap kedalam tanah dasar dan menyebabkan kekuatan dan nilai CBR-nya turun sampai kadar air seimbang atau mencapai nilai yang konstan (Arief Rachmansyah, 2008).

Pada penelitian sebelumnya didapat hasil pengujian CBR terendam dan CBR tidak terendam sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Hasil Pengujian CBR tanpa rendaman (*Unsoaked*)

Komposisi Bahan	Kadar Air (%)	berat isi kering (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR ( <i>unsoaked</i> ) (%)
Tanah asli	28.381	1.228	6.433
	21.584	1.21	7.077
Tanah asli + 5% bahan campuran	23.485	1.249	4.503
	27.712	1.271	7.398
	31.109	1.251	10.293
	17.404	1.22	9.65
Tanah asli + 10% bahan campuran	20.458	1.355	9.65
	26.203	1.384	12.545
	28.098	1.29	13.028
	11.727	1.354	9.007
Tanah asli + 15% bahan campuran	15.651	1.378	7.398
	22.569	1.438	10.937
	26.576	1.299	11.902

Pada hasil tersebut didapat bahwa CBR tidak berbanding lurus dengan berat isi kering, seharusnya apabila berat isi menunjukkan kenaikan, maka nilai CBR juga akan

naik, namun pada penelitian ini tidak menunjukkan hal tersebut. Hal ini kemungkinan disebabkan karena hanya menggunakan 1 sample saja.

Nilai CBR tertinggi pada saat kondisi OMC dari tiap campuran diperoleh pada penambahan bahan campuran sebanyak 10%. Pada campuran 15% terjadi penurunan nilai CBR, hal ini kemungkinan disebabkan karena terdapat bahan pozzolan yang berlebih pada tanah lempung sehingga tidak terjadi proses sementasi.

**Tabel 2.3** Hasil Pengujian CBR rendaman (*Soaked*)

<b>Komposisi Bahan</b>	<b>Kadar Air (%)</b>	<b>Berat isi kering (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CBR (soaked) (%)</b>
<b>Tanah asli</b>	28.381	1.228	0.965
	21.584	1.21	2.573
<b>Tanah asli + 5% bahan campuran</b>	23.485	1.249	1.673
	27.712	1.271	2.284
	31.109	1.251	2.67
	17.404	1.22	1.287
<b>Tanah asli + 10% bahan campuran</b>	20.4458	1.355	1.287
	26.203	1.384	3.538
	28.098	1.29	5.468
	11.727	1.254	2.573
<b>Tanah asli + 15% bahan campuran</b>	15.651	1.278	2.091
	22.569	1.438	3.378
	26.576	1.299	5.79

Untuk CBR terendam menunjukkan penurunan nilai CBR terendam dari CBR tak terendam, yang disebabkan karena penambahan air yang dapat mengurangi kekuatan dari tanah. Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa penambahan bahan campuran fly ash dan slag baja dapat meningkatkan nilai CBR terendam. Nilai CBR tertinggi pada saat OMC diperoleh pada penambahan bahan campuran dengan prosentase 10%.

#### 2.2.4 Kembang susut tanah (Swelling)

Kembang susut tanah adalah peristiwa mengembangnya tanah yang disebabkan oleh meresapnya air ke dalam pori-pori tanah menggantikan udara akibat penambahan beban. Pengujian kembang susut tanah di laboratorium menggunakan *consolidometer*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar prosentase pengembangan dan tekanan tanah pada saat tanah dibebani.

Pengujian prosentase pengembangan tanah dilakukan untuk mengetahui nilai kembang susut (*swell*) akibat pemberian beban vertical. Pada pengujian ini air yang meresap ke pori-pori tanah mengisi rongga-rongga udara sehingga terjadi penambahan isi dari dalam pori tanah yang diakibatkan oleh pembebanan vertical pada tanah tersebut. Tingkat pengembangan pada tanah umumnya bergantung pada beberapa factor, yaitu:

1. Tipe dan jumlah mineral di dalam tanah
2. Kadar air
3. Susunan tanah
4. Konsentrasi garam dalam air pori
5. Sementasi
6. Adanya bahan organik, dll

Pengujian tekanan tanah merupakan lanjutan dari uji prosentase mengembang setelah didapatkan pengembangan maksimum. Selanjutnya tanah diberi tekanan bertahap hingga kembali ke angka pori awal ( $e_0$ ). Pembacaan dilakukan setiapa penambahan masing-masing beban setelah pembebanan berlangsung selama 24 jam.

Pada penelitian sebelumnya didapat hasil sebagai berikut

**Tabel 2.4** Hasil Pengujian *Swelling*

<b>Komposisi Bahan</b>	<b>Kadar Air (%)</b>	<b>Berat isi kering (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Swell (%)</b>
<b>Tanah asli</b>	28.381	1.228	5.592
<b>Tanah asli + 5% bahan campuran</b>	21.584	1.21	4.408
	23.485	1.249	4.464
	27.712	1.271	3.72
	31.109	1.251	1.592
<b>Tanah asli + 10% bahan campuran</b>	17.404	1.22	6.224
	20.4458	1.355	6.4
	26.203	1.384	2.2
	28.098	1.29	1.296
<b>Tanah asli + 15% bahan campuran</b>	11.727	1.254	9.152
	15.651	1.278	10.368
	22.569	1.438	5.344
	26.576	1.299	3.472

Dari table diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar airnya maka semakin rendah nilai swelling. Nilai minimum swelling minimum didapatkan pada kondisi campuran tanah asli + 10% bahan campuran dengan kadar air 28.098% yaitu memiliki nilai swelling 1.296%. dapat disimpulkan bahwa prosentase pengembangan akan berkurang jika benda uji dipadatkan pada keadaan lebih basah dari optimum karena air yang terserap pada saat perendaman akan sedikit, sehingga pengembangan yang terjadi tidak akan besar.

Dengan adanya penambahan bahan campuran fly ash dan slag baja pada saat kondisi OMC diperoleh pada penambahan sebanyak 10%, yaitu sebesar 2.2%. hal ini disebabkan penambahan bahan campuran mengakibatkan rongga-rongga yang ada pada butiran tanah akan terisi, sehingga rongga-rongga butiran menjadi lebih padat, rapat, dan kompak.

## 2.3 Perbaikan Tanah

Jika suatu tanah yang ada di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, permeabilitasnya terlalu tinggi, atau karakteristik lain yang tidak sesuai untuk pembangunan, maka tanah tersebut harus dilakukan perbaikan untuk dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan.

Salah satu upaya untuk mendapatkan sifat tanah yang memenuhi syarat-syarat teknis tertentu dan menambah kapasitas dukung tanah adalah dengan metode perbaikan tanah. Metode perbaikan tanah dapat dibagi menjadi dua klasifikasi utama, yaitu berdasarkan sifat teknisnya dan berdasarkan pada tujuannya, dimana beberapa variasi dapat digunakan. Dari sifat teknisnya, stabilisasi dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu: stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimiawi. (Ingles dan Metcalf, 1972).

Perbaikan tanah ekspansif yang murah dan efektif adalah dengan menambahkan bahan kimia tertentu, dengan penambahan bahan kimia dapat mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung ekspansif (Ingles dan Metcalf, 1972).

### 2.3.1 Perbaikan Tanah dengan Fly Ash

Fly ash adalah material yang sangat halus dengan gradasi yang sangat uniform yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Fly ash termasuk material yang disebut dengan pozzolanic material karena mengandung bahanbahan 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 ( $\text{SO}_4$ ).

Penambahan fly ash pada tanah expansif dimaksudkan agar terbentuk reaksi pozzolanic, yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada fly ash dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah, sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku. Penambahan fly ash selain memperkaya kandungan alumina dan silika pada tanah, juga memperbaiki gradasi tanah.

Penelitian yang dilakukan oleh Setyo-budi, et al. (2003), pada penelitian ini menggunakan variasi penambahan *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan

25%. Dari penelitian itu diperoleh hasil bahwa jika tanah dicampur dengan 25% *fly ash* dan di curing selama 28 hari dapat meningkatkan kekuatan tanah sebesar 300% dari tanah asli dan menurunkan *swell pressure* sebesar 50% dari tanah asli dengan kadar air optimum sebesar 20%.

### 2.3.2 Perbaikan Tanah dengan Slag Baja

Slag baja merupakan limbah padat dari proses pemurnian besi cair dalam pembuatan baja. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa slag baja Indonesia mengandung unsur-unsur sebagai berikut: 42%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 7.2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 21.5 %  $\text{CaO}$ , 11.2%  $\text{MgO}$ , 14.6%  $\text{SiO}_2$ , dan 0.4%  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Suwarno dan Goto, 1997).

Beberapa peneliti menduga bahwa pengaruh slag baja terhadap sifat kimia tanah berasal dari silikat yang terkandung di dalam slag baja, sehingga slag baja dianggap sebagai sumber Si. Selain itu juga sebagai bahan masukan yang memiliki sifat atau pengaruh mirip dengan kapur, yang disebabkan dari kandungan Ca dari slag baja yang cukup tinggi (Mohammadi dan Sedaghat, 2007).

Dari kandungan dua bahan tersebut yang cukup tinggi, yaitu salah satu bahan pozzolan yang menyebabkan perubahan ion  $\text{Ca}^{++}$  untuk mengurangi kegiatan mineral pada lempung tersebut, sehingga tanah dapat mengalami penurunan Indeks Plastis (PI) *shrinkage/swelling* yang cukup berarti dari penambahan bahan pozzolan tersebut pada deposit lempung, khususnya pada tanah lempung ekspansif tergantung dari prosentase bahan yang digunakan (Nugroho Jarwanti, 2006).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jarwanti (2006) dengan menggunakan 5 variasi campuran ACBSF (*Air Cooled Blast Furnace Slag*) sebanyak 0%, 30%, 50%, 70%, dan 100% dapat disimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

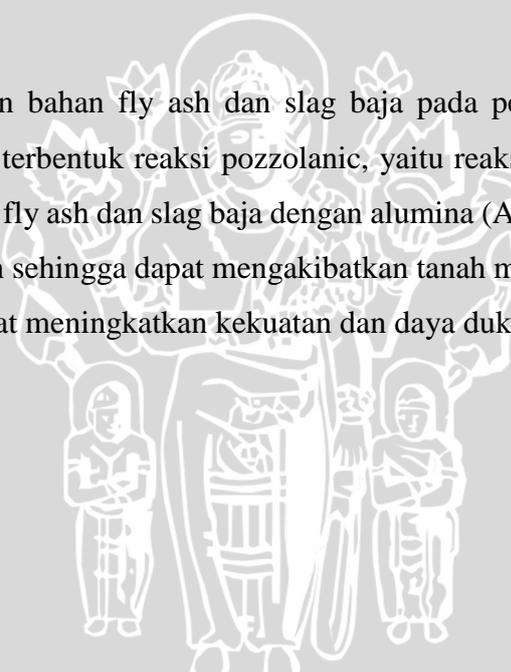
1. Nilai berat isi kering ( $\gamma_d$ ) dari komposisi ACBFS 0% sampai 80% semakin besar, dengan kadar air diatas maupun dibawah kadar air optimum. Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan ACBFS mampu merapatkan butiran dari agregat tanah dan mengurangi pori udara sehingga kepadatan tanah meningkat.

2. Penambahan ACBFS pada tanah lempung menyebabkan meningkatnya berat isi kering dan nilai sudut geser dalam, tetapi menurunkan nilai kohesi tanah. Hal ini disebabkan karena terjadi perubahan distribusi butiran halus menjadi tanah dengan butiran agregat kasar sesuai dengan prosentase penambahan ACBFS.

### 2.3.3 Pengaruh Penambahan Bahan

Tingkat kepadatan tanah sangat mempengaruhi kekuatannya dimana semakin besar berat isi kering suatu bahan, maka kekuatan gesernya akan semakin tinggi (Sosrodarsono, 1994). Penambahan slag baja pada perkuatan tanah selain karena salah satu bahan pozzolan yaitu slag baja memiliki sudut geser yang cukup tinggi yaitu antara  $40^{\circ}$  sampai  $45^{\circ}$  sehingga cocok untuk menambahkan daya dukung tanah.

Penambahan bahan fly ash dan slag baja pada perkuatan tanah adalah dimaksudkan agar terbentuk reaksi pozzolanic, yaitu reaksi antara kalsium (Ca) yang terdapat pada fly ash dan slag baja dengan alumina (Al) dan silikat (Si) yang terdapat pada tanah sehingga dapat mengakibatkan tanah menjadi lebih keras dan kaku sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Rencana Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahapan, yaitu tahap persiapan, penentuan lokasi, pengambilan sampel dan pekerjaan laboratorium. Perencanaan pada penelitian sangat penting dilakukan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga mendapatkan hasil yang sesuai dan dapat selesai tepat waktu.

### 3.2 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal pada rangkaian pelaksanaan penelitian. Pekerjaan persiapan penelitian yang dilakukan terdiri dari pengadaan referensi yang berkaitan dengan lempung ekspansif dan perbaikan tanah menggunakan *slag* baja dan *fly ash*, konsultasi dengan beberapa narasumber, pengajuan proposal, mengurus perijinan penelitian, dan koordinasi untuk pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

### 3.3 Penentuan Lokasi

Penentuan dan pengambilan sampel tanah dilakukan di daerah Kecamatan Ngasem, kabupaten Bojonegoro. Contoh tanah diambil sekitar kedalaman 50 cm.

### 3.4 Pengambilan Sampel

Sampel tanah yang diambil adalah tanah lempung dari daerah Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan cara pengambilan terganggu. (*disturb soil*).

### 3.5 Pekerjaan Laboratorium

#### 3.5.1 Uji Sifat Fisik Tanah

Uji fisik tanah meliputi:

a. Uji berat jenis

Pengujian berat jenis untuk agregat tanah lebih halus dari saringan No. 4 menyesuaikan pada ASTM 854. Uji berat jenis dilakukan pada tanah asli.

b. Uji batas Atterberg

Uji batas Atterberg ini meliputi pengujian untuk menentukan batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*).

#### 3.5.2 Uji Sifat Mekanis Tanah

Uji mekanis tanah meliputi:

a. Uji pemadatan

Uji pemadatan dilakukan untuk dapat mengetahui hubungan antara kadar air dan kepadatan pada tanah.

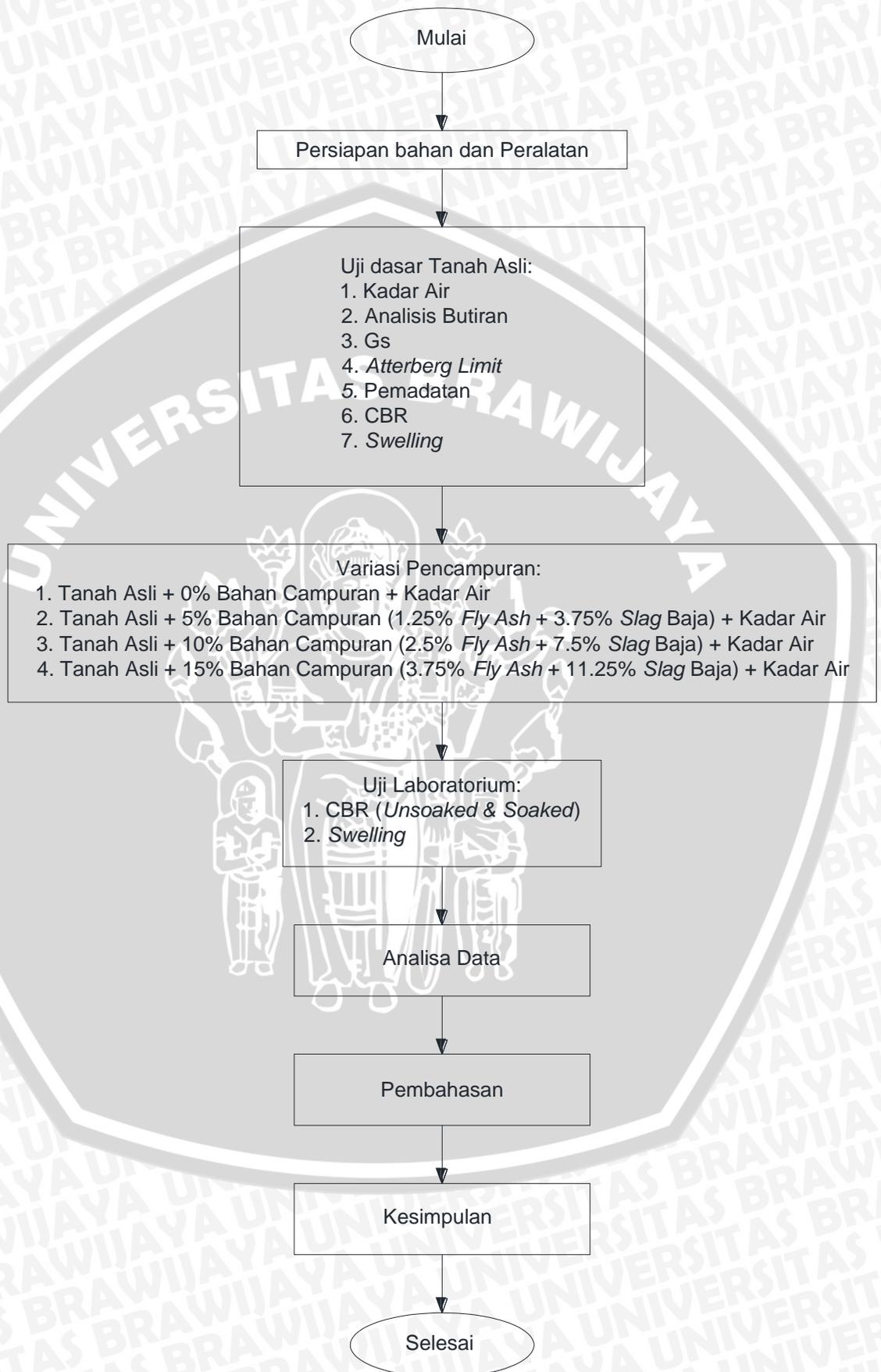
b. Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

Uji CBR dilakukan untuk dapat mengetahui nilai kuat dukung tanah dan batuan jika dipadatkan di laboratorium sesuai variasi dan kepadatannya. Pada penelitian ini menggunakan metode *soaked* dan *unsoaked*.

c. Uji *Swelling*

Uji ini dilakukan untuk mengetahui besarnya pengembangan pada tanah dengan variasi kadar air (*swelling pressure*).

## Langkah-langkah Penelitian



### 3.6 Rancangan Penelitian

Variasi pencampuran *fly ash* dan *slag* baja dengan tanah adalah seperti pada table 3.1.

Komposisi Tanah	Kadar Air	γ <sub>d</sub>	CBR ( <i>unsoaked</i> )	Swelling
Tanah asli	OMC			
Tanah Asli + 5% Bahan Campuran (1.25% Fly Ash + 3.75% Slag Baja)	OMC <sub>1</sub> - 6%			
	OMC <sub>1</sub> - 3%			
	OMC <sub>1</sub>			
	OMC <sub>1</sub> + 3%			
Tanah Asli + 10% Bahan Campuran (2.5% Fly Ash + 7.5% Slag Baja)	OMC <sub>2</sub> - 6%			
	OMC <sub>2</sub> - 3%			
	OMC <sub>2</sub>			
	OMC <sub>2</sub> + 3%			
Tanah Asli + 15% Bahan Campuran (3.75% Fly Ash + 11.25% Slag Baja)	OMC <sub>3</sub> - 6%			
	OMC <sub>3</sub> - 3%			
	OMC <sub>3</sub>			
	OMC <sub>3</sub> + 3%			

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

Keterangan:

- OMC : nilai kadar air optimum tanah asli
- OMC<sub>1</sub> : nilai optimum OMC dikurangi 3%
- OMC<sub>2</sub> : nilai kadar air optimum (Tanah Asli + 5% Bahan Campuran (1.25% Fly Ash + 3.75% Slag Baja)
- OMC<sub>3</sub> : nilai kadar air optimum (Tanah Asli + 10% Bahan Campuran (2.5% Fly Ash + 7.5% Slag Baja)

### 3.7 Pengujian

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah lempung dari lapangan dihancurkan terlebih dahulu dan dikeringkan, kemudian disaring dengan ayakan no 4 (4.75 mm).
2. Timbang tanah dengan 3 variasi campuran yaitu 5% Bahan Campuran (1.25% Fly Ash + 3.75% Slag Baja), 10% Bahan Campuran (2.5% Fly Ash + 7.5% Slag Baja), dan 15% Bahan Campuran (3.75% Fly Ash + 11.25% Slag Baja) terhadap berat kering sebanyak 5 kg setiap variasi campuran.
3. Lakukan percobaan pemadatan untuk memperoleh nilai kadar air optimum dari tanah asli (OMC).
4. Tambahkan OMC<sub>1</sub> sampai mendapatkan kadar air optimum dengan kelipatan +3% dan -3% dari OMC<sub>1</sub> untuk perlakuan tanah dengan campuran 5% Bahan Campuran (1.25% Fly Ash + 3.75% Slag Baja) sampai mendapatkan nilai kadar air optimum.
5. Tambahkan OMC<sub>2</sub> sampai mendapatkan kadar air optimum dengan kelipatan +3% dan -3% dari OMC<sub>2</sub> untuk perlakuan tanah dengan campuran 10% Bahan Campuran (2.5% Fly Ash + 7.5% Slag Baja) sampai mendapatkan nilai kadar air optimum.
6. Tambahkan OMC<sub>3</sub> sampai mendapatkan kadar air optimum dengan kelipatan +3% dan -3% dari OMC<sub>3</sub> untuk perlakuan tanah dengan campuran 15% Bahan Campuran (3.75% Fly Ash + 11.25% Slag Baja) sampai mendapatkan nilai kadar air optimum.

7. Lakukan pengujian CBR tak terendam, dan *swelling* pada langkah 3, 4, 5, dan 6 pada tiap variasi kadar air.

### 3.8 Analisa Data

Setelah melakukan pengujian pada sampel tanah di atas maja akan didapatkan data-data yang diperlukan, sehingga dapat diketahui nilai CBR optimum dan *swelling* dari setiap variasi campuran.



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemeriksaan Berat Jenis (Specific Gravity)

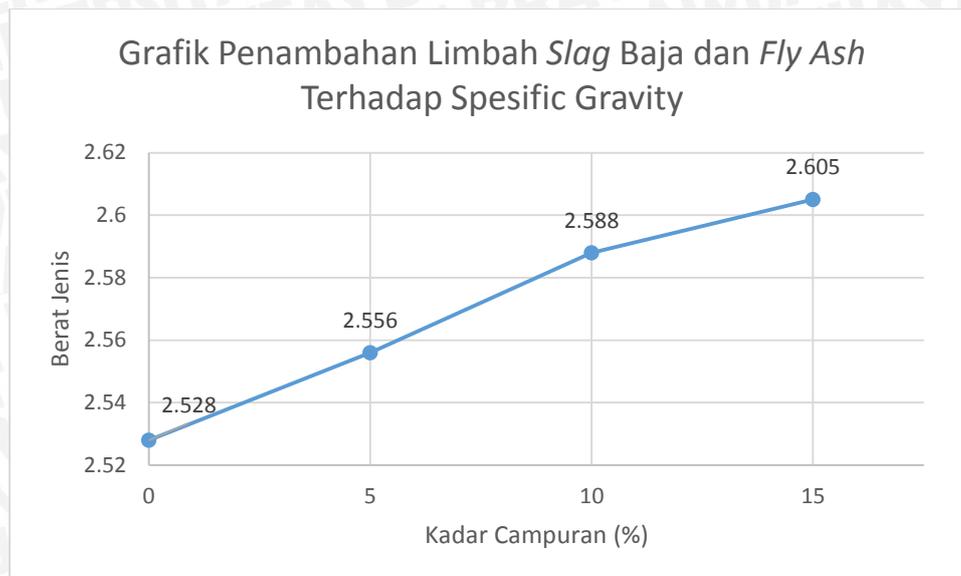
Berat jenis didefinisikan sebagai nilai dari perbandingan berat butiran tanah dengan berat air volume yang sama pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk dapat menentukan berat jenis suatu bahan yang akan digunakan sebagai benda uji.

Bahan-bahan yang digunakan sebagai benda uji diantaranya adalah tanah asli, limbah *slag* baja, *fly ash*, campuran limbah *slag* baja dan *fly ash* masing-masing sebesar 75% *slag* baja : 25% *fly ash*, dan tanah asli + campuran dengan 3 macam variasi. Variasi I terdiri dari tanah asli + 5% penambahan campuran (3.75% *slag* baja + 1.25% *fly ash*), variasi II terdiri dari tanah asli + 10% penambahan campuran (7.5% *slag* baja + 2.5% *fly ash*), dan variasi II terdiri dari tanah asli + 15% penambahan campuran (11.25% *slag* baja + 3.75% *fly ash*).

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian *Specific Gravity*.

BAHAN	<i>Specific Gravity</i>
Tanah Asli	2.528
<i>Slag Baja</i>	3.715
<i>Fly Ash</i>	2.838
<i>Slag Baja + Fly Ash</i>	3.186
Tanah Asli + 3.75% <i>Slag Baja</i> + 1.25% <i>fly Ash</i>	2.556
Tanah Asli + 7.5% <i>Slag Baja</i> + 2.5% <i>fly Ash</i>	2.588
Tanah Asli + 11.25% <i>Slag Baja</i> + 3.75% <i>Fly Ash</i>	2.605

Dari hasil pengujian didapatkan nilai berat jenis tanah asli sebesar 2.528. dengan adanya penambahan dengan bahan campuran *Slag* Baja dan *Fly Ash* menyebabkan meningkatnya berat jenis tanah asli tersebut. Pengaruh penambahan campuran dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Pengaruh Penambahan Campuran Terhadap *Specific Gravity*.

Dari pengujian dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya prosentase campuran *slag* baja dan *fly ash* pada tanah mengakibatkan kenaikan terhadap GS tanah. Hal ini disebabkan karena bercampurnya kedua bahan yang memiliki berat jenis yang berbeda, selain itu juga *slag* baja dan *fly ash* memiliki *specific gravity* yang lebih besar dibandingkan dengan *specific gravity* dari tanah asli, oleh karena itu harga *specific gravity* campuran akan bertambah seiring dengan penambahan prosentase dari bahan campuran tersebut.

## 4.2 Klasifikasi Tanah

### 4.2.1 Analisa Saringan dan Hidrometer

Uji analisis butiran terbagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan (*mechanical grain size*) dan uji analisis hidrometer. Untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar yang tertahan saringan 200 menggunakan uji analisis saringan (*mechanical grain size*). Sedangkan untuk butir-butir tanah yang lolos saringan no. 200 menggunakan uji analisis hidrometer.

Berkut ditampilkan hasil analisa saringan dan analisa hidrometer dari tanah lempung yang diambil dari Desa Ngasem Bojonegoro:

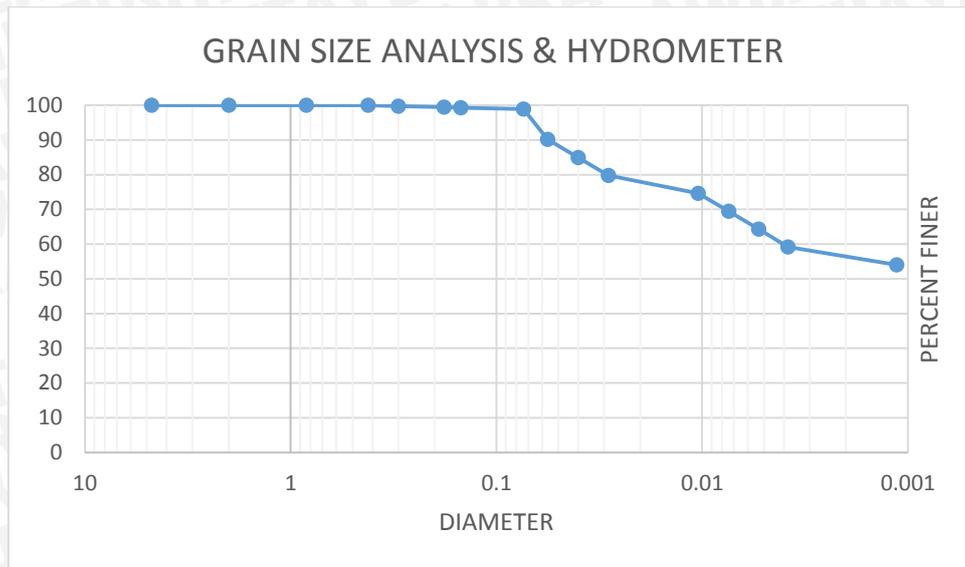
**Tabel 4.2** Hasil Analisa Saringan.

Saringan No.	D (mm)	Tertahan Saringan	Jumlah Tertahan	Tertahan (%)	Lolos (%)
<b>No. 4</b>	4.75	0	0	0	100
<b>No. 10</b>	2	0	0	0	100
<b>No. 20</b>	0.84	0	0	0	100
<b>No. 40</b>	0.42	0	0	0	100
<b>No. 50</b>	0.3	1.2	1.2	0.3	99.7
<b>No. 80</b>	0.18	1	2.2	0.55	99.45
<b>No. 100</b>	0.149	0.6	2.8	0.7	99.3
<b>No. 200</b>	0.074	1.5	4.3	1	98.925
<b>PAN</b>		395.7	400	100	0

**Tabel 4.3** Hasil Analisa Hidrometer

t (minute)	C (°C)	Rh	Cr	Re (Rh+Ct)	a	Finer (%)	Prosentase Finer (%)	R	L (cm)	L/t	K	D (mm)	% semua sampel (grainsize + hydrometer) (%)
0.5	26	1.0290	1.65	2.6790	1.01	5.4212	94.5788	30.00	9.569	19.1380	0.0129	0.0564	90.1359
1	26	1.0285	1.65	2.6785	1.01	5.4202	89.1586	29.50	9.6678	9.6678	0.0129	0.0401	84.9703
2	26	1.0280	1.65	2.6780	1.01	5.4192	83.7395	29.00	9.7666	4.8833	0.0129	0.0285	79.8058
15	26	1.0275	1.65	2.6775	1.01	5.4181	78.3213	28.50	9.8654	0.6577	0.0129	0.0105	74.6421
30	26	1.0270	1.65	2.6770	1.01	5.4171	72.9042	28.00	9.9642	0.3321	0.0129	0.0074	69.4795
60	26	1.0260	1.65	2.6760	1.01	5.4151	67.4891	27.00	10.1618	0.1694	0.0129	0.0053	64.3187
120	26	1.0240	1.65	2.6740	1.01	5.4111	62.0780	25.00	10.557	0.0880	0.0129	0.0038	59.1619
1440	26	1.0210	1.65	2.6710	1.01	5.4050	56.6730	22.00	11.1498	0.0077	0.0129	0.0011	54.0108

Dari hasil analisa saringan, tanah dari Desa Ngasem, Bojonegoro tersebut merupakan tanah berbutir halus menurut klasifikasi tanah USCS, yaitu prosentase lolos saringan no. 200 sebesar 98.93%. Sedangkan untuk tanah berbutir halus atau tanah yang lolos saringan no. 200 ditentukan dengan menggunakan uji hydrometer (sedimentasi).



**Gambar 4.2** Grafik Hubungan Diameter Partikel dengan Persen Finer.

#### 4.2.2 Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Pengujian batas-batas *atterberg* merupakan suatu metode untuk dapat mengetahui keadaan konsistensi tanah dari tanah berbutir halus, sehingga dapat ditentukan jenis tanah apa yang akan digunakan sebagai benda uji. Pengujian batas-batas *atterberg* meliputi pengujian batas plastis (*plastic limit*), batas cair (*liquid limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Pengujian batas-batas *atterberg* dilakukan pada tanah asli, dan tanah asli yang telah ditambahkan campuran *slag* baja dan *fly ash*. Berikut ini adalah hasil pengujian batas- batas *atterberg* dapat dilihat pada table 4.2.

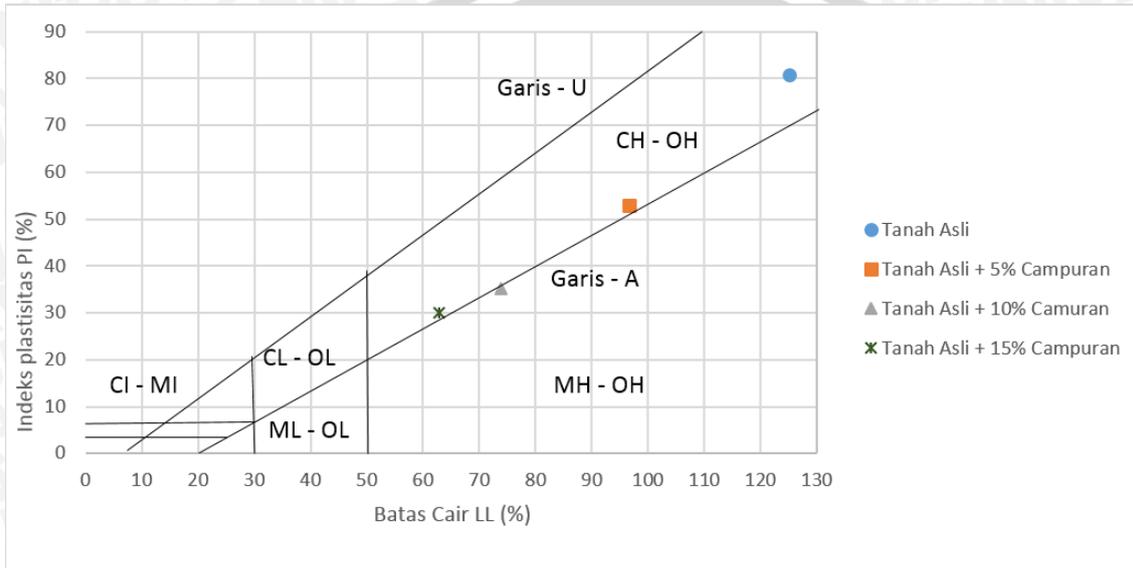
**Tabel 4.4** Hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg*.

<b>KOMPOSISI TANAH</b>	<b>LL</b>	<b>PL</b>	<b>SL</b>	<b>PI</b>
	(%)	(%)	(%)	(%)
TANAH ASLI	125	44.315	8.230	80.685
TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH	95.804	43.565	8.534	52.239
TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH	72.588	38.627	9.466	33.961
TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH	60.976	32.746	10.273	28.231

Hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg terhadap tanah asli* didapatkan nilai batas cair sebesar 125%, batas plastis 44.315%, batas susut 8.230%, serta indeks plastisitas sebesar 80.685%. Dengan adanya penambahan bahan campuran, dapat dilihat bahwa indeks plastisitas tanah menurun seiring dengan penambahan *slag* baja dan *fly ash*.

### 4.2.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Berdasarkan klasifikasi system *Unified*, tanah termasuk tanah berbutir halus karena dilihat dari analisis butiran lolos saringan no. 200 memiliki prosentase sebesar 98,93%. Selain itu dilihat dari batas-batas *atterberg* dengan nilai LL sebesar 125%, dan PL sebesar 44.315%, maka didapat nilai PI sebesar 80.685%, maka dapat diklasifikasikan di daerah Desa Ngasem Kab. Bojonegoro tergolong tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi)



Gambar 4.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*.

### 4.2.4 Sistem Klasifikasi Tanah AASTHO

Berdasarkan system klasifikasi AASTHO, dengan nilai batas-batas *atterberg* yang telah didapatkan, tanah ini tergolong dalam kelompok A-7-5 yaitu  $PI \leq LL - 30$ , sehingga berdasarkan klasifikasi AASTHO tanah ini tergolong tanah lempung yang bersifat plastis dan mempunyai perubahan kembang susut yang cukup besar.

## 4.3 Pengujian Pemadatan Standar

Pemadatan tanah adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel tanah sehingga terjadi reduksi volume udara, tetapi tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah tersebut. Salah satunya adalah dengan menggunakan *proctor* (cara mekanis) untuk di laboratorium, sedangkan untuk di lapangan bisa dengan cara

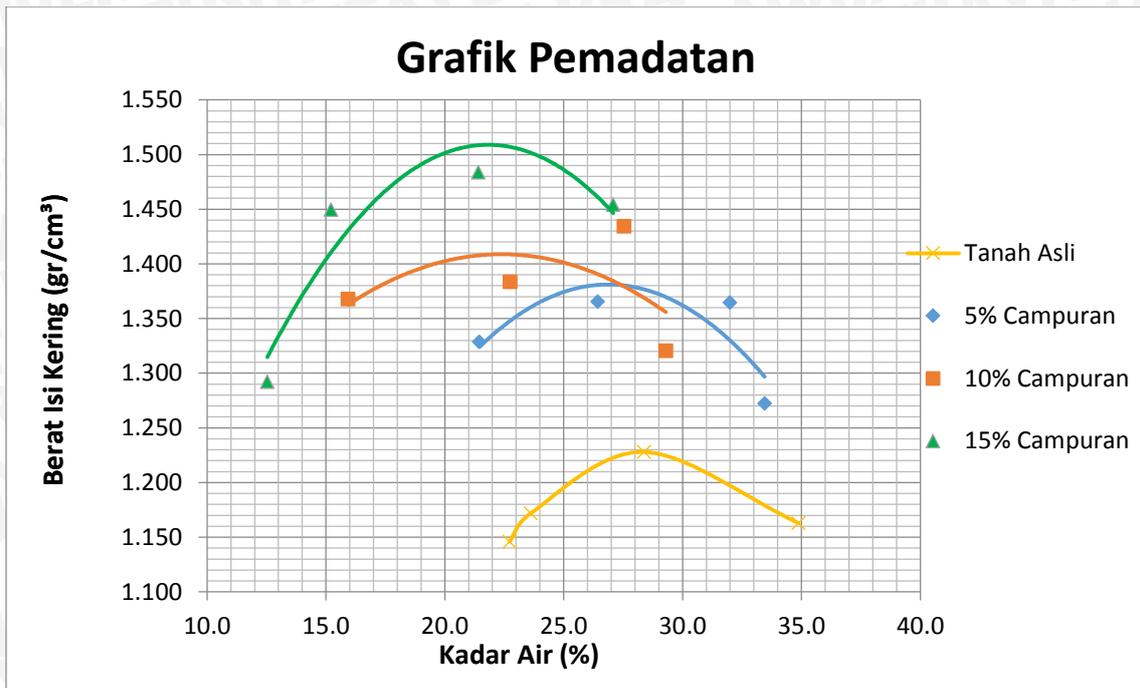
menggilas tanah. Ada dua macam cara pemadatan di laboratorium, yaitu dengan pemadatan standard dan pemadatan *modified*. Pada penelitian ini digunakan pengujian pemadatan standar.

Uji pemadatan ini dilakukan terhadap tanah asli, dan setiap tanah asli yang telah diberi tambahan bahan campuran dengan variasi kadar air tanah asli yaitu -6%, -3%, +3%, dan +6%. Pengujian pemadatan menggunakan cara B dengan diameter cetakan 152 mm (6") dengan tanah lolos saringan no.4 (4.75 mm) dan tinggi cetakan 116.33 mm (4.58"). berikut hasil pengujian pemadatan yang dilakukan.

**Tabel 4.5** Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standar.

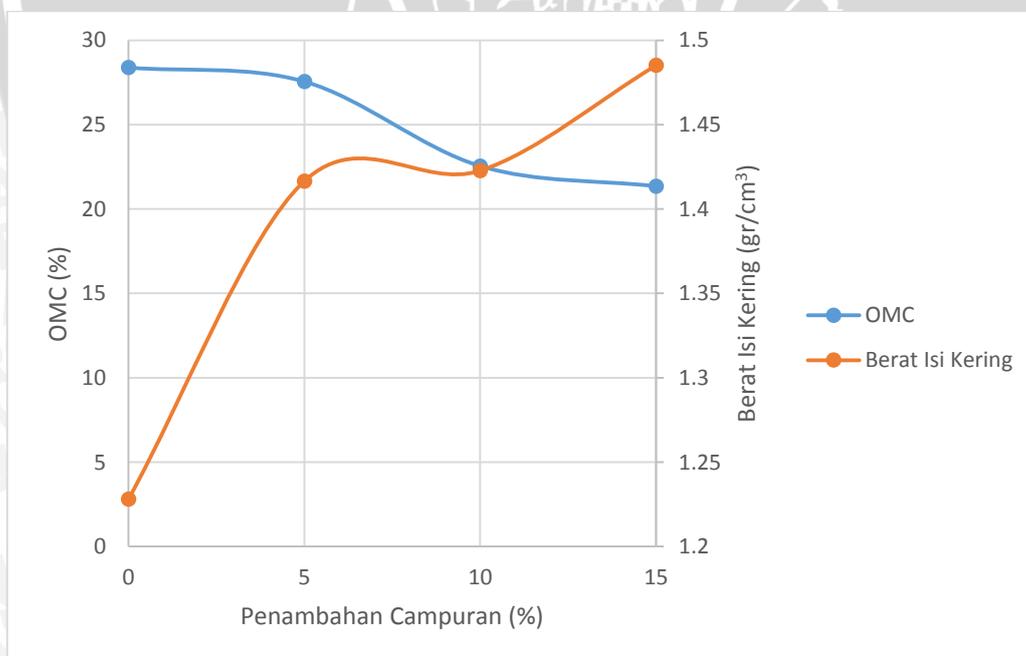
<i>KOMPOSISI BAHAN</i>	<i>KADAR AIR OPTIMUM</i>	<i>BERAT ISI KERING MAKSIMUM</i>
<i>Tanah Asli</i>	28.381	1.228
<i>Tanah Asli + 3.75% Slag Baja + 1.25% Fly Ash</i>	27.82	1.416
<i>Tanah Asli + 7.5% Slag Baja + 25.% Fly Ash</i>	22.545	1.423
<i>Tanah Asli + 11.25% Slag Baja + 3.75% Fly Ash</i>	21.348	1.485

Dari tabel diatas diperoleh nilai kadar air maksimum (OMC) tanah asli sebesar 28,381% dengan berat isi kering maksimum sebesar 1.228 gr/cm<sup>3</sup>. Dari penambahan bahan campuran tersebut nilai kadar air optimum mengalami penurunan, sebaliknya pada berat isi kering maksimum mengalami peningkatan.



**Gambar 4.4** Perbandingan Hasil Pemadatan Tiap Variasi Campuran.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil pemadatan pada tiap variasi campuran memiliki kadar air optimum yang berbeda, dan memiliki nilai berat isi kering yang semakin besar berbanding lurus dengan prosentase penambahan bahan campuran.



**Gambar 4.5** Hubungan Penambahan Campuran Terhadap Berat Isi Kering & OMC.

#### 4.4 Pengujian CBR Laboratorium

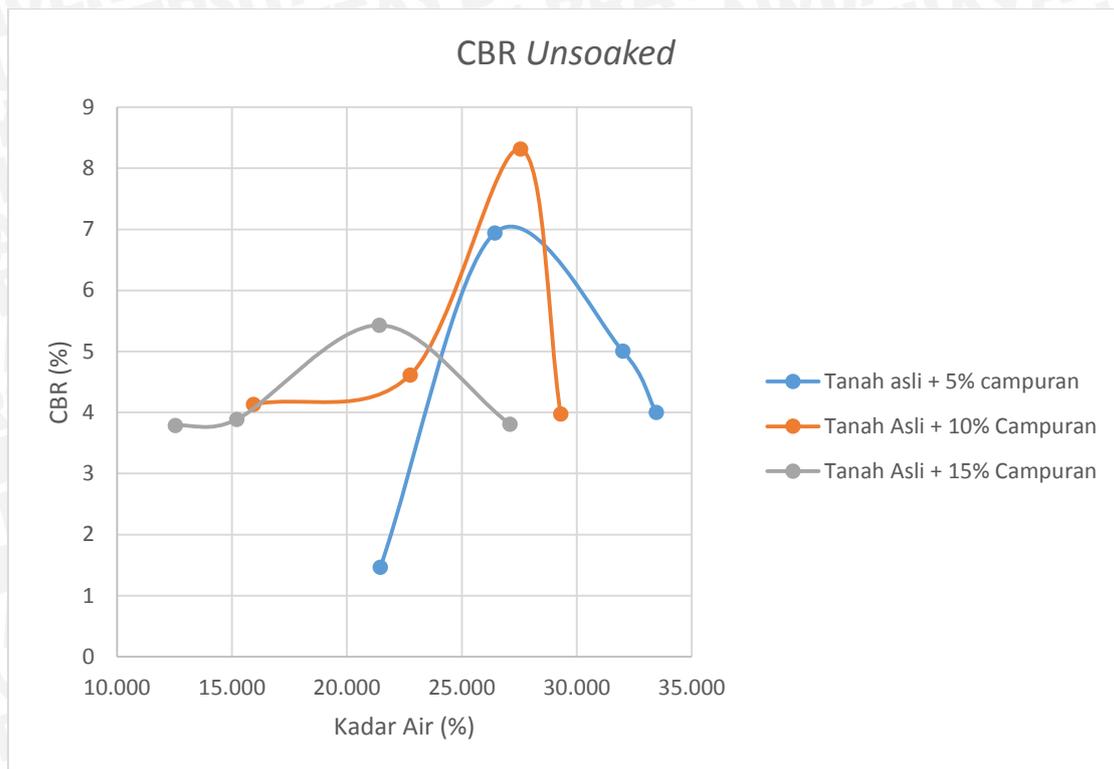
Pada pengujian ini dilakukan dalam 2 kondisi, yaitu kondisi tak terendam (*unsoaked*) dan kondisi terendam (*soaked*). Pengujian CBR dilakukan pada tanah asli dan tiap masing-masing variasi penambahan bahan campuran, dengan menggunakan variasi kadar air yang terdapat pada hasil pemadatan yang telah ditentukan.

##### 4.4.1 Pengujian CBR Tanpa Perendaman (*Unsoaked*)

Pengujian CBR *Unsoaked* dilakukan tanpa melalui proses perendaman, tetapi langsung menggunakan alat uji CBR. CBR *Unsoaked* ini dilakukan dengan tingkat kadar air sesuai dengan kadar air dari pengujian pemadatan dari tiap-tiap variasi campuran bahan. Hasil pengujian CBR dapat dilihat pada tabel berikut:

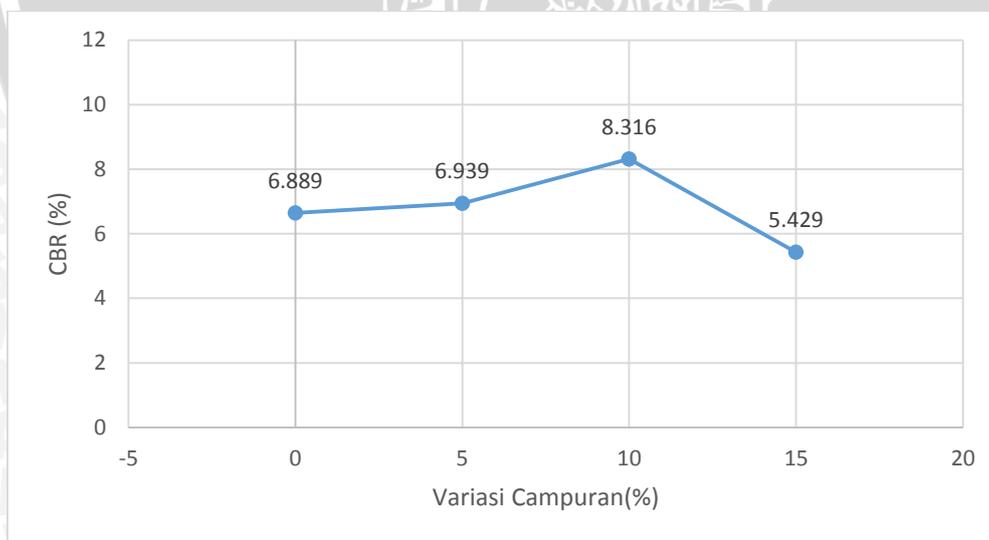
**Tabel 4.6** Hasil Pengujian CBR *Unsoaked*.

<b>KOMPOSISI BAHAN</b>	<b>KADAR AIR (%)</b>	<b>BERAT ISI KERING (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CBR (Unsoaked) (%)</b>
<i>TANAH ASLI</i>	28.381	1.228	6.889
<i>TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH</i>	21.458	1.329	1.463
	26.431	1.365	6.939
	32.001	1.364	5.003
<i>TANAH ASLI + 7.5% SLAG BAJA + 2.5% FLY ASH</i>	33.454	1.272	3.998
	15.932	1.368	4.133
	22.746	1.383	4.612
<i>TANAH ASLI + 11.25% SLAG BAJA + 3.75% FLY ASH</i>	27.547	1.434	8.316
	29.295	1.321	3.975
	12.534	1.292	3.788
<i>TANAH ASLI + 11.25% SLAG BAJA + 3.75% FLY ASH</i>	15.211	1.450	3.886
	21.410	1.484	5.429
	27.085	1.454	3.809



**Gambar 4.6** Perbandingan Harga CBR *Unsoaked* Pada Tiap Variasi Penambahan Campuran.

Dari gambar 4.6 hasil CBR *Unsoaked* dapat dilihat bahwa nilai CBR berbanding lurus dengan berat isi kering pada tiap masing-masing variasi. Berikut grafik perbandingan nilai CBR pada setiap variasi penambahan bahan campuran pada saat kondisi OMC



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai CBR *Unsoaked* Pada Tiap Variasi Pada Kondisi OMC.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa penambahan bahan campuran untuk stabilisasi dapat meningkatkan harga CBR *Unsoaked*. Grafik diatas menunjukkan bahwa harga CBR tertinggi pada kondisi OMC tiap-tiap variasi campuran diperoleh harga tertinggi pada penambahan 10% bahan campuran, yaitu sebesar 8.363%. hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi kimia yang membentuk suatu ikatan yang kuat antar partikel-partikel pada tanah dan air yang disebabkan oleh *slag* baja dan *fly ash* selama masa *curing*.

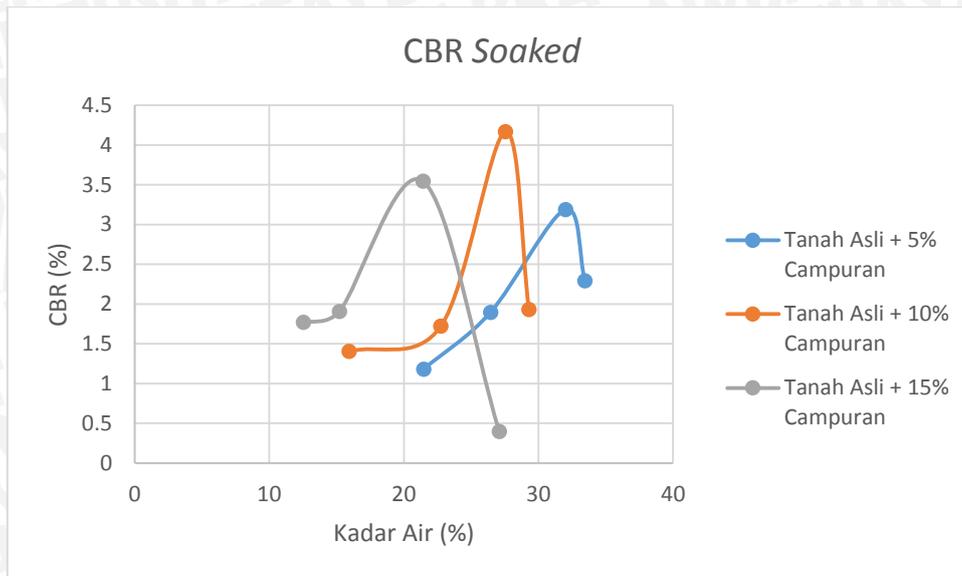
Tetapi pada variasi campuran sebesar 15% terjadi penurunan harga CBR, hal ini dapat terjadi kemungkinan karena banyaknya bahan pozzolan yang diterima hingga berlebih pada tanah tersebut, sehingga tidak terjadi proses sementasi.

#### 4.4.2 Pengujian CBR Rendaman (*Soaked*)

Pada pengujian ini, sampel tanah tiap variasi direndam di dalam air selama 2 hari sebelum dilakukan test CBR. Tujuannya adalah untuk mencari besarnya harga CBR pada keadaan jenuh air, sehingga pada keadaan ini tanah mengalami pengembangan yang maksimum. Berikut adalah hasil dari uji CBR *Soaked*:

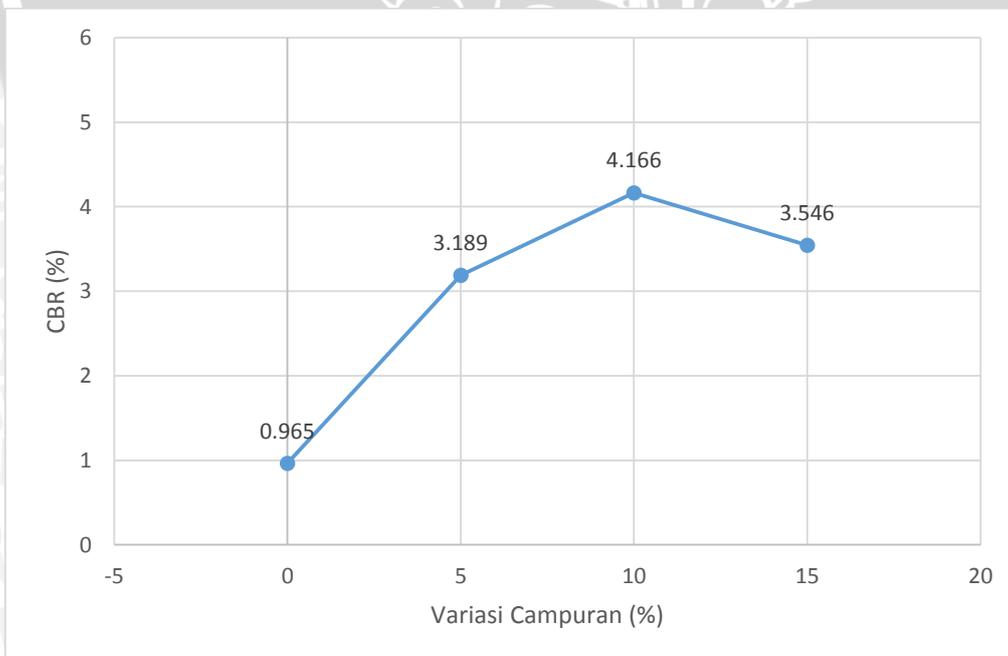
**Tabel 4.7** Hasil Pengujian CBR Rendaman (*Soaked*).

<i>KOMPOSISI BAHAN</i>	<i>KADAR AIR (%)</i>	<i>BERAT ISI KERING (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>CBR (Soaked) (%)</i>
<i>TANAH ASLI</i>	28.381	1.228	0.965
<i>TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH</i>	21.458	1.329	1.180
	26.431	1.365	1.895
	32.001	1.364	3.189
	33.454	1.272	2.292
<i>TANAH ASLI + 7.5% SLAG BAJA + 2.5% FLY ASH</i>	15.932	1.368	1.403
	22.746	1.383	1.721
	27.547	1.434	4.166
	29.295	1.321	1.930
<i>TANAH ASLI + 11.25% SLAG BAJA + 3.75% FLY ASH</i>	12.534	1.292	1.771
	15.211	1.450	1.908
	21.410	1.484	3.546
	27.085	1.454	0.398



**Gambar 4.8** Perbandingan Harga CBR *Unsoaked* Pada Tiap Variasi Campuran.

Pada grafik diatas, ditunjukkan bahwa nilai CBR terendam cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai CBR tak terendam, hal ini disebabkan karena penambahan air akibat perendaman mengakibatkan menurunnya kekuatan tanah, sehingga tanah menjadi lunak. Tetapi pengujian CBR *Soaked* adalah kondisi yang sering dialami/mendekati kondisi di lapangan, karena pada kenyataannya air sangat mempengaruhi keadaan tanah di lapangan. Berikut adalah perbandingan harga CBR *Soaked* pada setiap variasi:



**Gambar 4.9** Perbandingan Nilai CBR *Soaked* Pada Tiap Variasi Pada Kondisi OMC.

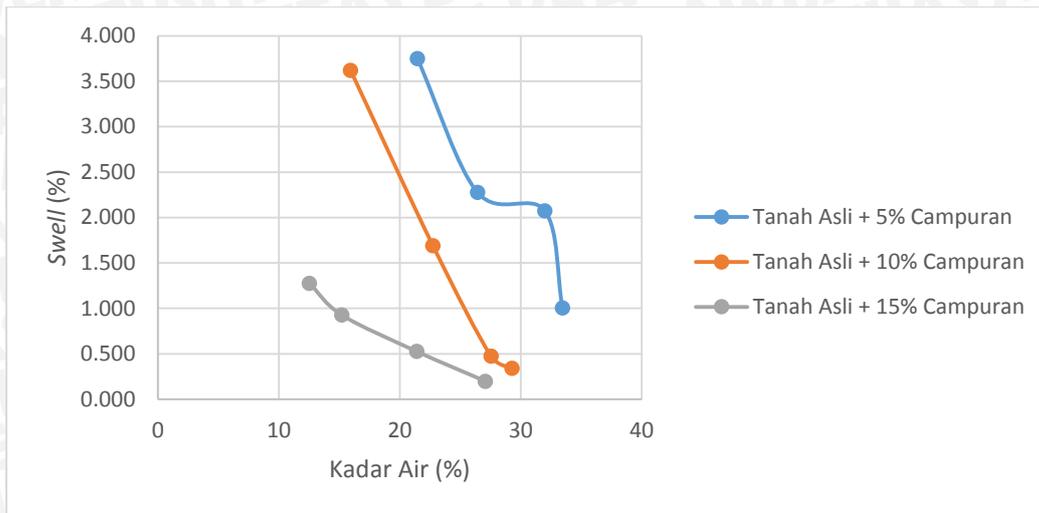
Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa penambahan *slag* baja dan *fly ash* pada tanah meningkatkan nilai CBR terendam, dan didapatkan nilai CBR tertinggi pada saat kondisi OMC yaitu pada penambahan campuran sebesar 10%

#### 4.5 Pengujian *Swelling* (Pengembangan)

Pengembangan (*Swelling*) adalah perbandingan perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula yang dinyatakan dalam persen (%). Uji *swelling* ini dilakukan Selama 48 jam. Kadar air pada setiap variasi dari percobaan ini sesuai dengan kadar air hasil pemadatan dari setiap variasi. Berikut hasil pengujian *swelling*:

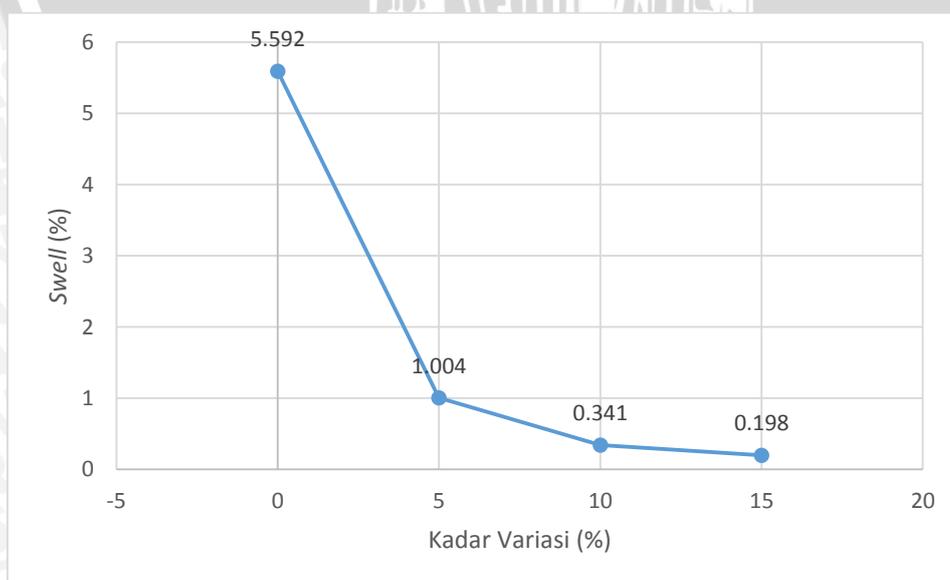
**Tabel 4.8** Hasil Pengujian *Swelling*.

Komposisi Bahan	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gr/cm <sup>3</sup> )	<i>Swell</i> (%)
<i>TANAH ASLI</i>	28.381	1.228	5.592
<i>TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH</i>	21.458	1.329	3.750
	26.431	1.365	2.276
	32.001	1.364	2.073
	33.454	1.272	1.004
<i>TANAH ASLI + 7.5% SLAG BAJA + 2.5% FLY ASH</i>	15.932	1.368	3.621
	22.746	1.383	1.690
	27.547	1.434	0.474
	29.295	1.321	0.341
<i>TANAH ASLI + 11.25% SLAG BAJA + 3.75% FLY ASH</i>	12.534	1.292	1.276
	15.211	1.450	0.927
	21.410	1.484	0.526
	27.085	1.454	0.198



**Gambar 4.10** Perbandingan Nilai *Swelling* Pada Tiap Variasi Pencampuran.

Pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar air, maka akan semakin kecil tingkat *swelling*-nya, dan kondisi *swelling* minimum didapatkan pada kondisi campuran tanah asli + 15% campuran dengan kadar air 27.085%, yaitu memiliki nilai *swelling* sebesar 0.189%. Hal ini dapat disebabkan pada setiap variasi bahwa prosentase pengembangan akan berkurang jika benda uji dipadatkan dengan kadar air yang lebih tinggi dari OMC, karena jika benda uji dipadatkan dengan kadar air yang lebih rendah dari OMC, maka pada saat dilakukan perendaman akan banyak air yang meresap masuk ke dalam tanah, sehingga akan mengakibatkan nilai pengembangan bertambah., sebaliknya, jika tanah dipadatkan dengan kadar air melebihi OMC, air yang masuk pada saat perendaman hanya sedikit, karena tanah pada kondisi jenuh air.



**Gambar 4.11** Perbandingan Nilai *Swelling* Pada Tiap Variasi Pada Kondisi OMC.

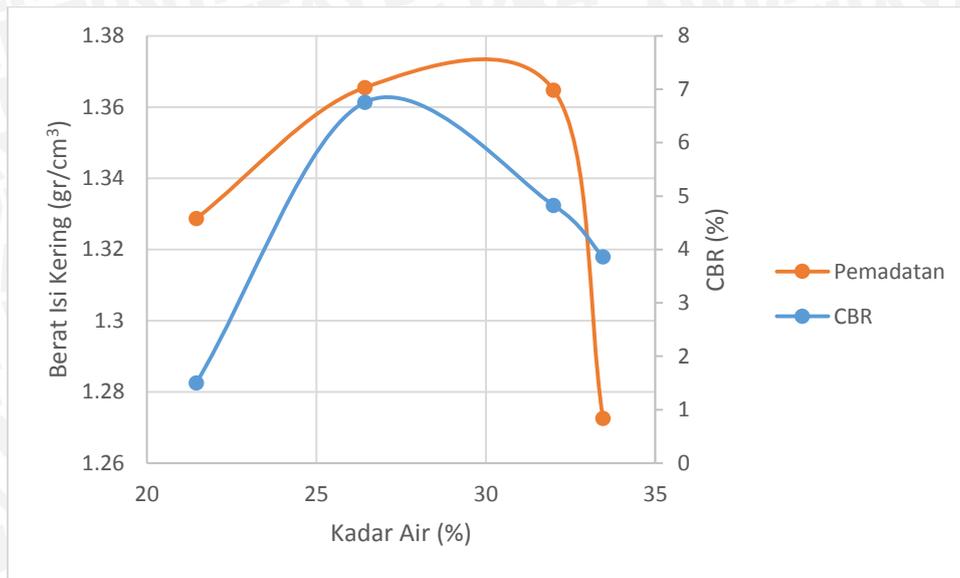
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *Slag* Baja dan *Fly Ash* dapat menurunkan nilai *Swelling* pada tanah. Hal ini disebabkan karena penambahan bahan campuran tersebut mengakibatkan rongga yang ada pada tanah terisi oleh bahan campuran tersebut, sehingga rongga menjadi lebih rapat dan padat.

#### 4.6 Hubungan Antara Nilai CBR Tak Terendam Dengan Pemadatan

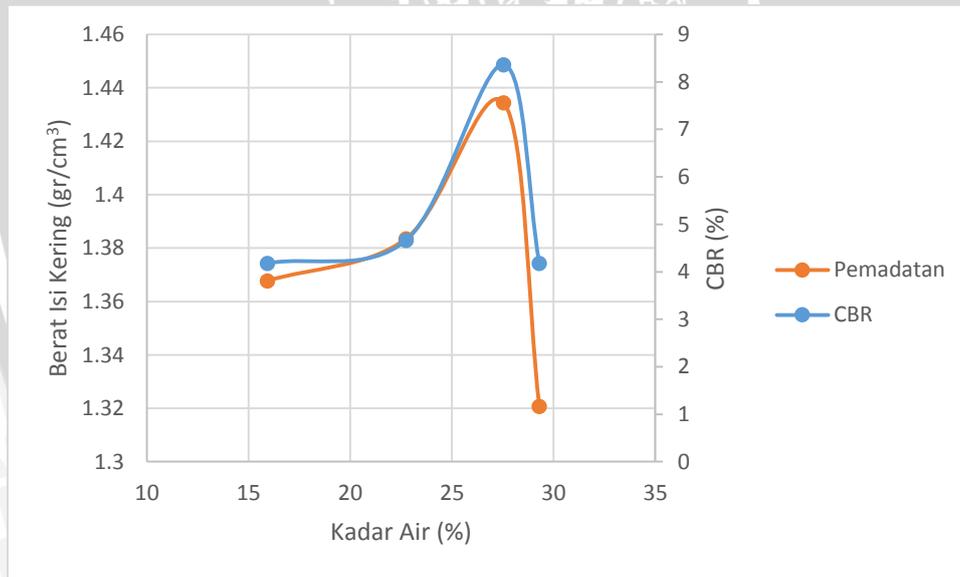
Berikut adalah grafik hasil pemadatan dengan kadar air tertentu dan didapatkan hasil berat isi kering dan CBR *Unsoaked*:

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian CBR *Unsoaked*.

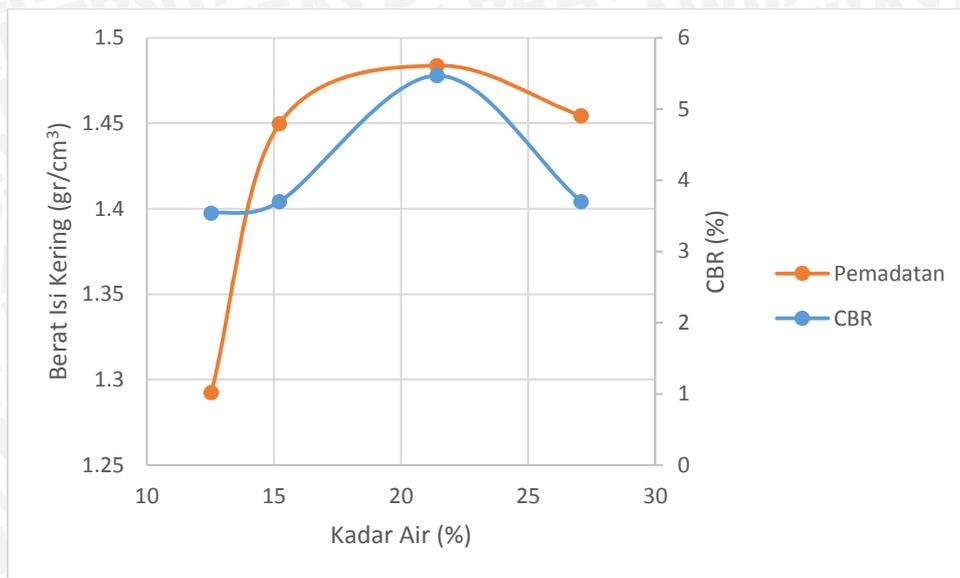
KOMPOSISI BAHAN	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR ( <i>Unsoaked</i> ) (%)
<i>TANAH ASLI</i>	28.381	1.228	6.889
<i>TANAH ASLI + 3.75% SLAG BAJA + 1.25% FLY ASH</i>	21.458	1.329	1.463
	26.431	1.365	6.939
	32.001	1.364	5.003
	33.454	1.272	3.998
<i>TANAH ASLI + 7.5% SLAG BAJA + 2.5% FLY ASH</i>	15.932	1.368	4.133
	22.746	1.383	4.612
	27.547	1.434	8.316
	29.295	1.321	4.974
<i>TANAH ASLI + 11.25% SLAG BAJA + 3.75% FLY ASH</i>	12.534	1.292	3.787
	15.211	1.450	3.886
	21.410	1.484	5.429
	27.085	1.454	3.809



**Gambar 4.12** Hubungan Pemadatan Dengan CBR *Unsoaked* Untuk Komposisi Tanah Asli + 3.75% Slag Baja + 1.25% Fly Ash.



**Gambar 4.13** Hubungan Pemadatan Dengan CBR *Unsoaked* Untuk Komposisi Tanah Asli + 7.5% Slag Baja + 2.5% Fly Ash.

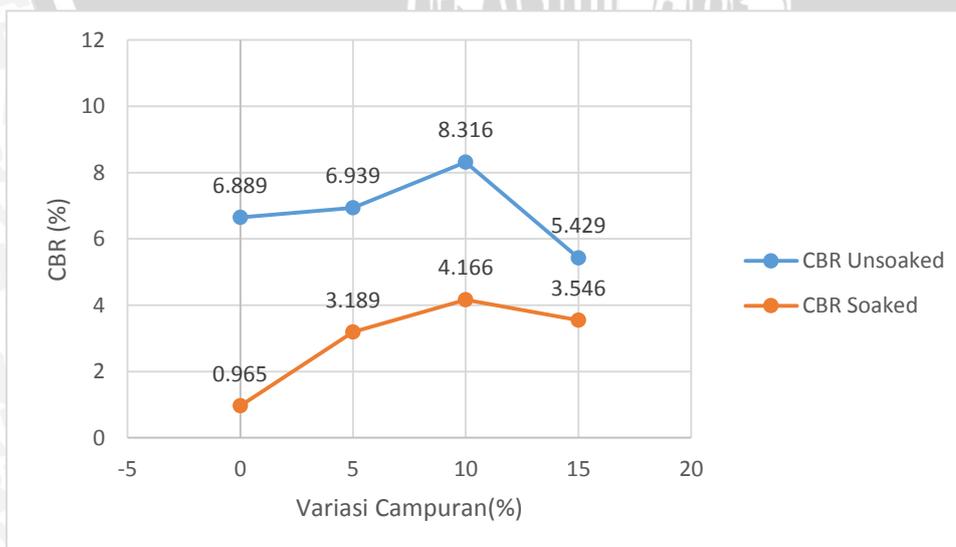


**Gambar 4.14** Hubungan Pemadatan Dengan CBR *Unsoaked* Untuk Komposisi Tanah Asli + 11.25% *Slag* Baja + 3.75% *Fly Ash*.

Dari ketiga grafik diatas, didapatkan hasil bahwa grafik hubungan pemadatan CBR *Unsoaked* mempunyai pola yang sama, yaitu pada kondisi berat isi kering maksimum didapatkan nilai CBR yang maksimum juga.

#### 4.7 Perbandingan CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked*

Berikut adalah hasil perbandingan CBR *Unsoaked* dengan CBR *Soaked* yang diambil pada kondisi OMC pada setiap variasi:



**Gambar 4.15** Grafik Perbandingan Nilai CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked*.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa CBR *Soaked* lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai CBR *Unsoaked*. Hal ini disebabkan karena dengan adanya rendaman, maka kadar air dalam tanah akan bertambah karena air masuk melalui pori-pori tanah, dan pada saat dibebani, air akan keluar melewati pori tanah sehingga mengurangi kekuatan tanah. Oleh sebab itulah CBR yang dihasilkan juga kecil.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Seiring penambahan bahan campuran *slag* baja dan *fly ash* dapat mengakibatkan meningkatnya berat isi kering pada tanah dan menurunkan OMC.
2. Harga CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked* maksimum didapatkan pada variasi campuran sebanyak 10% (7.5% *slag* baja + 2.5% *fly ash*), sebesar 8.316% untuk *Unsoaked* dan 4.166% untuk *Soaked*.
3. Nilai *Swelling* terendah pada pencampuran 15% (11.25% *slag* baja + 3.75% *fly ash*), yaitu sebesar 0.198%.

#### 5.2 Saran

Setelah mempelajari dan memahami hasil, pengolahan, dan pembahasan penelitian, didapatkan saran-saran yang diharapkan agar penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan lebih baik. Berikut adalah saran-saran yang dapat disampaikan:

1. Dari nilai CBR dan *Swelling* hasil penelitian diatas, disarankan menggunakan kadar campuran sebesar 10%, karena memiliki harga CBR yang paling maksimum, dan perbedaan nilai *Swelling* tidak terlalu signifikan dengan kadar campuran 15%, yaitu 0.341% untuk kadar campuran 10% dan 0.198% untuk kadar campuran 15%.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan variasi perbandingan *slag* baja dan *fly ash* yang lebih banyak agar didapatkan hasil CBR dan *Swelling* yang lebih baik dan signifikan.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi lama pemeraman (*curing*) dan variasi lama perendaman untuk *Swelling* agar reaksi kimia yang disebabkan oleh zat *pozzolan* terjadi sempurna.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan bahan limbah yang bervariasi guna mengurangi pencemaran dan masalah-masalah lingkungan.

5. Pada saat mencampur sebaiknya menggunakan alat pengaduk agar campuran yang dihasilkan lebih baik dan merata.

