

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu jenis material yang selalu berhubungan dengan konstruksi, baik konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Tanah menjadi komponen yang sangat diperhatikan dalam perencanaan konstruksi, untuk itu dalam melakukan perencanaan konstruksi harus dilakukan penyelidikan terhadap karakteristik dan kekuatan tanah.

Dari berbagai jenis tanah, tanah yang banyak ditemukan memiliki masalah keteknikan adalah tanah lempung dan kebanyakan pembangunan di Indonesia berada di atas tanah lempung. Di Bojonegoro khususnya di Desa Ngasem teridentifikasi memiliki jenis tanah lempung ekspansif. Jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukuran koloidal yang memiliki fluktuasi kembang susut yang relatif tinggi dan memiliki potensi mengembang (*swelling*) yang tinggi bila terkena air. Kandungan mineral yang ada pada tanah ekspansif adalah mineral montmorillonite yang sangat mudah menyerap air dalam jumlah yang banyak sehingga tanah mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air dan sangat mudah mengembang. Dengan itu dapat disimpulkan bahwa tanah ekspansif sangat sensitif terhadap pengaruh musim dimana pada musim hujan tekanan tanah akan mengembang dan akan mengalami penyusutan saat musim kemarau. Besarnya pengembangan dan penyusutan tanah yang terjadi umumnya tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan differential movement atau perbedaan ketinggian pada permukaan sehingga menyebabkan kerugian-kerugian yang diakibatkan, antara lain:

1. Pengembangan (heave) dan retak (cracking) pada permukaan jalan raya
2. Kelebihan tegangan lateral pada dinding penahan tanah
3. Heave dan buckling pada slab lantai
4. Heave dan buckling pada dinding penahan
5. Berkurangnya daya dukung dan kuat geser tanah

Saat ini Pertamina sedang melakukan pengboran minyak bumi di wilayah tersebut. Untuk memperlancar proses pengeboran, pengolahan serta pendistribusian

hasil bumi tersebut dibutuhkan prasarana transportasi yang memadai. Mengingat dari kondisi tanah di wilayah tersebut yang kurang baik maka untuk menghindari adanya kerugian-kerugian seperti di atas, sangat diperlukan adanya perbaikan tanah.

Diketahui bahwa susunan tanah lempung ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$) terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Mineral lempung memiliki sifat menyerap kation dan anion. Ion-ion dapat bertukar dan tetap berada di sekeliling luar struktur. Keberadaan muatan pada mineral lempung diindikasikan melalui kemampuan lempung menyerap ion-ion dari larutan. Kation lebih siap terserap dibandingkan anion, karena muatan negatif mendominasi permukaan lempung (Indarto, 2012).

Dari penjelasan tersebut di atas, maka usaha-usaha untuk memperbaiki tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi diperlukan adanya tambahan bahan lain yang mempunyai muatan positif guna untuk menyeimbangkan partikel-partikel lempung yang bermuatan negatif. Pada penelitian ini bahan yang ditambahkan untuk stabilisasi tanah adalah *fly ash* dan *slag* baja. Penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Setyo Budi, Et al (2003) dengan menambahkan *fly ash* terhadap lempung ekspansif dapat menurunkan potensi pengembangan (*swell pressure*) sampai 50% dan meningkatkan kekuatan tanah hingga 300% dari kondisi tanah asli dengan melakukan curing selama 28 hari. Penelitian yang dilakukan Djarwanti N, (2006) terhadap tanah lempung adalah dengan menggunakan ACBFS (Air – Cooled Blast Furnance *Slag*) yang dapat disimpulkan bahwa *slag* baja dapat meningkatkan kekuatan tanah seiring dengan bertambahnya komposisi *slag* baja dan semakin besar kandungan kadar airnya akan memperkecil nilai kohesi (C).

Beberapa hal di dalam penelitian yang akan dilakukan ini adalah sebagai pengembangan dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan campuran antara *slag* baja dan *fly ash* adalah karena campuran bahan tersebut memiliki kandungan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , CaO yang cukup tinggi. Di dalam penelitian yang dilakukan akan digunakan 3 variasi bahan campuran dengan komposisi 75% *fly ash* dan 25% *slag* baja yaitu 5% bahan campuran (3,75% *fly ash* + 1,25% *slag* baja), 10% bahan campuran (7,5% *fly ash* + 2,5% *slag* baja), dan 15% bahan campuran (11,25% *fly ash* + 3,75% *slag* baja). Yang membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah prosentase dari *fly ash* : *slag* baja nya yang masing-masing adalah 50% : 50% dari variasi bahan campuran. Pemilihan komposisi tersebut diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih baik

daripada penelitian yang sebelumnya dimana dari penelitian sebelumnya didapatkan kesimpulan bahwa penambahan bahan campuran *slag* baja dan *fly ash* dapat menurunkan nilai OMC dan meningkatkan berat isi kering pada tanah asli, peningkatan CBR optimum dan nilai *swelling* terendah didapatkan pada saat komposisi 10% campuran yaitu 5% *fly ash* dan 5% *slag* baja. Namun terjadi penurunan CBR disaat terlalu banyak pemberian bahan stabilisasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi nilai sudut geser tanah dan kinerja bahan stabilizer. Proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menganalisis nilai CBR dan *swelling*nya. Dari uji CBR didapatkan nilai kekuatan tanah sedangkan dari uji *swelling* didapatkan nilai potensi pengembangan dari tanah lempung. Dari penelitian ini diharapkan diperoleh suatu komposisi yang dapat menstabilkan tanah lempung secara optimum dan ekonomis yang dapat digunakan sebagai pertimbangan apabila akan dilakukan perencanaan mengenai konstruksi di atas jenis tanah tersebut.

1.2 Identifikasi Masalah

Fenomena pengembangan (*swelling*) tanah lempung menimbulkan berbagai dampak pada konstruksi bangunan sipil. Sifat mudah mengembang ini disebabkan karena tanah ekspansif mengandung jenis mineral-mineral tertentu yang mengakibatkan tanah tersebut memiliki luas permukaan cukup besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah yang besar sehingga dapat disimpulkan bahwa tanah lempung memiliki sifat kembang susut yang ekstrim. Tanah lempung juga memiliki sifat permeabilitas kecil, kekuatan geser rendah, pemampatan yang besar serta plastisitas tinggi. Apabila suatu konstruksi dibangun di atas tanah tersebut maka kerusakan-kerusakan dapat terjadi misalnya seperti terjadi retakan (*cracking*) pada permukaan jalan.

Untuk itu diperlukan adanya usaha perbaikan tanah guna mengembalikan tanah lempung pada kondisi yang stabil yaitu dengan menambahkan campuran *fly ash* dan *slag* baja. Di samping itu penggunaan bahan tersebut dimaksudkan untuk mengurangi adanya limbah yang sangat berbahaya jika dibiarkan dan tidak dimanfaatkan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari penambahan campuran *fly ash* dengan *slag* baja terhadap berat isi kering dan kadar air optimum (OMC) ?
2. Bagaimana pengaruh dari penambahan campuran *fly ash* dengan *slag* baja terhadap nilai CBR ?
3. Bagaimana pengaruh dari penambahan campuran *fly ash* dengan *slag* baja terhadap nilai *swelling* ?

1.4 Batasan Masalah

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

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, meliputi pemeriksaan: analisa butiran, batas-batas atterberg, berat jenis tanah, pemadatan standart, uji *swelling* dan CBR *soaked* dan CBR *unsoaked*.
2. Perbandingan berat kering campuran *slag* baja dan *fly ash* adalah 25% : 75% dari 5%, 10% dan 15% bahan campuran.
3. Tanah lempung yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari Desa Ngasem, Kota Bojonegoro, Jawa Timur.
4. *Slag* baja yang digunakan merupakan limbah dari PT. ISPAT INDO (Jl. Raya Taman Sepanjang, Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo).
5. *Fly Ash* yang digunakan didapat dari hasil pembakaran batu bara di kawasan Malang.
6. Suhu selama proses pengujian/percobaan sesuai dengan suhu kamar.
7. Setiap variasi benda uji, dilakukan uji pemadatan sesuai dengan penambahan kadar air yang ada pada rancangan percobaan.
8. Penelitian ini tidak membahas tentang reaksi kimia dan analisis nilai ekonomis.

9. 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)

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui besar pengaruh penambahan campuran *fly ash* dan *slag* baja terhadap berat isi kering dan kadar air optimum (OMC).
2. Untuk mengetahui nilai *swelling*, serta pengaruh penambahan campuran *fly ash* dan *slag* baja terhadap nilai *swelling*.
3. Untuk mengetahui nilai CBR tanah lempung ekspansif yang dipadatkan dengan pengaruh penambahan campuran *fly ash* dan *slag* baja terhadap nilai CBR.
4. Untuk mengetahui penambahan campuran *fly ash* dan *slag* baja sehingga didapatkan nilai CBR optimum pada kondisi kadar air yang berbeda.

1.6 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai salah satu usaha pemanfaatan kembali limbah yang sangat berbahaya menjadi limbah yang berguna
2. Sebagai salah satu alternatif yang bisa dipertimbangkan dalam upaya stabilisasi tanah yang mempunyai sifat fisik dan teknis yang buruk.
3. Sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Penelitian ini ditujukan untuk memperbaiki keadaan tanah yang ada di Desa Ngasem Kota Bojonegoro seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Keadaan tanah di wilayah tersebut memiliki sifat kembang susut yang ekstrim karena merupakan tanah ekspansif. Tanah ekspansif tersebut juga memiliki sifat permeabilitas rendah, nilai kohesi tinggi serta nilai IP (Index Plastisitas) tinggi.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rendra Prasetyo pada tahun 2012, menggunakan bahan campuran *slag* baja dan *fly ash* dengan prosentase seperti berikut:

- a. 5% bahan campuran terdiri dari 2,5% *fly ash* + 2,5% *slag* baja
- b. 10% bahan campuran terdiri dari 5% *fly ash* + 5% *slag* baja
- c. 15% bahan campuran terdiri dari 7,5% *fly ash* + 7,5% *slag* baja

dari penelitian yang telah dilakukan tersebut didapatkan kesimpulan bahwa penambahan bahan campuran *slag* baja dan *fly ash* dapat menurunkan nilai OMC dan meningkatkan berat isi kering pada tanah asli, peningkatan CBR optimum dan nilai *swelling* terendah didapatkan pada saat komposisi 10% campuran yaitu 5% *fly ash* dan 5% *slag* baja.

2.1.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Unified (U.S.C.S)

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh United State Bureau of Reclamation (USBR) dan United State Army Corps of Engineer (USACE). Kemudian American Society for Testing and Materials (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

Dalam USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 (F200 < 50).

2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Tabel 2.1 Simbol untuk Klasifikasi USCS

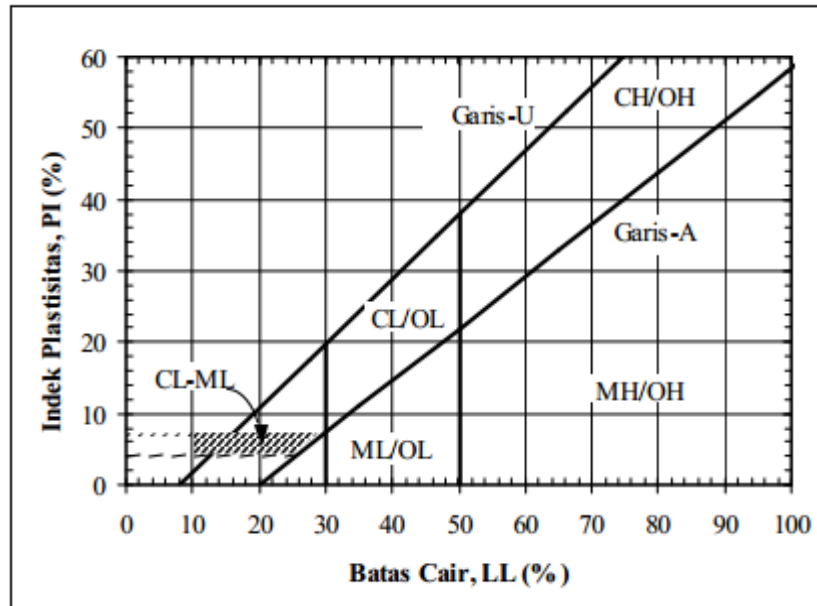
Simbol	Keterangan
G	Kerikil (gravel)
S	Pasir (sand)
M	Lanau Inorganik (inorganic silt)
C	Lempung Inorganik (inorganic clay)
O	Lanau dan Lempung Organik
Pt	Gambut (peat)
W	Gradasi Baik (well graded)
P	Gradasi Buruk (poorly graded)
L	Plastisitas Rendah (low plasticity)
H	Plastisitas Tinggi (high plasticity)

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berbutir*) menurut USCS

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No.4	GW	Kerikil gradasi baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil – pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No.4	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	SP	Pasir gradasi buruk, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)

*) Tanah berbutir kasar bila 50% atau lebih lolos tertahan pada saringan No.200 (R_{200}).

Gambar 2.1 Klasifikasi tanah berbutir halus menurut USCS



2.1.2 Pengertian Tanah Lempung

Tanah lempung adalah agregat partikel-partikel berukuran mikroskopis dan sub-mikroskopis yang berasal dari pelapukan kimiawi unsur-unsur penyusutan batuan, bersifat elastis yang kuat, menyusut saat kering dan mengembang saat basah. Karena perilaku inilah beberapa jenis tanah terjadi retak bila kering. Perilaku dan sifat lempung sangat tergantung pada komposisi mineral, unsur-unsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 1999) adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Bersifat sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat.

Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembangan. Karakteristik pengembangan hanya dapat diperkirakan dengan menggunakan indeks plastisitas, (Holtz dan Gibbs, 1962).

Tabel 2.3 Senyawa Kimia pada Tanah Lempung

Unsur Kimia	Lempung (%)
SiO ₂	75,4
CaO	0,70
MgO	0,71
Fe ₂ O ₃	0,01
Al ₂ O ₃	14,10

Sumber : Laboratorium Kimia FMIPA USU, 2001

2.1.3 Struktur Mineral Lempung

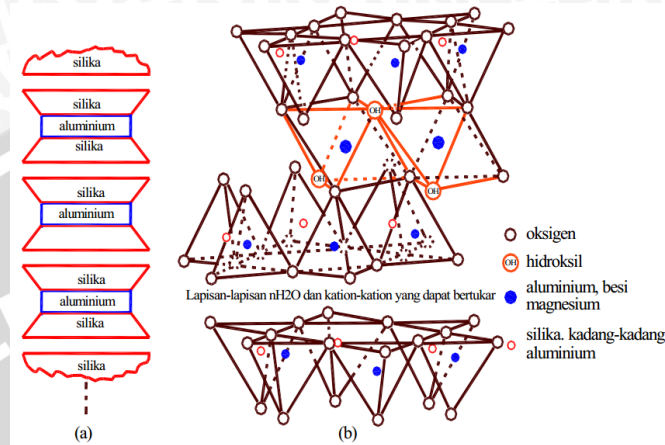
Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa hydrous aluminium dan magnesium silikat dalam jumlah yang besar.

Satuan struktur dasar mineral lempung adalah terdiri dari silika tetrahedron dan aluminium oktahedron. Silika Tetrahedron pada dasarnya merupakan kombinasi dari satuan Silika Tetrahedron yang terdiri dari satu atom silikon yang dikelilingi pada sudutnya oleh empat buah atom Oksigen. Sedangkan Aluminium Oktahedron merupakan kombinasi dari satuan yang terdiri dari satu atom Alumina yang dikelilingi oleh atom Hidroksil pada keenam sisinya.

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah Montmorillonite, Illite, dan Kaolinite. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat (Al₂ O₃ n Si O₂ kH₂O), namun demikian ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya, yaitu :

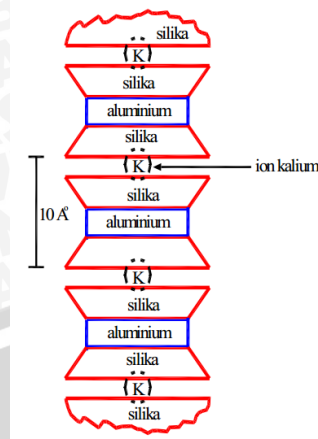
- *Montmorillonite* disebut juga dengan smectit, adalah mineral yang dibentuk oleh dua buah lembaran silika dan satu lembaran aluminium. Lembaran oktahedra terletak di antara dua lembaran silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu

lapisan tunggal. Tebal satuan unit adalah 9,6 Å (0,96 μm). Mineral Montmorillonite, mempunyai sifat pengembangan yang sangat tinggi, sehingga tanah lempung yang mengandung mineral ini akan mempunyai potensi pengembangan yang sangat tinggi. Rumus kimia mineral Montmorillonite adalah $Al Mg (Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$.



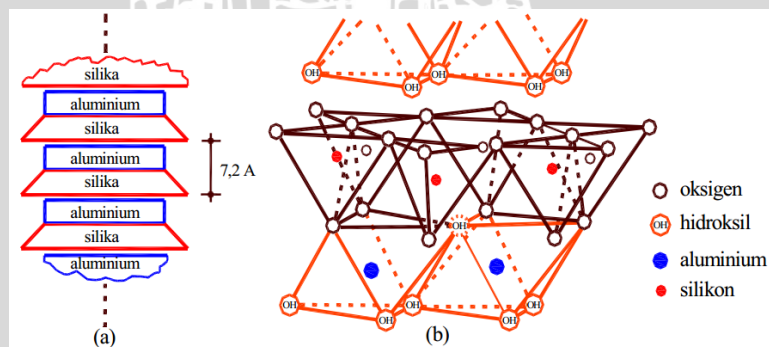
Gambar 2.2 (a) Diagram skematik struktur montmorillonite (Lambe, 1953)
(b) Struktur atom montmorillonite (Grim, 1959)

- *Illite* adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok illite. Rumus kimia mineral Illite adalah $K_y Al_2 (FeMg_2 Mg_3) (Si_{4-y} Al_y O_{10} (OH)_2$. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat di antara dua lembaran silika tetrahedra. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan montmorillonite. Perbedaannya ada pada :
 - Pengikatan antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan, sekaligus sebagai pengikat.
 - Terdapat ± 20 % pergantian silikon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral.
 - Struktur mineralnya tidak mengembang sebagaimana montmorillonite



Gambar 2.3 Diagram skematik struktur illite (Lambe, 1953).

- Kaolinite* adalah mineral dari kelompok kaolin yang merupakan hasil pelapukan sulfat atau air yang mengandung karbonat dan terdiri dari susunan satu lembaran silika tetrahedra dengan lembaran aluminium oktahedra. Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian rupa sehingga ujung dari lembaran silika dan satu dari lapisan lembaran oktahedra membentuk sebuah lapisan tunggal. Tebal satuan unit adalah 7,2Å (1 Å=10⁻¹⁰ m). Mineral Kaolinite, mempunyai ukuran partikel yang lebih besar dan mempunyai sifat pengembangan yang lebih kecil. Rumus kimia untuk mineral ini adalah Al₂Si₂O₅(OH)₄.



Gambar 2.4 (a) Diagram skematik struktur kaolinite (Lambe, 1953)

(b) Struktur atom kaolinite (Grim, 1959)

2.2 Tanah Lempung Ekspansif

Lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah tersebut. Jika kandungan airnya banyak maka tanah tersebut akan mengembang dan kekuatan daya dukungnya akan berkurang demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya sedangkan daya dukungnya akan meningkat.

2.2.1 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif ada tiga cara, yaitu Identifikasi Mineralogi untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffraction*)
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorption*)
- Perubahan/Perbedaan Panas (*Differential Thermal Analysis*)
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*)
- Elektron Microscope Resolution

Cara Tidak Langsung 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*, *linear shrinkage test* (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid.

Dan yang terakhir adalah cara langsung dengan pengukuran langsung, yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan Oedometer Terzaghi.

2.2.2 Atterberg Limit

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, batas susut. Batas konsistensi tanah ini didasarkan kepada kadar air yaitu:

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (yaitu batas atas atau daerah plastis). Cara menentukannya adalah

repository.ub.ac.id

dengan menggunakan alat Cassagrande. 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.

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi). Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada plat kaca hingga diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inchi. Bilamana tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inchi, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.

Batas susut menunjukkan kadar air atau batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering tidak akan menyusut lagi, meskipun dikeringkan terus atau batas dimana sesudah kehilangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah.

$$SL = \left[\left(\frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) - \left(\frac{\text{Volume Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) \right] \times 100\%$$

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (Interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah.

$$PI = LL - PL$$

dimana : PI = *Plastic Index* (%) ; LL = *Liquid Limit* (%) ; PL = *Plastic Limit* (%) .

2.3 CBR (California Bearing Ratio)

California Bearing Ratio adalah rasio dari tegangan perlawanan penetrasi (*penetration resistance*) dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan tegangan perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah *standart* berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 in) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Tegangan perlawanan penetrasi adalah tegangan yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah.

Kekuatan tanah dasar tentu banyak bergantung pada kadar airnya. Makin tinggi kadar airnya makin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut. Walaupun demikian, hal itu tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dipadatkan dengan kadar air rendah untuk mendapatkan nilai CBR yang tinggi, karena kadar air tidak tahan konstan pada nilai rendah itu. Kadar air konstan inilah yang disebut kadar air keseimbangan. Batas-batas kadar air dan berat isi kering dapat ditentukan dari hasil percobaan laboratorium yaitu percobaan pemadatan dan CBR.

CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi tidak terendam disebut CBR *Unsoaked* dan pada kondisi terendam atau disebut CBR *Soaked*, pada umumnya harga CBR *Soaked* lebih rendah dari CBR *Unsoaked*. Namun demikian kondisi *Soaked* adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR *Soaked* yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan.

California Bearing Ratio (CBR) didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standar (standard load) dan dinyatakan dalam persen. Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Penetrasi dapat dihitung menggunakan peresamaan 5 dan 6 yang dikeluarkan oleh California Highway Departement dan US Army Corps of Engineers , 1929 dalam Rollings and Rollings, J.R (1996).

- Penetrasi 0,1" (2,5 mm)

$$CBR_{0,1} = \frac{\text{Harga Pressure pada Penetrasi } 0,1''}{3000} \times 100\%$$

- Penetrasi 0,2" (5 mm)

$$CBR_{0,2} = \frac{\text{Harga Pressure pada Penetrasi } 0,2''}{4500} \times 100\%$$

2.4 Swelling (Pembengangan)

Swelling adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air. Potensi pembesaran volume ini tergantung pada komposisi mineral, peningkatan kadar air, indeks plastisitas, kadar lempung dan tekanan tanah penutup.

Proses pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinking*) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah tersebut.

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air yang diikuti oleh kenaikan tegangan efektif menyebabkan volume tanah menyusut dan sebaliknya penambahan kadar air menyebabkan pengembangan. Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan differential movement. Perubahan itulah yang berbahaya untuk konstruksi di atasnya. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, 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 lain, dll.

2.4.1 Pengujian Persentase Mengembang

Pemeriksaan ini untuk menentukan nilai *swell* atau kembang susut akibat beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang meresap ke pori-pori mengisi rongga-rongga udara sehingga terjadi perubahan isi dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal yang bekerja pada tanah tersebut. Tanah lempung yang banyak mengandung mineral montmorillonite berpotensi untuk mengembang dan umumnya diuji dengan metode ini.

2.4.2 Pengujian Tekanan Mengembang

Pengujian tekanan mengembang merupakan lanjutan dari uji persentase mengembang setelah pengembangan maksimum. Selanjutnya diberi tekanan bertahap hingga kembali ke angka pori awal (e_0). Pembacaan dial dilakukan pada setiap masing-masing beban setelah pembebanan berlangsung selama 24 jam.

2.5 Pemadatan Tanah Lempung

Pemadatan pada tanah adalah proses memperkecil ruang pori dengan menggunakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh mekanisme pergerakan dari partikel padatnya. Pada setiap standar pemadatan yang digunakan akan diperoleh nilai kadar air optimum (optimum moisture content) yang menghasilkan kepadatan

maksimum (berat volume kering maksimum). Pada kadar air lainnya, baik di daerah kering atau di daerah basah terhadap kadar air optimumnya, akan diperoleh kepadatan yang lebih kecil dari kepadatan maksimumnya. Makin jauh dari kadar air optimumnya, maka kepadatan yang akan didapatkan akan semakin kecil pula.

Tujuan dari pemadatan tanah adalah:

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lain

Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah pemadatan akan sangat tergantung pada cara atau usaha pemadatan, jenis tanah, dan kadar air. Pada percobaan Proctor, usaha pemadatan yang dilakukan dengan lima lapisan akan memberikan hasil yang lebih padat dibandingkan dengan pemadatan tiga lapisan. Jadi dengan usaha pemadatan yang lebih besar, akan diperoleh tanah yang lebih padat atau berat volume keringnya semakin besar. Biasanya kadar air tanah yang dipadatkan didasarkan pada posisi-posisi kadar air sisi kering optimum (dry side of optimum), dekat optimum, atau optimum dan sisi basah optimum.

2.6 Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah atau sering disebut dengan stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu seperti kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air.

Bowles (1986) membagi jenis stabilisasi tanah menjadi salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut ini:

- Stabilisasi mekanis yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas, benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan, dan lain-lain.

- Stabilisasi dengan bahan pencampur (aditif) misalnya kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir kasar, dan pencampur kimiawi seperti semen portland, gamping, abu batubara, dan lain-lain.

Menurut Kedzy (1979), stabilisasi adalah usaha meningkatkan kekuatan geser tanah sehingga memenuhi syarat yang diinginkan dan stabilisasi tersebut tergantung dari kondisi cuaca.

Telah banyak upaya dan metode dipakai untuk mengatasi masalah tanah ekspansif ini. Karena sifat, jenis, dan karakternya berbeda-beda maka metode untuk mengatasinya juga berbeda. Metode stabilisasi tersebut antara lain :

- Prewetting
- Pengantian tanah
- Pencampuran dan pemadatan
- Pembebanan
- Stabilisasi dengan bahan kimia
- Pembatasan lahan

Stabilisasi tanah lempung dengan bahan pencampur seperti semen, kapur dan bahan kimia sudah umum digunakan, dimana bahan pencampur selalu tersedia. Pada penelitian ini, bahan pencampur yang digunakan adalah *fly ash* dicampur dengan *slag* baja. Bahan-bahan tersebut bekerja sebagai pengikat campuran yang secara permanen mengikat partikel-partikel tanah atau agregat tanah secara bersama-sama, sehingga terbentuk material tanah dengan butiran lebih besar.

Pemilihan bahan tambah yang cocok bergantung pada maksud penggunaannya. Banyaknya kadar bahan tambah pada umumnya ditentukan dari uji laboratorium, yang mensimulasikan kondisi lapangan, cuaca, daya tahan atau uji kekuatan. Penambahan bahan tambah pada tanah akan memerlukan biaya pelaksanaan yang relatif tinggi. Karena itu, perbaikan tanah menggunakan bahan tambah tersebut bisa digunakan sebagai alternatif lain yang lebih ekonomis.

2.7 Perbaikan Tanah dengan Bahan Campuran

2.7.1 Perbaikan Tanah dengan *Fly Ash*

Fly ash adalah material hasil buangan yang dikumpulkan dari pabrik-pabrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Ketersediaan *fly ash* yang berlimpah-limpah memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan.

Fly ash merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan yang pada intinya mengandung unsur kimia antara lain silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan carbon.

Menurut ASTM C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua ash tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi di ash tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan *fly ash* yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar CaO . Yang penting diketahui, bahwa tidak semua *fly ash* dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi.

1. *Fly ash* kelas F: mempunyai sifat pozzolanic dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime, hydrated lime, atau semen. *Fly ash* kelas F ini kadar kapurnya rendah ($\text{CaO} < 10\%$).
2. *Fly ash* kelas C: mempunyai sifat pozzolanic juga mempunyai sifat self-cementing (kemampuan untuk mengeras dan menambah strength apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur ($\text{CaO} > 20\%$).

Setyo-Budi, et al. (2003) melakukan penelitian dengan melakukan variasi penambahan *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, hasilnya sebagai berikut :

1. Apabila tanah tersebut dicampur *fly ash* dengan prosentase 25% dan di curing selama 28 hari maka dapat meningkatkan kekuatan tanah mencapai 300% dari tanah asli.

2. Apabila tanah tersebut dicampur dengan 25% *fly ash* dan di curing selama 28 hari dapat menurunkan *swell pressure* sebesar 50% dari tanah asli dengan kadar air optimum sebesar 20%

2.7.2 Perbaikan Tanah dengan *Slag* Baja

Slag baja adalah padatan berbentuk kubikal tidak teratur. Batuan ini terbentuk dari mineral-mineral yang digunakan sebagai pemurnian baja. *Slag* baja mempunyai kekerasan yang tinggi dan digabung dengan permukaan yang kasar.

Slag baja mempunyai sudut geser yang tinggi yaitu antara 40° sampai 45° dan memberikan kontribusi untuk daya dukung yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *slag* baja mengandung unsur-unsur sebagai berikut : 42% Fe₂O₃, 7,2% Al₂O₃, 21,5% CaO, 11,2% MgO, 14,6% SiO₂ dan 0,4% P₂O₅ (Suwarno dan Goto,1997)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Jarwanti (2006) menggunakan lima sample dengan campuran ACBFS (Air Cooled Blast Furnance *Slag*) sebanyak 0%, 30%, 50%, 70%, dan 100%, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penambahan ACBFS mampu merapatkan butiran-butiran tanah dan mengurangi pori-pori udara sehingga tanah mempunyai tingkat kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan sebelumnya.
2. Penambahan ACBFS meningkatkan berat isi kering dan nilai sudut geser dalamnya tetapi menurunkan nilai kohesinya. Karena terjadi perubahan distribusi butiran halus menjadi tanah berbutir kasar sesuai banyaknya penambahan ACBFS.

2.7.3 Perbaikan Tanah dengan Semen

Perbaikan tanah lempung dengan Semen merupakan proses kimia yang dapat merubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga akan memberikan pengaruh yang sangat menguntungkan. Peristiwa kimia terjadi antara tanah dan semen, ketika keduanya dicampur dengan menambahkan sejumlah air. Hasil dari proses ini adalah pengurangan porositas dari tanah lempung dan bersamaan dengan ini terjadi peningkatan kekuatan dan ketahanan.

Penelitian yang dilakukan oleh Andriani et al, (2012) menggunakan Portland cement type I dan tanah lempung yang berasal dari daerah Lambung Bukit, Padang. Penambahan semen yang dilakukan adalah dengan prosentase 5%, 10%, 15% dan 20%

dari berat tanah kering. Diperoleh nilai maksimum CBR sebesar 64,138% pada penambahan kadar semen sebesar 20% dengan γ_d maksimum 1,315 gr/cm³ dan kadar air optimum 32,9% dalam waktu perendaman selama 3 hari.

Tabel 2.3 Hasil Penelitian Menggunakan Portland Cement Type I

Kadar Semen (%)	W opt (%)	γ_d (gr/ml)
0	37,5	1,23
5	36,65	1,262
10	34,98	1,291
15	34	1,319
20	32,9	1,35

(Sumber : Andriani et al)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

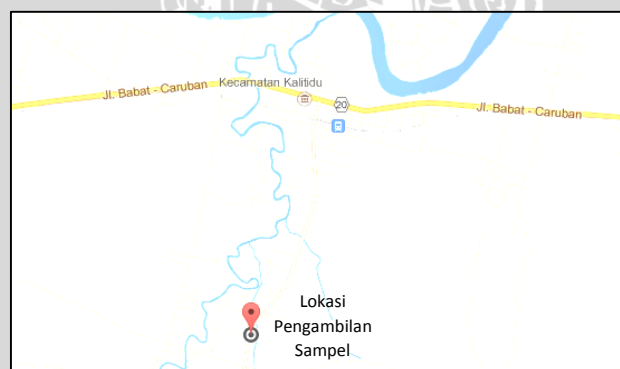
Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan. Yaitu pekerjaan persiapan, penentuan lokasi, pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium. Perencanaan penelitian penting untuk dilakukan agar pelaksanaan selama penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan serta selesai tepat waktu.

3.2 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian dari pelaksanaan penelitian. Tahap pelaksanaan meliputi studi pendahuluan, konsultasi dengan nara sumber, pengajuan proposal, mengurus perijinan penelitian dan koordinasi untuk pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

3.3 Penentuan Lokasi

Dalam penentuan lokasi sampel tanah, dilakukan peninjauan lokasi di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro.



Gambar 3.1 Peta Pengambilan Sampel Tanah

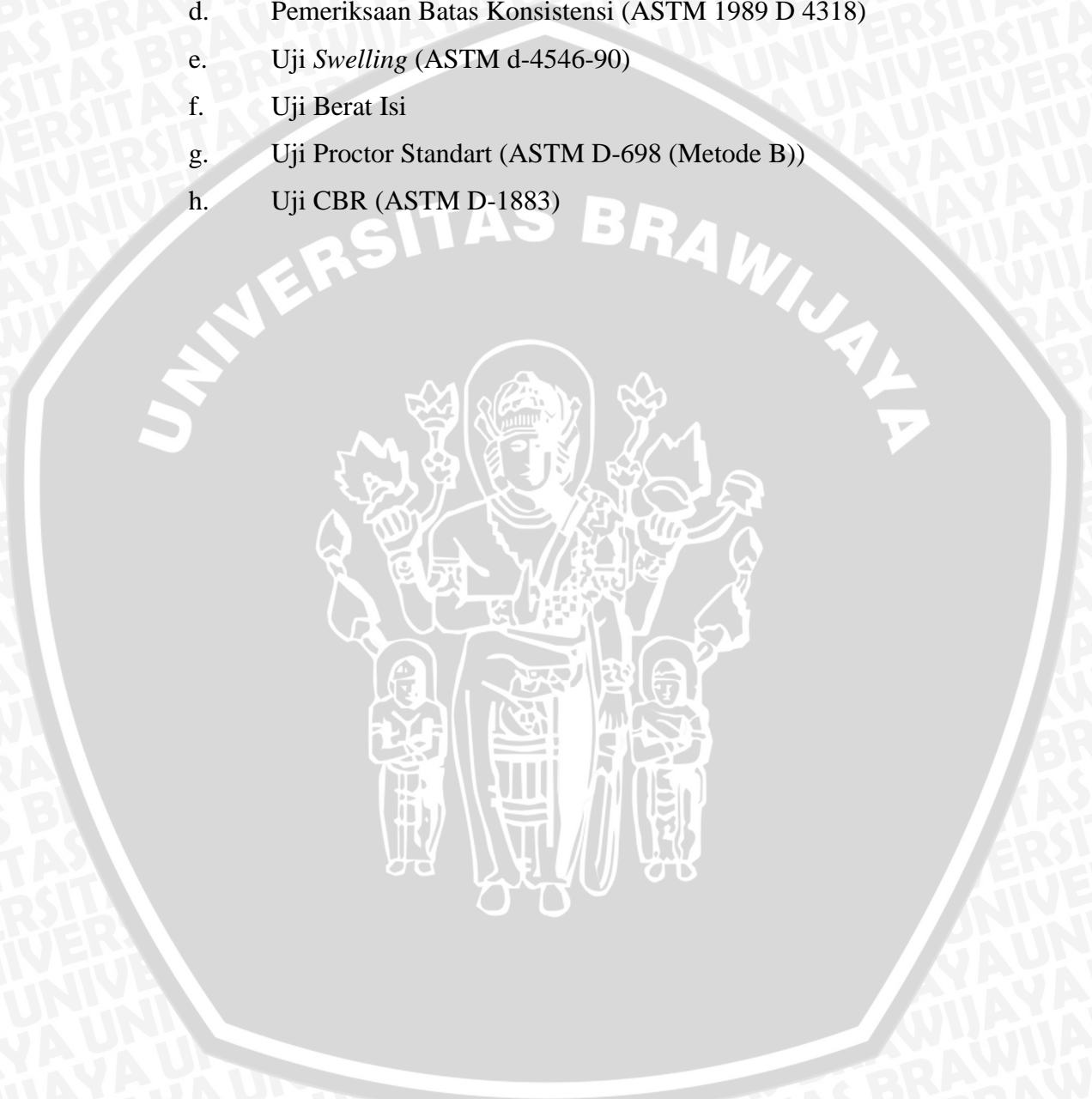
3.4 Pengambilan Sampel

Sampel tanah yang diambil adalah tanah lempung ekspansif dari daerah Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan cara pengambilan terganggu (*disturb soil*). Pengambilan dilakukan dengan menggunakan alat berupa cangkul dan sekop.

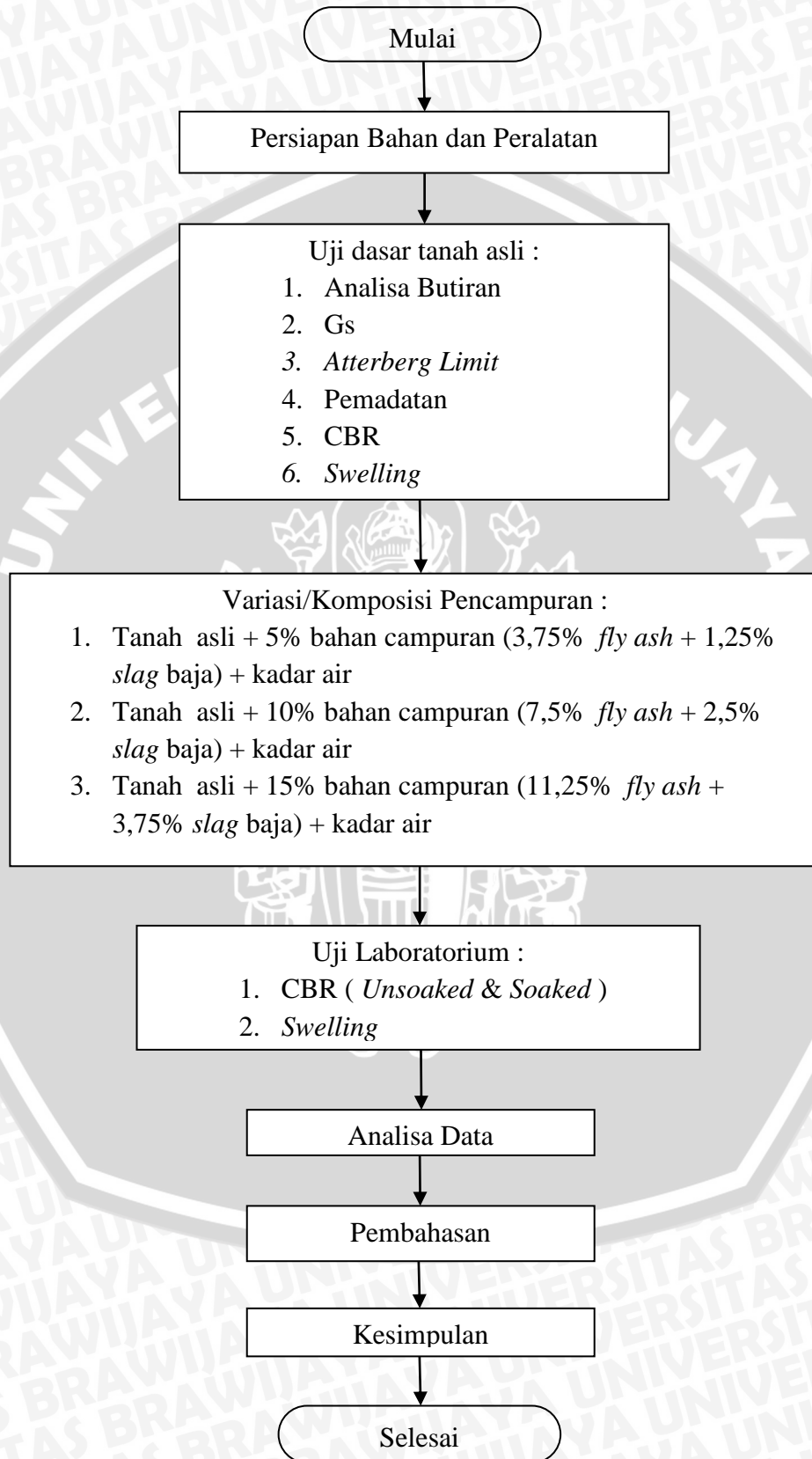
3.5 Pekerjaan Laboratorium

Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Analisis Butiran (ASTM C-136-46 dan ASTM D-422-27)
- b. Pemeriksaan Berat Jenis (ASTM 1989 D 854-83)
- c. Pemeriksaan Kadar Air
- d. Pemeriksaan Batas Konsistensi (ASTM 1989 D 4318)
- e. Uji *Swelling* (ASTM d-4546-90)
- f. Uji Berat Isi
- g. Uji Proctor Standart (ASTM D-698 (Metode B))
- h. Uji CBR (ASTM D-1883)



Langkah-langkah penelitian :



3.6 Rancangan Penelitian

Variasi pencampuran *fly ash* dan *slag* baja dengan tanah adalah seperti yang tertera pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

Komposisi Bahan	Kadar Air	γ_d	CBR (<i>Unsoaked</i>)	Swelling
Tanah Asli	OMC			
Tanah asli + 5% bahan campuran (75% <i>fly ash</i> + 25% <i>slag</i> baja) + kadar air	OMC ₁ - 6%			
	OMC ₁ - 3%			
	OMC ₁			
	OMC ₁ + 6%			
Tanah asli + 10% bahan campuran (75% <i>fly ash</i> + 25% <i>slag</i> baja) + kadar air	OMC ₂ - 6%			
	OMC ₂ - 3%			
	OMC ₂			
	OMC ₂ + 6%			
Tanah asli + 15% bahan campuran (75% <i>fly ash</i> + 25% <i>slag</i> baja) + kadar air	OMC ₃ - 6%			
	OMC ₃ - 3%			
	OMC ₃			
	OMC ₃ + 6%			

Keterangan :

- OMC : nilai kadar air optimum tanah asli
- OMC₁ : nilai OMC dikurangi 3%
- OMC₂ : nilai kadar air optimum (Tanah asli + 5% bahan campuran (75% *fly ash* + 25% *slag* baja)) dikurangi 3%
- OMC₃ : nilai kadar air optimum (Tanah asli + 10% bahan campuran (75% *fly ash* + 25% *slag* baja)) dikurangi 3%

3.7 Pengujian

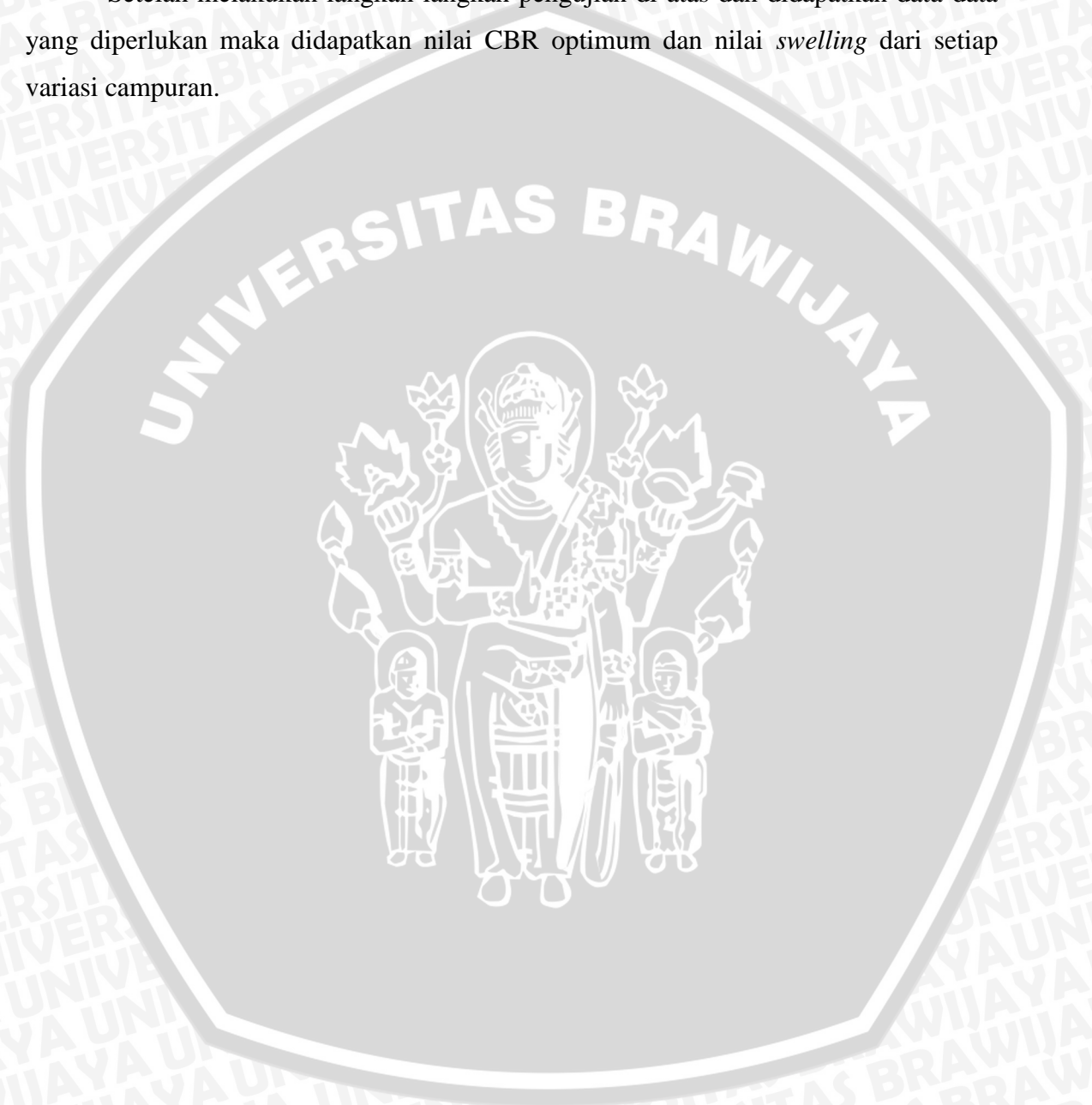
Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Tanah lempung yang diambil dari lapangan dihancurkan terlebih dahulu dan dikeringkan. Kemudian disaring dengan saringan no.4 (4,75 mm).
2. Timbang tanah dengan 3 variasi campuran yaitu 5% *Fly ash* + *Slag* baja, 10% *Fly ash* + *Slag* baja, dan 15% *Fly ash* + *Slag* baja terhadap berat kering sebanyak 5 kg setiap variasi campuran.
3. Lakukan percobaan pemadatan untuk memperoleh nilai kadar air optimum dari tanah asli yang kemudian disebut OMC.
4. Tambahkan OMC₁ sampai mendapatkan kadar air optimum dengan kelipatan +3% dan -3% dari OMC₁ untuk perlakuan tanah dengan 5% campuran (3,75% *Fly ash* + 1,25% *Slag* baja) sampai mendapatkan nilai kadar air optimum.
5. Tambahkan OMC₂ sampai mendapatkan kadar air optimum dengan kelipatan +3% dan -3% dari OMC₂ untuk perlakuan tanah dengan 10% campuran (7,5% *Fly ash* + 2,5% *Slag* baja) sampai mendapatkan nilai kadar air optimum.
6. Tambahkan OMC₃ sampai mendapatkan kadar air optimum dengan kelipatan +3% dan -3% dari OMC₃ untuk perlakuan tanah dengan 15% campuran (11,25% *Fly ash* + 3,75% *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 Analisis Data

Setelah melakukan langkah-langkah pengujian di atas dan didapatkan data-data yang diperlukan maka didapatkan nilai CBR optimum dan nilai *swelling* dari setiap variasi campuran.



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan menguraikan dan membahas hasil penelitian yang diperoleh dari uji Pemadatan, uji CBR *Soaked* dan *Unsoaked* serta uji *Swelling* terhadap tanah yang diberi campuran *fly ash* dan *slag* baja dengan prosentase dari masing-masing adalah 75% : 25%.

Dari hasil pengujian fisik tanah asli sebagai bahan uji, diperoleh data hasil uji *atterberg limit*, *water content*, *sieve analysis*, *hydrometer analysis* dan *compaction test*. Sedangkan untuk tanah dengan campuran *fly ash* dan *slag* baja diperoleh data *water content*, CBR *Soaked* dan *Unsoaked* serta *Swelling*.

4.1 Pemeriksaan *Specific Gravity*

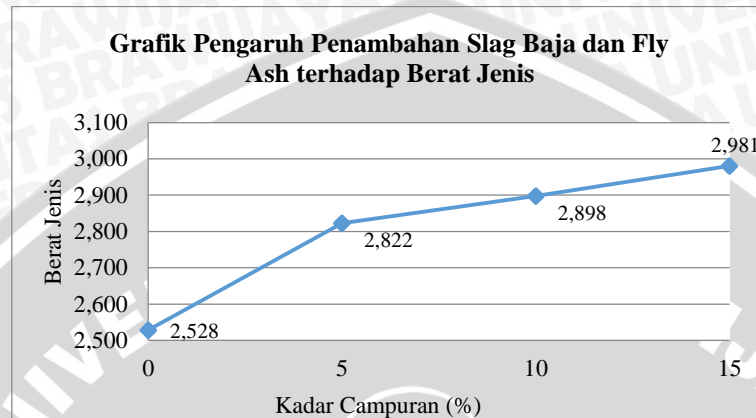
Specific Gravity adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Uji *Specific Gravity* adalah jenis pengujian yang bertujuan untuk menentukan *Specific Gravity* suatu contoh tanah yang digunakan sebagai bahan uji.

Bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian *Specific Gravity* tersebut adalah tanah asli, *fly ash*, *slag* baja, campuran *fly ash* dan *slag* baja dengan prosentase dari masing-masing adalah 75% : 25% serta tanah asli yang diberi bahan campuran dan ada 3 variasi yaitu variasi I terdiri dari tanah asli + 5% bahan campuran, variasi II terdiri dari tanah asli + 10% bahan campuran dan variasi III terdiri dari tanah asli + 15% bahan campuran. Pada **Tabel 4.1** dapat dilihat hasil pengujian *Specific Gravity*:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Specific Gravity* Bahan

BAHAN	SPECIFIC GRAVITY
Tanah Asli	2,528
<i>Slag</i> Baja	3,715
<i>Fly Ash</i>	2,846
<i>Slag</i> Baja + <i>Fly Ash</i>	3,186
Tanah Asli + 3,75% <i>Fly Ash</i> + 1,25% <i>Slag</i> Baja	2,822
Tanah Asli + 7,5% <i>Fly Ash</i> + 2,5% <i>Slag</i> Baja	2,898
Tanah Asli + 11,25% <i>Fly Ash</i> + 3,75% <i>Slag</i> Baja	2,981

Dari hasil percobaan yang ditampilkan pada **Tabel 4.1** didapatkan nilai *Specific Gravity* untuk tanah asli adalah sebesar 2,528. *Specific Gravity* mengalami peningkatan ketika tanah asli ditambahkan dengan bahan campuran limbah *fly ash* dan *slag* baja. Pengaruh penambahan campuran pada tanah asli terhadap peningkatan *specific gravity*nya dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Pengaruh Penambahan Bahan Campuran terhadap *Specific Gravity*

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa nilai *Specific Gravity* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya bahan campuran berupa *fly ash* dan *slag* baja. Nilai *Specific Gravity* dari campuran *fly ash* dan *slag* baja lebih besar dari tanah asli sehingga apabila kedua bahan tersebut ditambahkan maka yang terjadi nilai *Specific Gravity* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan prosentase bahan campuran. Sebab lain dari meningkatnya nilai *Specific Gravity* variasi tanah dengan bahan campuran karena pada volume yang sama, berat bahan campuran lebih besar daripada berat tanah asli.

4.2 Klasifikasi Tanah

Sifat-sifat suatu macam tanah tergantung pada ukuran butirnya, untuk itu terlebih dahulu dilakukan pengujian analisis butiran tanah. Besarnya ukuran butiran tanah merupakan dasar untuk klasifikasi pada macam-macam jenis tanah. Uji analisis butiran terdapat dua pembagian, yaitu uji analisis saringan dan uji analisis hidrometer.

4.2.1 Analisa Saringan

Distribusi ukuran butiran untuk tanah berbutir kasar dilakukan dengan uji penyaringan. Berikut pada **Tabel 4.2** adalah hasil analisa saringan:

Tabel 4.2 Hasil Analisa Saringan

Saringan No	D mm	Tertahan Saringan	Jumlah Tertahan	Tertahan %	Lolos %
No. 4	4,75	0,00	0,00	0	100
No. 10	2	0,00	0,00	0	100
No. 20	0,84	0,00	0,00	0	100
No. 40	0,42	0,00	0,00	0	100
No. 50	0,3	1,20	1,20	0,3	99,7
No. 80	0,18	1,00	2,20	0,55	99,45
No. 100	0,149	0,60	2,80	0,7	99,3
No. 200	0,074	1,50	4,30	1,075	98,925
PAN		395,70	400,00	100	0

Tanah yang terdapat di Desa Ngasem Bojonegoro tersebut menurut sistem klasifikasi tanah USCS merupakan tanah berbutir halus dengan prosentase lolos saringan no.200 sebesar 98,93%.

4.2.2 Analisa Hidrometer

Tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, ditentukan dengan uji hidrometer atau cara sedimentasi. Hasil dari pengujian ditampilkan dalam **Tabel 4.3** berikut ini:

Tabel 4.3 Hasil Analisa Hidrometer

Waktu menit	Suhu °C	Rh	k	(Rh,k)	R 1000x(Rh-1)	Kalibrasi	D	Finer %
0,5	27	1,0285	0,01307	1,04157	41,57	12,04	0,064136	94,30366
1	27	1,0285	0,01307	1,04157	41,57	12,04	0,045351	94,30366
2	27	1,028	0,01307	1,04107	41,07	12,14	0,032201	92,64921
15	27	1,028	0,01307	1,04107	41,07	12,14	0,011758	92,64921
30	27	1,0275	0,01307	1,04057	40,57	12,24	0,008348	90,99476
60	27	1,027	0,01307	1,04007	40,07	12,34	0,005927	89,34031
120	27	1,026	0,01307	1,03907	39,07	12,54	0,004225	86,03141
1440	27	1,02	0,01307	1,03307	33,07	13,74	0,001277	66,17801

4.2.2 Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Batas *atterberg* pertama kali diperkenalkan oleh Albert Atterberg pada tahun 1911. Maksud dari pengujian batas *atterberg* adalah untuk menentukan angka-angka konsistensi *atterberg* dari tanah berbutir halus sehingga dapat diketahui jenis tanah yang akan digunakan sebagai benda uji. Pengujian batas *atterberg* meliputi pengujian batas susut (*shrinkage limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas cair (*liquid limit*). Di dalam penelitian ini, pengujian batas *atterberg* dilakukan pada tanah asli dan juga pada tanah asli yang telah diberi bahan campuran untuk stabilisasi berupa *fly ash* dan *slag* baja sesuai dengan komposisi yang ditentukan. Berikut ini pada **Tabel 4.4** adalah hasil dari pengujian batas *atterberg*:

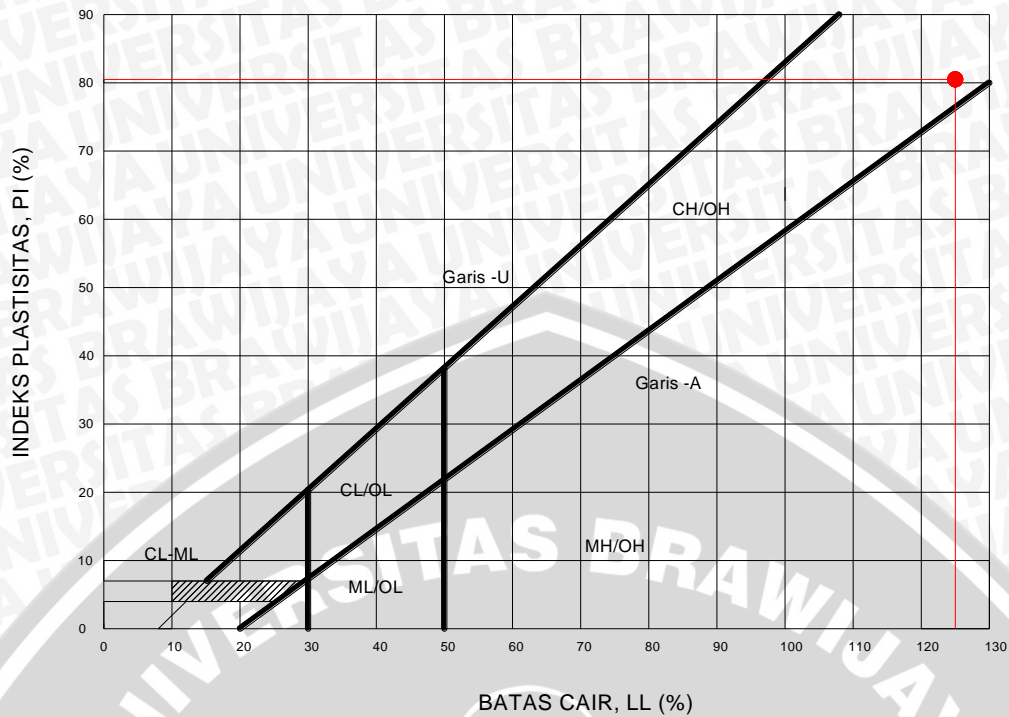
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

KOMPOSISI TANAH	LL	PL	SL	PI
Tanah Asli	125	44,315	8,230	80,685
Tanah Asli + 3,75% <i>Fly Ash</i> + 1,25% <i>Slag</i> Baja	92,5	51,03	8,511	41,47
Tanah Asli + 7,5% <i>Fly Ash</i> + 2,5% <i>Slag</i> Baja	72,63	52,58	9,709	20,04
Tanah Asli + 11,25% <i>Fly Ash</i> + 3,75% <i>Slag</i> Baja	63,5	53,21	10,981	10,29

Hasil pemeriksaan batas-batas *atterberg* pada tabel tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa secara umum penambahan bahan campuran berupa *fly ash* dan *slag* baja menurunkan nilai indeks plastisitas dari 80,685% pada tanah asli menjadi 41,47% pada tanah dengan kadar 5% bahan campuran, 20,04% pada tanah dengan kadar 10% bahan campuran dan 10,29% pada tanah dengan kadar 15% bahan campuran. Selain itu penambahan bahan campuran dapat menaikkan nilai batas plastis tanah diikuti dengan penurunan nilai batas cairnya. Menurunnya batas cair sejalan dengan berkurangnya ikatan antar butiran akibat peningkatan prosentase bahan campuran pada tanah, maka tanah perlu tambahan air untuk mempertahankan sifat plastisnya. Akibatnya PL tanah meningkat.

4.2.3 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Berdasarkan sistem klasifikasi *Unified* yang ditampilkan pada **Gambar 4.3**, dari hasil analisis butiran, tanah tersebut merupakan tanah berbutir halus dengan prosentase lolos saringan no.200 sebanyak 98,93% dengan nilai LL, PL dan PI masing-masing sebesar 125%, 44,315% dan 80,685%. Dari hasil tersebut dapat dilihat pada gambar bahwa tanah tersebut tergolong sebagai tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi atau lempung organik dengan plastisitas tinggi.



Gambar 4.3 Sistem Klasifikasi Tanah Sistem Unified

4.2.4 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO dengan nilai LL, PL dan PI masing-masing sebesar 125%, 44,315% dan 80,685% tanah di daerah Desa Ngasem Kota Bojonegoro ini tergolong dalam kelompok A-7-5 dengan $PI \leq LL-30$ yaitu tanah lempung berplastisitas tinggi dengan tingkatan umum sebagai tanah bersifat cukup baik sampai buruk.

4.3 Pengujian Pemadatan Standar

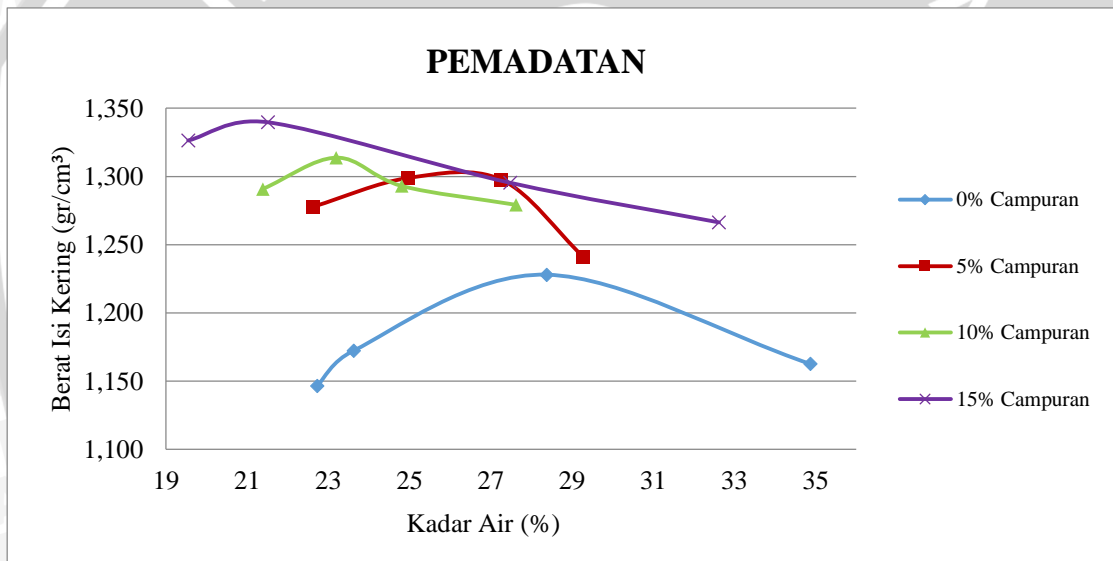
Pemadatan merupakan suatu proses dikeluarkannya udara pada pori-pori tanah dengan salah satu cara mekanis. Cara mekanis yang digunakan untuk pemadatan tanah di lapangan yaitu dengan cara menggilas sedangkan di laboratorium digunakan cara memukul/menumbuk. Ada dua macam percobaan di laboratorium yang bisa dipakai yaitu dengan pengujian pemadatan standar dan pengujian pemadatan *modified*. Pada penelitian ini yang digunakan yaitu pengujian pemadatan standar.

Uji pemadatan dilakukan terhadap tanah asli dan tanah asli yang telah ditambahkan dengan bahan campuran sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan dan variasi kadar air tanah asli yaitu -6%, -3%, +3% dan +6%. Pengujian pemadatan

yang dilakukan tersebut menurut cara B dengan diametre cetakan 152 mm (6") dengan tanah lolos saringan 4,75 mm (no.4) dan tinggi cetakan 116,33 mm (4,58"). Hasil dan grafik pengujian pemadatan yang telah dilakukan, ditampilkan pada **Tabel 4.5** dan **Gambar 4.4**:

Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Pemadatan Standar

KOMPOSISI BAHAN	KADAR AIR OPTIMUM	BERAT ISI KERING MAKSIMUM
Tanah Asli	28,381	1,228
Tanah Asli + 3,75% <i>Fly Ash</i> + 1,25% <i>Slag</i> Baja	24,965	1,299
Tanah Asli + 7,5% <i>Fly Ash</i> + 2,5% <i>Slag</i> Baja	23,193	1,314
Tanah Asli + 11,25% <i>Fly Ash</i> + 3,75% <i>Slag</i> Baja	21,509	1,340

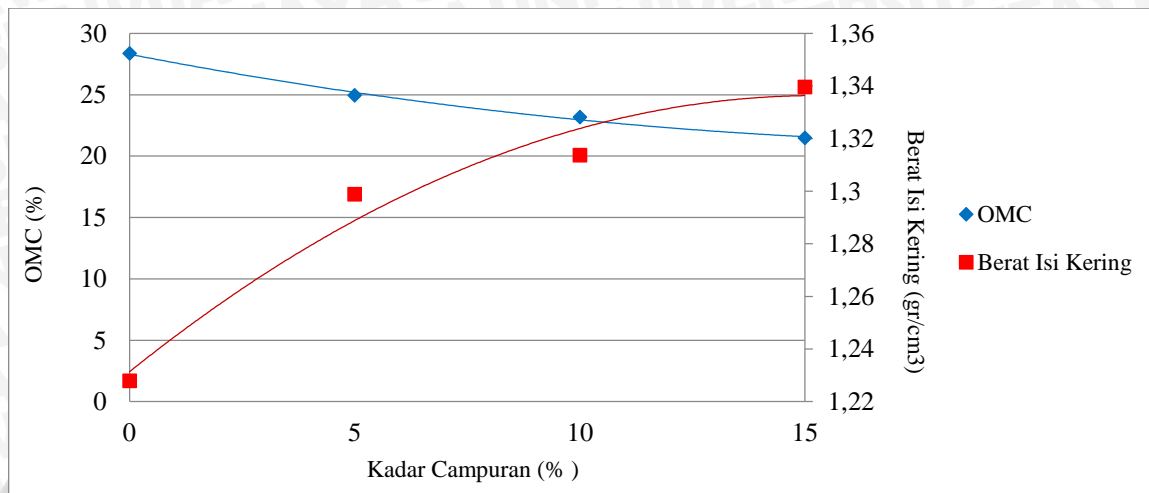


Gambar 4.4 Perbandingan Hasil Pemadatan Tiap Variasi Bahan Stabilisasi Tanah

Hasil kadar air optimum yang didapatkan memiliki nilai yang berbeda-beda dan memiliki nilai berat isi kering maksimum yang semakin besar berbanding lurus dengan penambahan bahan campuran sebagai bahan stabilisasi.

Dari tabel di atas diperoleh nilai kadar air optimum (OMC) untuk tanah asli sebesar 28,381% dengan berat isi kering maksimum sebesar 1,228 gr/cm³. Kadar air optimum mengalami penurunan sedangkan berat isi kering maksimum mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya bahan campuran pada tanah asli tersebut. Hal tersebut disebabkan karena penambahan bahan campuran dapat mengisi ruang pori tanah dan karena sifat dari bahan campuran yang dapat mengeras apabila dicampur

dengan air maka menjadikan tanah menjadi keras sehingga akan menurunkan nilai kadar air optimum dan menaikkan berat isi kering tanah. Meningkatnya berat isi kering tanah juga kemungkinan disebabkan karena berat bahan additif lebih besar dibandingkan berat butir tanah.



Gambar 4.5 Hubungan Penambahan Campuran Terhadap Berat Isi Kering dan OMC

4.4 Pengujian CBR Laboratorium

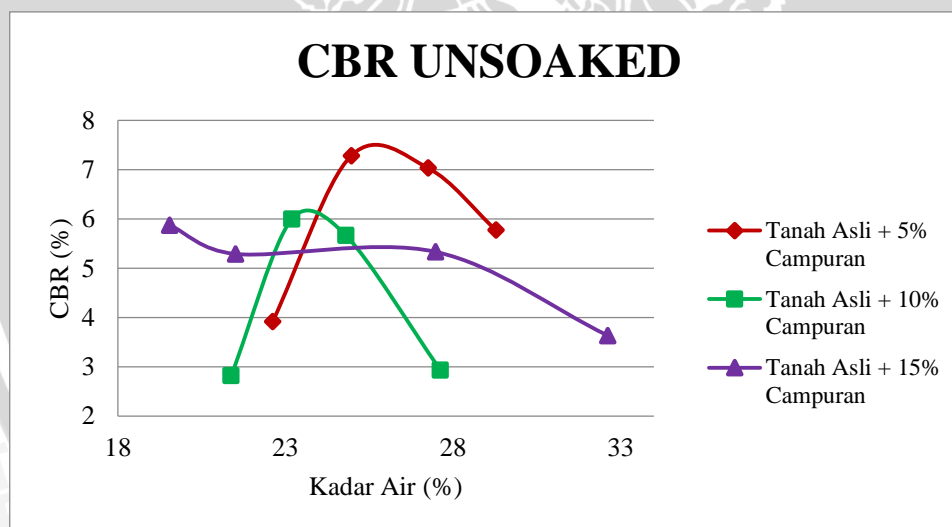
CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi tidak terendam (CBR *Unsoaked*) dan pada kondisi terendam (CBR *Soaked*), pada umumnya CBR *Soaked* nilainya lebih rendah dibandingkan dengan CBR *Unsoaked*. Pengujian CBR tersebut dilakukan pada tanah asli dan tanah asli yang sudah diberi bahan campuran dengan kadar air yang sudah ditentukan.

4.4.1 Pemeriksaan CBR Tanpa Rendaman (*Unsoaked*)

Pengujian CBR *Unsoaked* dilakukan tanpa melalui proses perendaman terlebih dahulu terhadap benda uji. Penggunaan kadar air untuk masing-masing variasi campuran benda uji didapatkan dari hasil pemadatan. Dan pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.6** berikut adalah hasil pengujian CBR *Unsoaked*:

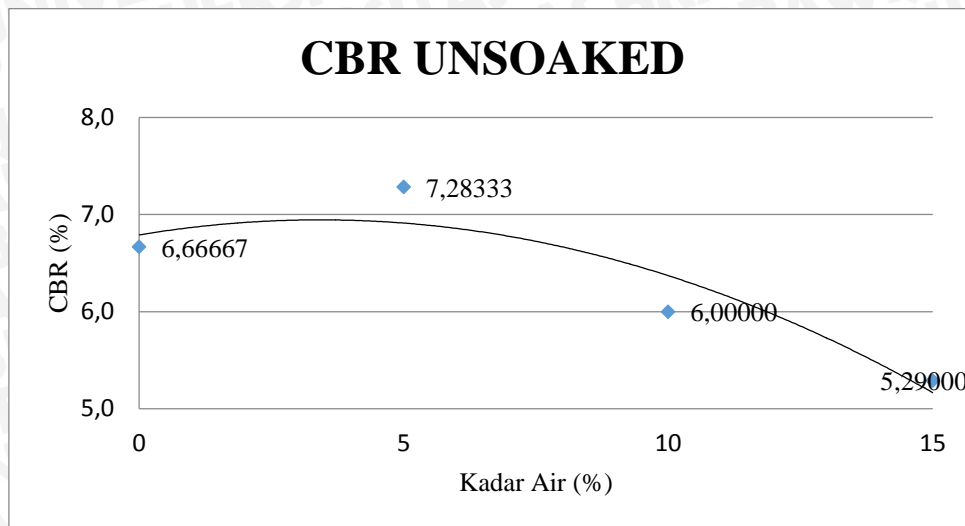
Tabel 4.6 Hasil Pengujian CBR *Unsoaked*

KOMPOSISI BAHAN	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR (<i>Unsoaked</i>) (%)
TANAH ASLI + 0% <i>FLY ASH</i> + 0% <i>SLAG BAJA</i>	28,381	1,228	6,66667
TANAH ASLI + 3,75% <i>FLY ASH</i> + 1,25% <i>SLAG BAJA</i>	22,622	1,278	3,92000
	24,965	1,299	7,28333
	27,260	1,298	7,03333
	29,282	1,241	5,77333
TANAH ASLI + 7,5% <i>FLY ASH</i> + 2,5% <i>SLAG BAJA</i>	21,382	1,291	2,82000
	23,193	1,314	6,00000
	24,804	1,293	5,66667
	27,625	1,279	2,93333
TANAH ASLI + 11,25% <i>FLY ASH</i> + 3,75% <i>SLAG BAJA</i>	19,545	1,326	5,87667
	21,509	1,340	5,29000
	27,478	1,295	5,33333
	32,621	1,266	3,63333



Gambar 4.6 Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam pada Tiap Variasi Bahan Stabilisasi

Dari hasil CBR *Unsoaked* yang sudah ditampilkan pada **Tabel 4.5** didapatkan nilai CBR yang berbanding lurus dengan berat isi kering pada masing-masing variasi, dimana ketika berat isi kering mengalami peningkatan, maka nilai CBR juga menunjukkan peningkatan. Berikut **Gambar 4.7** adalah grafik perbandingan nilai CBR *Unsoaked* pada tiap-tiap variasi campuran pada kondisi OMC:



Gambar 4.7 Pengaruh Penambahan Campuran Limbah *Fly Ash* dan *Slag* Baja Nilai CBR Tak Terendam pada Kondisi OMC dari Tiap Komposisi Campuran

Dari **Gambar 4.7** dapat diketahui bahwa penambahan bahan campuran berupa *fly ash* dan *slag* baja sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan nilai CBR *Unsoaked*. Peningkatan nilai CBR dari tanah asli ke tanah yang ditambahkan bahan campuran disebabkan karena semakin rapat partikel tanah akibat ikatan dari bahan campuran, sehingga butiran-butiran tanah semakin padat dan keras. Pada grafik di atas menunjukkan hasil CBR pada kondisi OMC tiap-tiap variasi campuran diperoleh hasil tertinggi pada penambahan 5% bahan campuran.

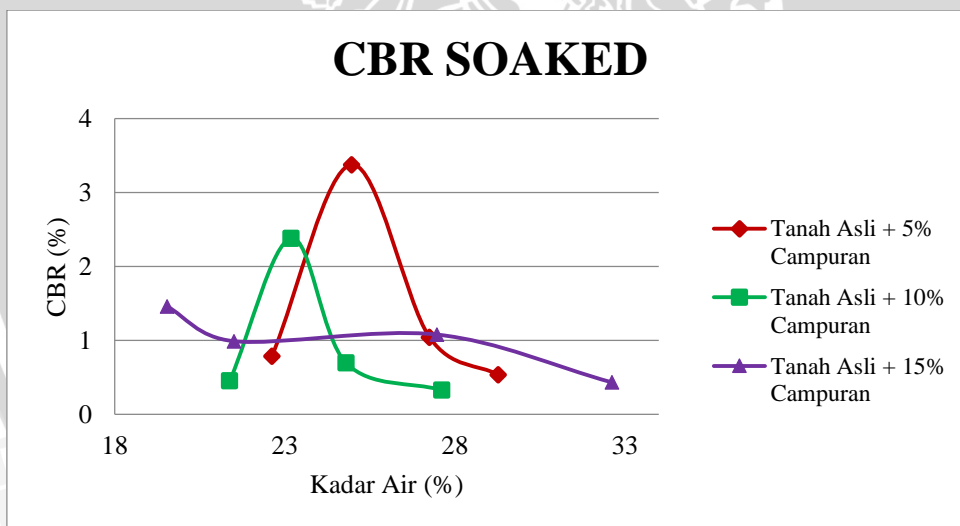
Namun nilai CBR mengalami penurunan pada penambahan bahan campuran yang lebih besar. Hal ini kemungkinan disebabkan karena bahan campuran hanya berfungsi mengisi ruang pori partikel tanah dan sudah tidak berfungsi lagi mengikat partikel tanah sehingga tidak terjadi proses sementasi senyawa kimiawi secara penuh.

4.4.2 Pemeriksaan CBR Rendaman (*Soaked*)

Pengujian CBR *Soaked* ini dilakukan melalui proses perendaman selama 48 jam atau 2 hari dimana tanah mengalami pengembangan yang maksimum. Selama perendaman sebelum dilakukan uji CBR *Soaked*, benda uji dilakukan pengujian *swelling* untuk mengetahui nilai pengembangan di dalam keadaan jenuh akan air. Sama halnya dengan CBR *Unsoaked*, pengujian CBR *Soaked* ini dilakukan pada tiap-tiap variasi tanah dengan kadar air yang didapatkan dari hasil pemadatan. Dan pada **Tabel 4.7** dan **Gambar 4.8** berikut adalah hasil pengujian CBR *Soaked*:

Tabel 4.7 Hasil Pengujian CBR *Soaked*

KOMPOSISI BAHAN	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR (<i>Soaked</i>) (%)
TANAH ASLI + 0% <i>FLY ASH</i> + 0% <i>SLAG BAJA</i>	28,381	1,228	0,71833
	22,622	1,278	0,78667
TANAH ASLI + 3,75% <i>FLY ASH</i> + 1,25% <i>SLAG BAJA</i>	24,965	1,299	3,37667
	27,260	1,298	1,04000
	29,282	1,241	0,53500
TANAH ASLI + 7,5% <i>FLY ASH</i> + 2,5% <i>SLAG BAJA</i>	21,382	1,291	0,45333
	23,193	1,314	2,38000
	24,804	1,293	0,69333
TANAH ASLI + 11,25% <i>FLY ASH</i> + 3,75% <i>SLAG BAJA</i>	27,625	1,279	0,32667
	19,545	1,326	1,45667
	21,509	1,340	0,98833
	27,478	1,295	1,07833
	32,621	1,266	0,43167

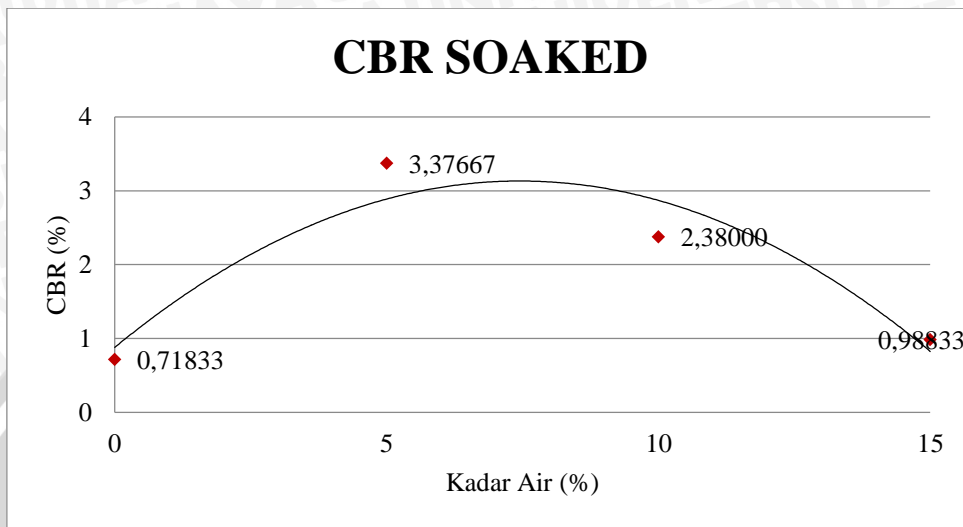


Gambar 4.8 Perbandingan Nilai CBR Terendam pada Tiap Variasi Bahan Stabilisasi

Pada CBR *Soaked*, hasil yang ditampilkan pada tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa nilai CBR pada kondisi terendam ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai CBR Tak Terendam dikarenakan perendaman atau penambahan air menyebabkan menurunnya kekuatan tanah. Namun demikian, CBR *Soaked* tersebut adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR *Soaked* yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan



karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan. Jika ditinjau dari grafik di atas, pola yang dimiliki CBR *Soaked* berbeda dengan CBR *Unsoaked*. **Gambar 4.9** adalah grafik perbandingan nilai CBR *Soaked* pada tiap-tiap variasi campuran pada kondisi OMC:



Gambar 4.9 Pengaruh Penambahan Campuran Limbah *Fly Ash* dan *Slag* Baja Nilai CBR Terendam pada Kondisi OMC dari Tiap Komposisi Campuran

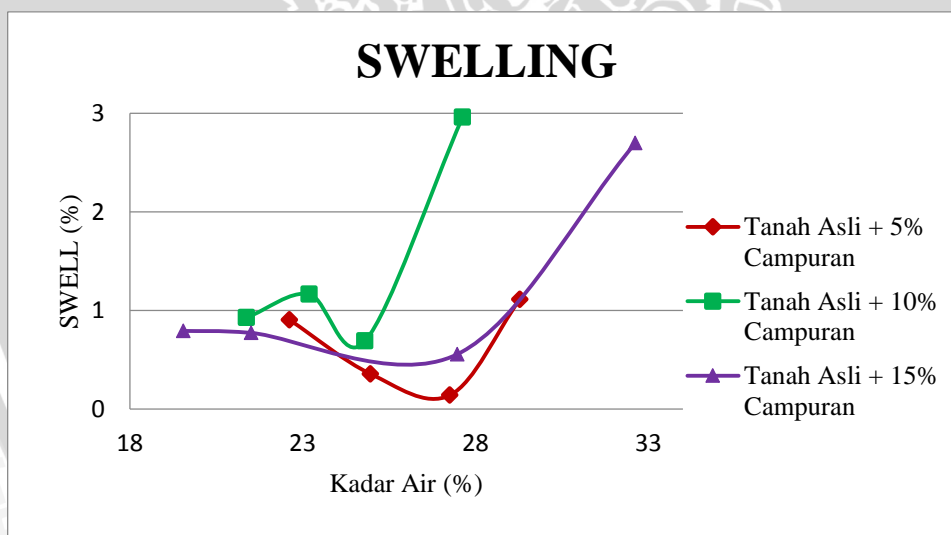
Seperti pada hasil CBR *Soaked*, penambahan bahan campuran pada tanah asli menyebabkan nilai CBR *Soaked* mengalami kenaikan. Dan nilai CBR kondisi terendam didapatkan hasil maksimum pada penambahan bahan campuran sebanyak 5% pada kondisi OMC tiap-tiap variasi campuran. Sama halnya dengan CBR *Unsoaked*, semakin bertambahnya bahan campuran, nilai CBR nya mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan bahan campuran tidak lagi berfungsi untuk mengikat partikel tanah sehingga tidak terjadi proses sementasi senyawa kimiawi secara penuh.

4.5 Pengujian *Swelling* (Pengembangan)

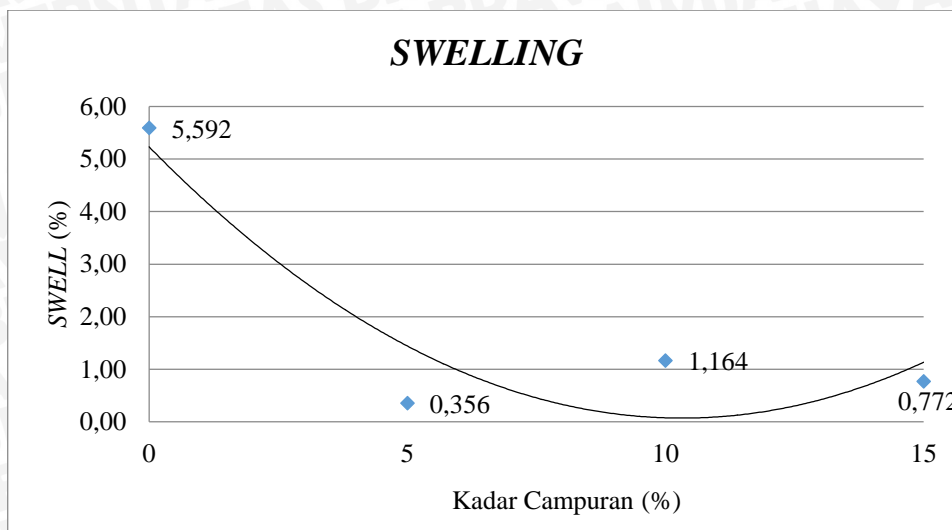
Swelling adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air. Potensi pembesaran volume ini tergantung pada komposisi mineral, peningkatan kadar air, indeks plastisitas, kadar lempung dan tekanan tanah penutup. Untuk pengujian *swelling* tanah dilakukan selama 48 jam hingga mendapatkan hasil pengembangan yang konstan. Dalam pengujian ini dilakukan pada tanah dan masing-masing variasi dengan kadar air yang sudah didapatkan dari uji pemadatan. Dan pada **Tabel 4.8** dan **Gambar 4.10** berikut adalah hasil pengujian *Swelling*:

Tabel 4.8 Hasil Pengujian *Swelling*

KOMPOSISI BAHAN	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	SWELL (%)
TANAH ASLI + 0% <i>FLY ASH</i> + 0% <i>SLAG BAJA</i>	28,381	1,228	5,592
	22,622	1,278	0,904
TANAH ASLI + 3,75% <i>FLY ASH</i> + 1,25% <i>SLAG BAJA</i>	24,965	1,299	0,356
	27,260	1,298	0,140
	29,282	1,241	1,112
TANAH ASLI + 7,5% <i>FLY ASH</i> + 2,5% <i>SLAG BAJA</i>	21,382	1,291	0,928
	23,193	1,314	1,164
	24,804	1,293	0,688
TANAH ASLI + 11,25% <i>FLY ASH</i> + 3,75% <i>SLAG BAJA</i>	27,625	1,279	2,960
	19,545	1,326	0,792
	21,509	1,340	0,772
	27,478	1,295	0,556
	32,621	1,266	2,696



Gambar 4.10 Perbandingan Nilai *Swelling* pada Tiap Variasi Bahan Stabilisasi



Gambar 4.11 Pengaruh Penambahan Campuran Limbah *Fly Ash* dan *Slag* Baja Nilai *Swelling* pada Kondisi OMC dari Tiap Komposisi Campuran

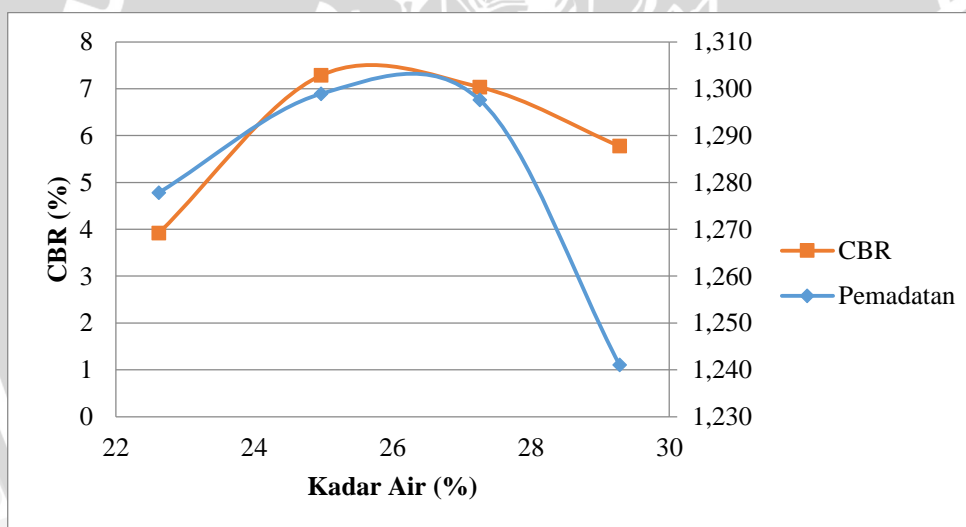
Grafik dapat dilihat pada **Gambar 4.11** di atas, bahwa penambahan bahan campuran dapat menurunkan nilai *swelling*. Pada tanah asli, nilai *swelling* yang didapatkan pada kondisi kadar air optimum adalah sebesar 5,592%, kondisi OMC pada tiap-tiap variasi penambahan bahan campuran sebanyak 5%, 10% dan 15% masing-masing menghasilkan nilai *swelling* sebesar 0,356%, 1,164% dan 0,772%. Penurunan nilai *swelling* pada tanah dengan bahan campuran dibandingkan dengan tanah asli disebabkan karena terjadi proses pengikatan butiran tanah lempung oleh bahan campuran, sehingga sifat dari lempung yang mudah mengikat air menjadi berkurang dan nilai pengembangan juga menurun. Hasil *swelling* yang paling optimum didapatkan pada kadar campuran sebesar 5%.

4.6 Hubungan Nilai CBR *Unsoaked* dengan Kepadatan

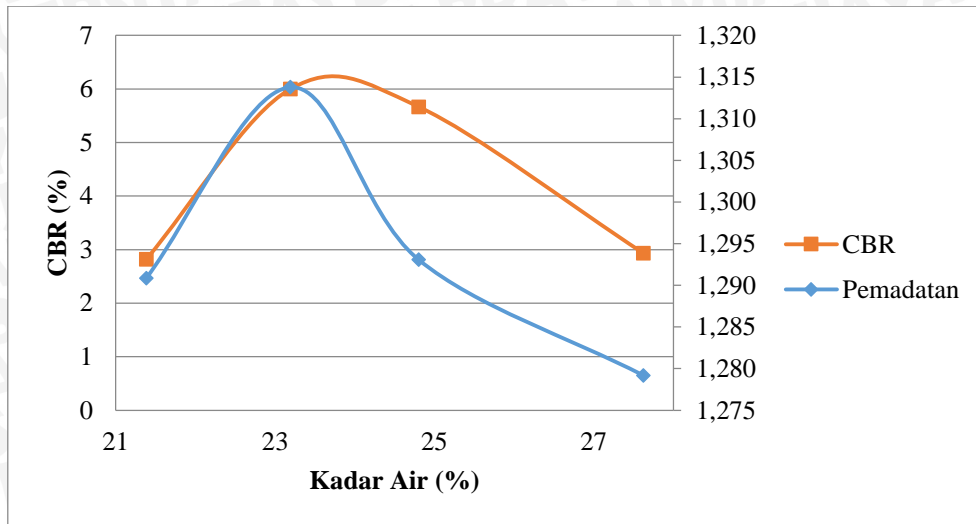
Berikut adalah hasil dari pepadatan dengan kadar air tertentu dan didapatkan hasil berat isi kering dan CBR *Unsoaked* yang dapat dilihat pada **Tabel 4.9**:

Tabel 4.9 Hasil Pengujian CBR *Soaked*

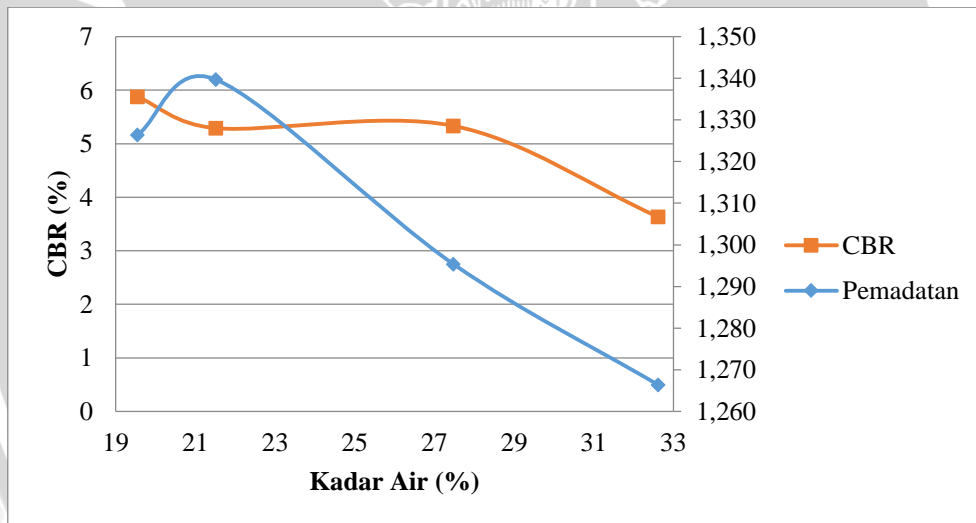
KOMPOSISI BAHAN	KADAR AIR (%)	BERAT ISI KERING (gr/cm ³)	CBR (<i>Unsoaked</i>) (%)
TANAH ASLI + 0% <i>FLY ASH</i> + 0% <i>SLAG BAJA</i>	28,381	1,228	6,66667
	22,622	1,278	3,92000
TANAH ASLI + 3,75% <i>FLY ASH</i> + 1,25% <i>SLAG BAJA</i>	24,965	1,299	7,28333
	27,260	1,298	7,03333
	29,282	1,241	5,77333
TANAH ASLI + 7,5% <i>FLY ASH</i> + 2,5% <i>SLAG BAJA</i>	21,382	1,291	2,82000
	23,193	1,314	6,00000
	24,804	1,293	5,66667
	27,625	1,279	2,93333
TANAH ASLI + 11,25% <i>FLY ASH</i> + 3,75% <i>SLAG BAJA</i>	19,545	1,326	5,87667
	21,509	1,340	5,29000
	27,478	1,295	5,33333
	32,621	1,266	3,63333



Gambar 4.12 Hubungan Pemadatan dengan CBR *Unsoaked* untuk Komposisi Tanah Asli + 3,75% *Fly Ash* + 1,25% *Slag Baja*



Gambar 4.13 Hubungan Pematatan dengan CBR *Unsoaked* untuk Komposisi Tanah Asli + 7,5 % Fly Ash + 2,5% Slag Baja

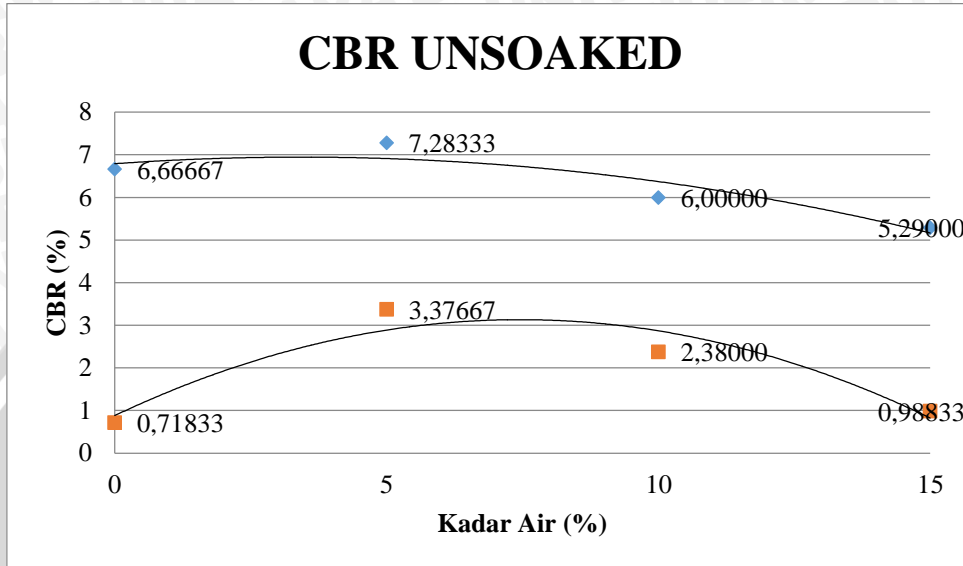


Gambar 4.14 Hubungan Pematatan dengan CBR *Unsoaked* untuk Komposisi Tanah Asli + 11,25% Fly Ash + 3,75% Slag Baja

Dari ketiga grafik di atas yaitu pada **Gambar 4.12 - 4.14** didapatkan hasil bahwa grafik hubungan pematatan dengan 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 pada **Gambar 4.15** merupakan hasil perbandingan nilai CBR *Unsoaked* dan CBR *Soaked* yang sama diambil pada kondisi OMC (*Optimum Moisture Content*) pada setiap variasi:



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

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa CBR *Soaked* lebih kecil dibandingkan hasil dari CBR *Unsoaked*. Hal ini karena akibat dari perendaman. Semakin banyak air yang meresap melalui pori-pori tanah, maka semakin besar pengikatan bahan campuran terhadap air, sehingga campuran tanah menjadi jenuh dan mengakibatkan penurunan kekuatan tanah. Pada CBR Tak Terendam dan CBR Terendam didapatkan nilai CBR maksimum pada penambahan bahan campuran sebesar 5% dengan nilai masing-masing untuk nilai CBR *Unsoaked* sebesar 7,28333% dan CBR *Soaked* sebesar 3,37667%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data serta pembahasan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dengan penambahan bahan campuran berupa *fly ash* dan *slag* baja didapatkan nilai OMC lebih kecil dibandingkan dengan OMC dari tanah asli. Semakin banyak campuran yang ditambahkan, maka semakin kecil nilai kadar air yang dibutuhkan untuk mencapai berat isi kering maksimum.
- Nilai CBR *Soaked* dan *Unsoaked* yang didapatkan untuk tanah dengan penambahan bahan campuran mengalami kenaikan dibandingkan dengan CBR tanah asli. Peningkatan nilai CBR paling optimum didapatkan pada kondisi penambahan bahan campuran *fly ash* dan *slag* baja kedalam tanah asli sebesar 5%.
- Nilai pengembangan pada kondisi OMC dari tiap-tiap campuran mengalami penurunan dan penurunan terkecil terjadi pada penambahan 5% bahan campuran. Pada kondisi penambahan 10% bahan campuran mengalami kenaikan hal ini kemungkinan karena terlalu banyak pemberian bahan campuran.
- Antara nilai CBR *Soaked* dan *Unsoaked* masing-masing pada kondisi OMC, dapat diambil kesimpulan bahwa CBR *Soaked* memiliki nilai CBR yang lebih kecil dibandingkan dengan CBR *Unsoaked*.

5.2 Saran

Setelah mempelajari dan memahami hasil dari penelitian, pengolahan data serta pembahasan, didapatkan beberapa saran-saran dengan harapan agar pengembangan penelitian yang lebih lanjut dapat dilakukan dengan lebih baik. Berikut adalah saran-saran yang dapat disampaikan:

- Perlu adanya penelitian lanjutan dengan komposisi perbandingan antara fly ash dan slag baja lebih banyak agar mendapatkan hasil CBR dan Swelling yang lebih baik dan signifikan.
- Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan limbah guna mengurangi pencemaran dan masalah lingkungan.
- Perlu diadakan perulangan pada setiap penelitian agar didapatkan hasil merata yang lebih maksimal.
- Sebaiknya pada saat pencampuran, digunakan alat pengaduk agar antara tanah asli dengan bahan campurannya lebih merata tercampur.

