BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bahan dan Peralatan

4.1.1 Bahan

a. Tanah

Tanah yang dipergunakan untuk penelitian adalah tanah yang berasal dari Desa Argorejo Sedayu Kabupaten Bantul.

b. Sulfur/ Belerang

Sulfur/belerang yang dipergunakan untuk penelitian adalah sulfur/belerang yang diperoleh dari pasar Beringharjo hasil olahan dari Dusun Panjen, Bondowoso Jawa Timur.

c. Air

Air yang dipergunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

4.1.2 Peralatan

Peralatan yang dipergunakan adalah semua alat yang terletak di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

4.2 Jalannya Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu : persiapan, pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

4.2.1 Pekerjaan Persiapan

Dalam tahap persiapan ini meliputi studi pendahuluan, konsultasi dengan beberapa narasumber, pengajuan proposal dan mengurus perijinan untuk kegiatan penelitian.

4.2.2 Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan adalah pengambilan sampel tanah dan sulfur/belerang. Pekerjaan lapangan dilakukan dalam dua tahap, pemilihan lokasi dan pengambilan sampel tanah. Lokasi sampel dipilih berdasarkan jenis tanah dan tebal lapisan lempung, sedangkan pengambilan sampel dilakukan untuk tanah terganggu (*disturb*).

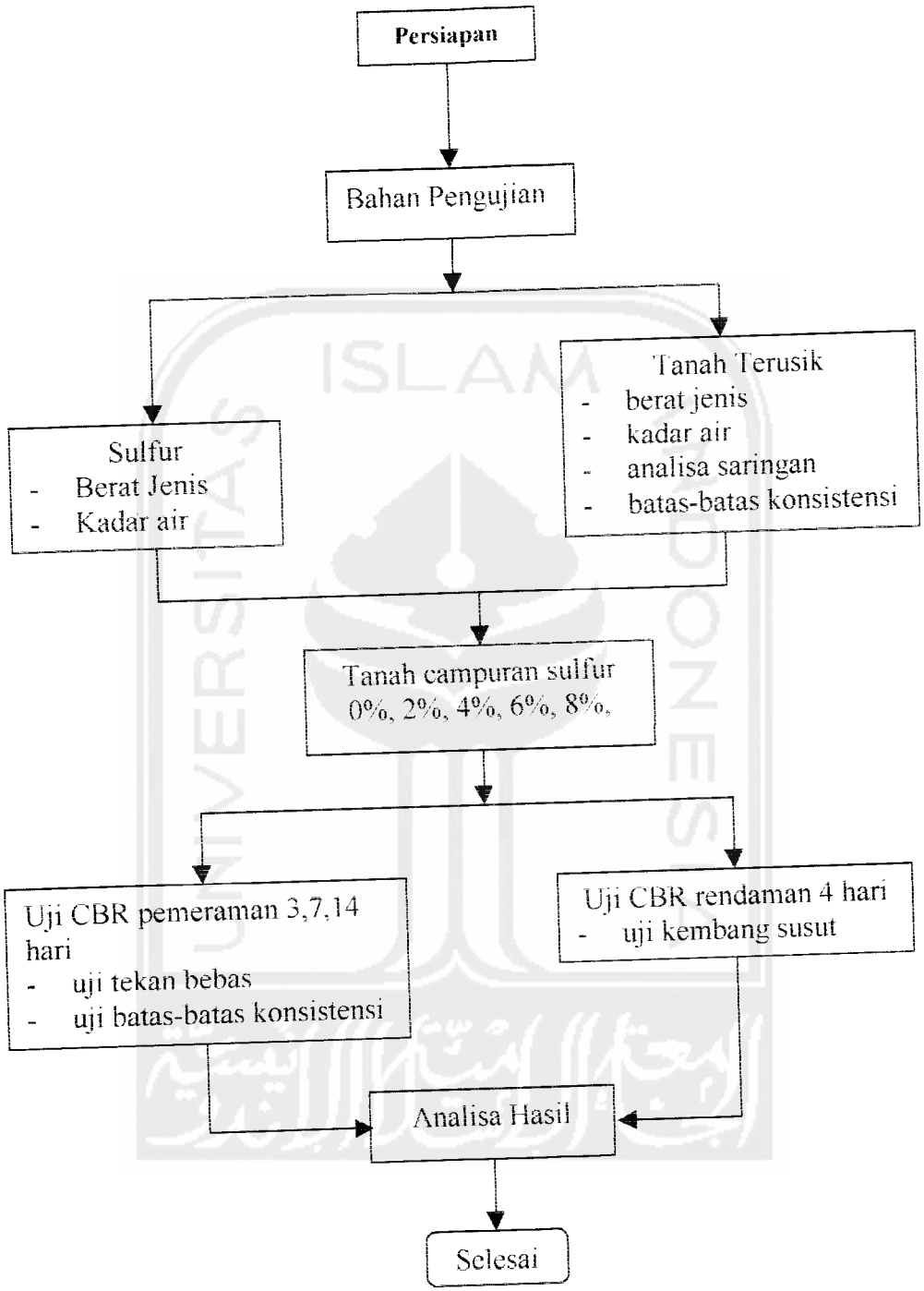
Tanah diambil dari rumah penduduk yang membuka usaha alat-alat dapur rumah tangga yaitu cobek, terletak di Desa Argorejo Kecamatan Sedayu Kabupaten Bantul Propinsi D.I Yogyakarta.

4.2.3 Pekerjaan Laboratorium

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pekerjaan laboratorium adalah pengujian sifat-sifat tanah asli dan campuran tanah dengan sulfur/belerang. Bagan alir pengujian laboratorium dapat dilihat pada gambar 4.1.

Pengujian pendahuluan dilakukan untuk memeriksa karakteristik atau sifat-sifat fisik contoh tanah yang terdiri dari :

1. Pengujian Kadar Air (ASTM D 2216 – 71)
2. Pengujian Berat Jenis Tanah (ASTM D 854 – 72)
3. Pengujian Batas Cair (ASTM D 423 – 66)
4. Pengujian Batas Plastis (ASTM D 424 – 74)
5. Pengujian Batas Susut (ASTM D 424 – 74)
6. Pengujian Analisis Hidrometer (ASTM D 421 – 72)
7. Pengujian Analisis Saringan (ASTM D 422 – 72)
8. Pengujian Proktor Standar (ASTM D 698 – 70)



Gambar 4.1 Bagan Alir Pelaksanaan Pengujian Laboratorium

Setelah dilakukan pemeriksaan sifat fisik dari contoh tanah, kemudian dibuat rancangan campuran (*mix design*) sebagai model benda uji. Adapun variasi campuran benda uji seperti dalam tabel 4.1.

Selanjutnya benda uji dirawat (curing) selama 3 hari, 7 hari dan 14 hari serta direndam selama 4 hari sebelum dilakukan pengujian sifat mekanis dari benda uji berupa :

1. Pengujian CBR Laboratorium (ASTM D 1883 – 73)
2. Pengujian Kuat Tekan Bebas (ASTM D 2166 - 86)
3. Pengujian Batas Cair (ASTM D 423 – 66)
4. Pengujian Batas Plastis (ASTM D 424 – 74)
5. Pengujian Batas Susut (ASTM D 424 – 74)

Tabel 4.1 Model Benda Uji untuk Pengujian Pemadatan Tanah (*Procktor Test*)

No.	Kadar (%)	Jml.	Kode	Jumlah
1.	0	15	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, II_1, II_2, II_3, II_4, II_5,$ $III_1, III_2, III_3, III_4, III_5$	15
2.	2	5	A_1, A_2, A_3, A_4, A_5	5
3.	4	5	B_1, B_2, B_3, B_4, B_5	5
4.	6	5	C_1, C_2, C_3, C_4, C_5	5
5.	8	5	D_1, D_2, D_3, D_4, D_5	5
TOTAL BENDA UJI				35

Tabel 4.2 Model Benda Uji untuk Pengujian CBR

No	Kdr	Tanpa pemeraman		Uji Pemeraman		Uji CBR 4 hari		Jml
	(%)	Jml.	Kode	jml	Kode	jml	Kode	
1.	0	3	A_{12}, B_{25}, C_{65}			3	1_{12}, 2_{25}, 3_{65}	6
2.	6			3	D_{12}, E_{25}, F_{65} (3 hr)	3	1_{12}, 2_{25}, 3_{65}	6
				3	G_{12}, H_{25}, I_{65} (7 hr)			3
				3	J_{12}, K_{25}, L_{65} (14 hr)			3
TOTAL BENDA UJI								18

Tabel 4.3 Model Benda Uji untuk Tekan Bebas

No.	Kadar	Tanpa pemeraman		Uji Pemeraman		Jumlah
	(%)	Jml.	Kode	Jml.	Kode	
1.	0	3	I, II, III			3
2.	6			3	I, II, III (3 hr)	3
				3	I, II, III (7 hr)	3
				3	I, II, III (14 hr)	3
TOTAL BENDA UJI						12

4.3 Prosedur Sampling

Sample tanah untuk pemadatan dan pencampuran dengan sulfur/belerang diambil dari lokasi yang sama, kemudian dikeringkan terlebih dahulu dengan cara dijemur pada sinar matahari.

4.4 Prosedur Pengujian Laboratorium

Pelaksanaan pengujian di laboratorium meliputi beberapa jenis pengujian dan dilakukan dalam beberapa tahapan berikut ini :

1. Pengujian sifat fisik tanah asli terusik meliputi pengujian Kadar Air, Berat Jenis, Analisa Saringan dan Batas-batas Atterberg yang mencakup batas cair, batas plastis dan batas susut.
2. Pengujian Proctor Standar untuk mencari kadar optimum dan berat kering maksimum tanah asli dan tanah ditambah dengan sulfur/belerang dengan variasi persentase 0%, 2%, 4%. 6% dan 8% terhadap berat kering tanah. Kadar air optimum yang telah didapat akan digunakan untuk standar pengujian selanjutnya (UCT dan CBR).
3. Pencampuran tanah lempung dan sulfur/belerang dengan variasi persentase 0%, 2%, 4%. 6% dan 8% terhadap berat kering tanah. Percobaan berat Jenis dan Atterberg juga dilakukan pada campuran tanah dan sulfur/belerang ini, untuk mengetahui pengaruh kadar sulfur/belerang terhadap konsistensi tanah.
4. Pengujian Durabilitas pada tanah campuran sulfur/belerang untuk tiap variasi persentasi sulfur/belerang. Pengujian ini dilakukan dengan cara pemeraman terhadap sampel tanah terpadat dengan pemadatan standar. Pada waktu pemeraman 3, 7 dan 14 hari dilakukan pengujian tekan bebas untuk mengetahui kekuatan tanah pada umur pemeraman tersebut. Pemeraman dilakukan dengan membungkus sampel tanah dengan plastik dan disimpan dalam alat pendingin desikator agar kadar air tanah sampel tidak berubah. Penyimpanan selama masa pemeraman harus dilakukan dalam ruang yang tidak langsung mendapatkan sinar matahari.

4.4.1 Pencampuran Tanah Lempung dengan Sulfur/Belerang

Campuran tanah lempung dengan sulfur/belerang menggunakan variasi persentase antara 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% terhadap berat kering tanah. Prosedur pencampuran tanah lempung sesuai dengan ketentuan dari SNI nomor 1743-1989, 1989 tentang panduan Pengujian Kepadatan Berat Untuk Tanah, yang diterbitkan oleh Yayasan Bidang Pekerjaan Umum Republik Indonesia tahun 1989. Prosedur pencampuran tersebut adalah sebagai berikut :

1. Sebelum mencampur sulfur/belerang dengan lempung terlebih dahulu dilakukan pengujian pemadatan dengan standar untuk mencari kadar air optimum dan berat kering maksimum tanah asli.
2. Dari hasil pengujian pemadatan standar diketahui kadar air optimum misalkan sebesar w_{op} persen, maka berat kering tanah dan berat kering sulfur.belerang yang akan dicampur dapat dicari dengan persamaan (A. Halim Hasmar, 1995) berikut :

$$\text{Berat kering tanah} = \frac{100.W_c}{(100 + w_{opt})} \tag{4.1}$$

$$\text{Berat kering sulfur/belerang} = \frac{a.100.W_c}{100 + w_{opt}} \tag{4.2}$$

dengan :

w_{op} = kadar air optimum tanah asli (%),

W_c = berat campuran tanah dan sulfur/belerang (gr),

a = persentase sulfur/belerang (%)

4.4.2 Pengujian Kadar Air

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air dari contoh tanah, yaitu perbandingan antara berat air dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut.

a. Peralatan

1) cawan timbang
2) timbangan
3) oven
4) desikator

b. Pelaksanaan

1) cawan timbang dibersihkan kemudian ditimbang beratnya (W_1)
2) contoh tanah dimasukkan cawan kemudian ditimbang (W_2)
3) contoh tanah beserta cawan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu konstan antara 105^0C - 110^0C selama 16-24 jam.
4) contoh tanah beserta cawan dikeluarkan dari oven kemudian didinginkan dalam desikator lalu ditimbang beratnya (W_3).

c. Perhitungan

$$\text{Kadar Air (w)} = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_3 - W_1)} x100\% \qquad (4.3)$$

Keterangan :

W_1 = Berat cawan yang sudah dibersihkan

W_2 = Berat cawan dan contoh tanah sebelum dimasukkan di oven

W_3 = Berat cawan dan contoh tanah setelah dimasukkan di oven

4.4.3 Pengujian Berat Jenis Tanah

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis dari contoh tanah, yaitu perbandingan antara berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara pada volume yang sama dengan temperatur tertentu ($27,5^0$).

a. Peralatan

1) picknometer
2) timbangan
3) oven
4) desikator
5) termometer
6) saringan no 10
7) kompor pemanas
8) air destilasi bebas udara
9) cawan porselin (*mortar*)
10) alat penumbuk (*pestle*)

b. Pelaksanaan

1) contoh tanah kering oven dimasukkan ke dalam mortar dan dihaluskan dengan pestle, kemudian disaring dengan saringan No. 10.
2) picknometer dibersihkan bagian luar dan dalamnya, kemudian ditimbang bersama dengan tutupnya (W_1).
3) contoh tanah yang lolos saringan No. 10 dimasukkan ke dalam picknometer, kemudian bersama-sama dengan tutupnya ditimbang beratnya (W_2).
4) air destilasi dimasukkan ke dalam picknometer sampai dua pertiga isinya, kemudian picknometer direbus selama ± 10 menit dengan sesekali picknometer digoyang-goyangkan untuk membantu keluarnya

gelembung udara yang terperangkap di dalam butir-butir tanah, kemudian didinginkan sampai mencapai suhu ruangan ± 20 menit.

5) Picknometer yang sudah dingin ditambah air destilasi ampai penuh dan ditutup, kemudian ditimbang beratnya (W_3), air dalam picknometer diukur suhunya dengan termometer (t^0C).

6) Picknometer dikosongkan dan dibersihkan, kemudian diisi air destilasi sampai penuh dan ditimbang beratnya (W_4).

c. Perhitungan

$$\text{Berat Jenis (Gs)} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} = \frac{\gamma s}{\gamma w} \qquad (4.4)$$

Keterangan :

W_1 = Berat Picnometer kosong

W_2 = Berat Picnometer + tanah kering

W_3 = Berat Picnometer + tanah + air

W_4 = Berat Picnometer + air

4.4.4 Pengujian Batas Cair

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai batas cair contoh tanah, yaitu kadar air tanah pada keadaan antara batas cair dan plastis.

a. Peralatan

1) mangkuk Cassagrande
2) alat pembarut (*grooving tool*)
3) cawan porselin
4) saringan No. 40
5) air destilasi

6) seperangkat alat uji kadar air

b. Pelaksanaan

1) contoh tanah yang lolos saringan No. 40 dicampur dengan air di dalam cawan porselin dan diaduk hingga homogen.
2) adukan contoh tanah dimasukkan ke dalam mangkuk Casagrande dan diratakan, kemudian dengan alat pembarut dibelah di tengah-tengah sehingga menjadi dua.
3) mangkuk Cassagrande diputar dengan kecepatan 2 putaran per detik sampai kedua belahan bertemu sepanjang 12,7 mm dan banyaknya pukulan dihitung dan dicatat.
4) contoh tanah diambil sebagian dan dicari nilai kadar airnya.
5) pelaksanaan di atas diulangi empat sampai lima lagi dan dibuat sedemikian rupa sehingga didapat dua percobaan di bawah 25 kali pukulan dan dua percobaan diatas 25 kali pukulan.
6) membuat kurva hubungan kadar air dengan jumlah pukulan sehingga didapat nilai batas cair dari contoh tanah.

4.4.5 Pengujian Batas Plastis

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai batas plastis dari contoh tanah, yaitu kadar air minimum bagi tanah dalam keadaan plastis

a. Peralatan

1) plat kaca
2) seperangkat alat uji kadar air

b. Pelaksanaan

1) mengambil contoh tanah dari pengujian batas cair sebanyak 30 – 50 gram.
2) contoh tanah dibuat silinder berdiameter 1 cm dengan menggunakan tangan.
3) contoh tanah digiling-giling diatas plat kaca dengan telapak tangan dan kecepatan giling 1,5 detik setiap gerakan maju mundur.
4) setelah tanah mulai kelihatan retak, yang menunjukkan contoh tanah tersebut dalam kondisi plastis, dicari kadar airnya sebagai nilai batas plastis.

4.4.6 Pengujian Batas Susut

Pengujian ini dimaksudkan untuk mencari nilai batas susut dari contoh tanah, yaitu kadar air minimum yang masih dalam keadaan semi solid dan juga merupakan batas keadaan semi solid dengan solid.

a. Peralatan

1) cawan susut
2) desikator

b. Pelaksanaan

1) cawan susut dibersihkan dan ditimbang beratnya (W_1).
2) contoh tanah dari sisa pengujian batas cair ditambah air sehingga tanah berada dalam kondisi cair (*liquid*) dan dimasukkan ke dalam cawan

susut sedikit demi sedikit sampai penuh sambil diketok-ketokkan di lantai agar tidak ada udara yang terperangkap di dalam cawan susut.

3) cawan susut dan tanah dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 60^0C sampai beberapa jam, kemudian dinaikkan menjadi 100^0C supaya tanah tidak pecah.

4) cawan dan tanah dikeringkan di desikator, kemudian ditimbang beratnya (W_3) dan dihitung volumenya (V_0).

c. Perhitungan

$$\text{Batas susut (SL)} = \left(\frac{V_0}{(W_3 - W_1)} - \frac{1}{Gs} \right) x100\% \qquad (4.5)$$

Keterang```an :

W_1 = Berat cawan susut yang telah dibersihkan

W_3 = Berat cawan + tanah yang sudah dikeringkan

V_0 = Volume tanah kering

Gs = Berat jenis tanah

4.4.7 Analisis Hidrometer

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir contoh tanah yang lolos saringan No. 10.

a. Peralatan

1) hidrometer
2) timbangan
3) gelas ukur
4) gelas silinder tabung pengendapan
5) mixer

PERPUSTAKAAN ★ YOGYAKARTA

6) air destilasi
7) bahan reagen

b. Pelaksanaan

1) membuat larutan standar pada gelas ukur dengan cara melarutkan 2 gram reagen dalam 300 cc air destilasi, kemudian yang sebagian dituang ke dalam gelas silinder.
2) memasukkan contoh tanah sebanyak 50 – 60 gram kering oven ke dalam gelas ukur yang berisi larutan standar, kemudian direndam ± 30 menit
3) setelah direndam, contoh tanah dan larutan standar diaduk dengan mixer ± 10 menit sehingga menjadi suspensi
4) memasukkan suspensi ke dalam tabung pengendapan dan dikocok sebanyak 60 kali
5) menyelupkan hidrometer ke dalam suspensi dan pembacaan mulai dilakukan

4.4.8 Analisis Saringan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada contoh tanah yang tertahan saringan No. 200

a. Peralatan

1) satu set saringan
2) mesin penggetar
3) timbangan

b. Pelaksanaan

1) contoh tanah yang tertahan saringan no. 200 disaring dengan satu set saringan yang disusun dengan urutan dari atas mulai no. 10, 20, 40, 60, 140, 200, dan pan saringan, kemudian diletakkan di mesin penggetar dan digetarkan selama 3 – 5 menit

2) butir-butir tanah yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang beratnya (d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6)

4.4.9 Pembuatan Benda Uji

Bahan stabilisator berupa sulfur/belerang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jenis belerang berbentuk tepung berwarna kuning, yang banyak beredar di pasaran.

a. Pelaksanaan

1) Menyaring contoh tanah dengan saringan no. 4 kemudian dibagi menjadi 15 bagian, dengan masing-masing bagian seberat 5 kg

2) Menentukan nilai kadar air dan berat kering dari masing-masing bagian tersebut. Nilai kadar air (w) didapat dengan pengujian kadar air, sedang berat kering (W_k) didapat dari rumus berikut :

$$Wk = \frac{5000}{1 + w} \text{ (gr)} \qquad (4.6)$$

3) Menentukan berat campuran (W_c) sesuai persentase dari berat kering, kemudian menentukan nilai kadar air gabungan (w_g) dari masing-masing bagian :

$$w_g = \frac{1000 - W_k}{W_k + W_c} \times 100\% \qquad (4.7)$$

4) menghitung penambahan air untuk masing-masing bagian :

$$\text{penambahan air} = (5000 + W_c)\left[\frac{100 + w_{opt}}{100 + w_g} - 1\right] (cc) \qquad (4.8)$$

5) menambah sulfur/belerang, dan air yang dipanaskan sampai suhu ± 80°-90° C pada masing-masing bagian sesuai kadarnya sambil diaduk-aduk

6) menghitung berat benda uji (W_q) untuk uji Kuat Tekan Bebas dari masing-masing bagian

$$W_q = \text{volume cetakan} \cdot \gamma_k \cdot (1+w) \qquad (4.9)$$

7) Dari masing-masing bagian ini dimasukkan ke dalam cetakan untuk uji Kuat Tekan Bebas sesuai dengan beratnya, sedangkan sisanya dimasukkan ke dalam cetakan CBR, kemudian dilakukan proses pemadatan dengan uji proktor, selanjutnya dirawat (*curing*) selama 3 hari, 7 hari dan 14 hari.

4.4.10 Pengujian Proctor Standar

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan tanah di dalam silinder dengan menggunakan alat penumbuk sehingga diperoleh nilai kepadatan maksimum atau MDD (*Maximum Dry Density*) dan kadar air optimum atau OMC (*Optimum Moisture Content*).

a. Peralatan

1) cetakan silinder (*mold*) dengan leher selubung (*collar*)
2) alat tumbuk
3) alat pengeluar contoh tanah (*extruder*)
4) timbangan
5) saringan no. 4
6) pisau perata
7) seperangkat alat uji kadar air

b. Pelaksanaan

1) mengambil contoh tanah yang lolos saringan no 4 sebanyak 12 kg, kemudian dibagi menjadi enam bagian dan dimasukkan ke dalam kantong plastik masing-masing 2 kg
2) menambah air ke dalam tiap-tiap bagian 0 cc, 100 cc, 200 cc, 300 cc, 400 cc dan 500 cc, kemudian disimpan selama 24 jam sampai kadar air merata
3) memasukkan masing-masing contoh tanah ke dalam cetakan silinder sebanyak tiga lapis, kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali pada tiap lapis
4) mencari kadar air dari masing-masing bagian

4.4.11 Pengujian CBR laboratorium

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang dipadatkan dilaboratorium pada kadar air optimum. CBR adalah

perbandingan beban penetrasi pada suatu bahan dengan beban dan bahan standar pada penetrasi dan kecepatan pembebanan yang sama.

a. Peralatan

1) mesin penetrasi
2) alat pengukur pengembangan
3) keping beban
4) stopwatch
5) peralatan bantu lainnya (talam, alat perata, bak perendam dan lain-lain)

b. Pelaksanaan

1) meletakkan benda uji yang sudah dipasangi keping beban seberat 4,5 kg di mesin penetrasi
2) memasang torak penetrasi dan diatur pada permukaan benda uji sehingga arloji beban menunjukkan beban permulaan sebesar 4,5 kg
3) memberikan pembebanan secara teratur dengan kecepatan penetrasi ± 1,27 mm/menit
4) menggambar grafik untuk menentukan nilai CBR

4.4.12 Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukkan besarnya sudut gesek dalam (ϕ), kohesi (c) dan kuat tekan bebas (qu) dari contoh tanah.

a. Peralatan

1) mesin penekan

2) timbangan

3) stopwatch

4) jangka sorong

5) pengukur sudut

b. Pelaksanaan

1) mengukur tinggi dan diameter serta menimbang berat benda uji

2) menempatkan benda uji diatas mesin penekan secara vertikal dan sentris pada plat dasar alat tekan, serta mengatur dial penunjuk beban dan dial pengukur regangan sehingga menunjukkan angka nol

3) melakukan penekanan dengan mengatur kecepatan pembebanan ± 1,4 mm/menit

4) penekanan dihentikan apabila penunjuk beban sudah mengalami penurunan dua kali atau tetap tiga kali berturut-turut atau regangannya sudah mencapai 20% dari tinggi semula

5) mengukur sudut pecahnya (α) dengan pengukur sudut

6) menggambar grafik regangan-tegangan untuk menentukan tekanan aksial maksimum ($\sigma_{maks.}$)

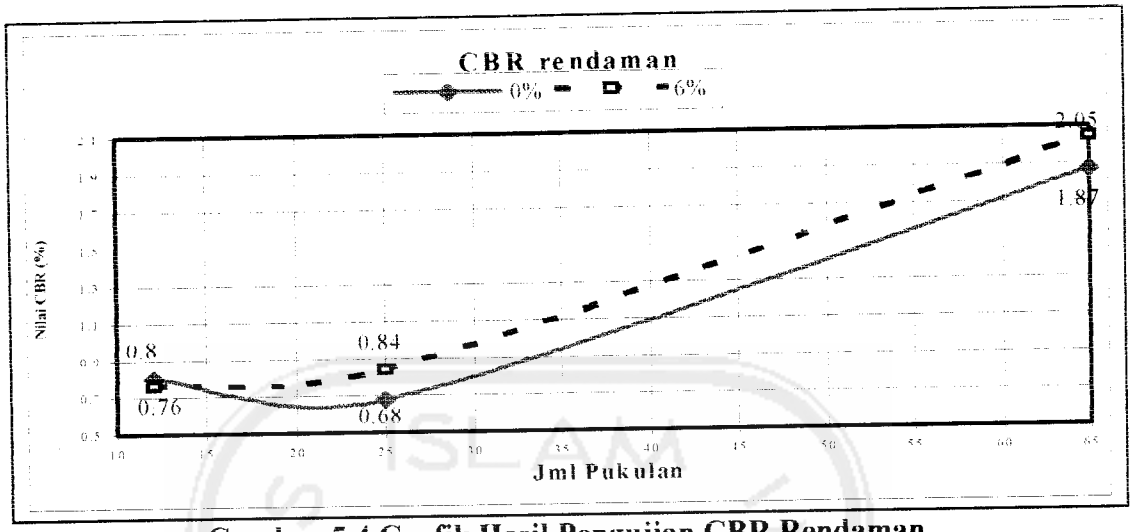
c. Perhitungan

1) apabila benda uji mengalami pecah, kuat tekan bebas (qu) = $\sigma_{maks.}$, sedang bila tidak mengalami pecah qu = $\sigma_{20\%}$ (tekanan pada regangan 20 %).

2) sudut gesek dalam (ϕ) = 2 (α - 45^0) (4.10)

3) kohesi tanah (c) = $\frac{qu}{2tg\alpha}$ (4.11)

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengujian CBR Rendaman

Dari gambar 5.4 dapat dilihat hubungan antara nilai CBR, jumlah pukulan dan kadar sulfur. Dari gambar tersebut terlihat jumlah pemadatan berpengaruh terhadap nilai CBR rendaman. Semakin besar jumlah tumbukan nilai CBR semakin meningkat. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada tinjauan jumlah pukulan yang sama nilai CBR tanah dengan menggunakan kadar sulfur lebih tinggi dibandingkan dengan tanah lempung tanpa sulfur. Pada jumlah pukulan 12 kali selisih nilai CBR tidak begitu besar, sedangkan pada jumlah pukulan 25 kali dan 65 kali selisih nilai CBR terlihat jelas perbedaannya. Hal ini disebabkan karena semakin rapat butiran tanah maka air akan semakin sulit untuk menembus butiran. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan sulfur dapat mencapai CBR yang maksimum dengan jumlah tumbukan yang cukup (25 x dan 65 x).

penurunan. Kebutuhan air optimum yang terendah dicapai pada kadar sulfur 4%. Kenaikan dan penurunan berat isi kering dipengaruhi oleh kadar air. Hal ini terlihat pada kadar sulfur 4%, sebagaimana terlihat pada gambar 5.2, kadar 4% kadar air optimum campuran memiliki nilai terkecil. Pada penambahan kadar sulfur 6% kadar air mencapai optimum sehingga berat volume tanah mencapai nilai maksimum. dan pada saat penambahan kadar sulfur 8% kadar air meningkat sehingga berat volume keringnya nilainya menurun dibanding dengan kadar sulfur 6%

Berat volume kering maksimum terjadi pada penambahan kadar sulfur 6% sebesar 1,489 kg/cm^3 pada kadar air optimum sebesar 25,34% (lihat lampiran 5.d).

5.5.2.2 Pengujian CBR

Pada pembahasan pengujian CBR dibagi menjadi dua bagian yaitu CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman. Setiap pengujian CBR dibedakan lagi menjadi tiga yaitu berdasarkan jumlah pukulan yang diberikan pada saat pemadatan.

a. Pengujian CBR rendaman

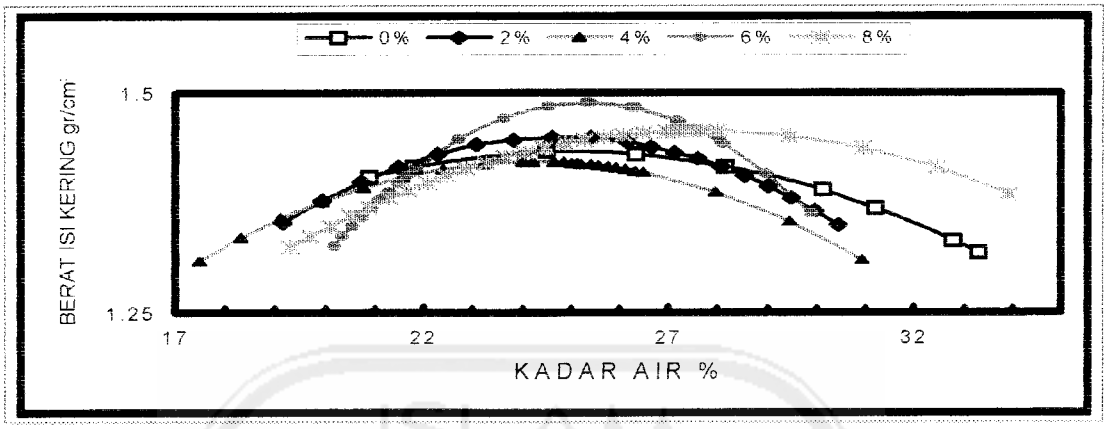
Pada pengujian CBR dengan rendaman 4 hari pada umumnya mengalami kenaikan, dan hanya mengalami penurunan pada pengujian dengan jumlah pukulan 12 kali. Untuk tanah lempung tanpa sulfur dengan 65 kali pukulan saat pemadatan, nilai CBR mencapai 1,87 % (lihat lampiran 8.a.3), setelah ditambahkan sulfur 6 % nilai CBR menjadi 2,05 % (lihat lampiran 8.b.3).

Pada gambar 5.1 dapat dilihat hubungan antara Berat isi kering, kadar air dan kadar sulfur dimana pengaruh air sangat berpengaruh pada nilai berat isi kering. Setiap penambahan air mengakibatkan berat isi kering meningkat sampai mencapai nilai optimum, setelah melewati kadar air optimum penambahan air justru akan menurunkan nilai berat isi kering.

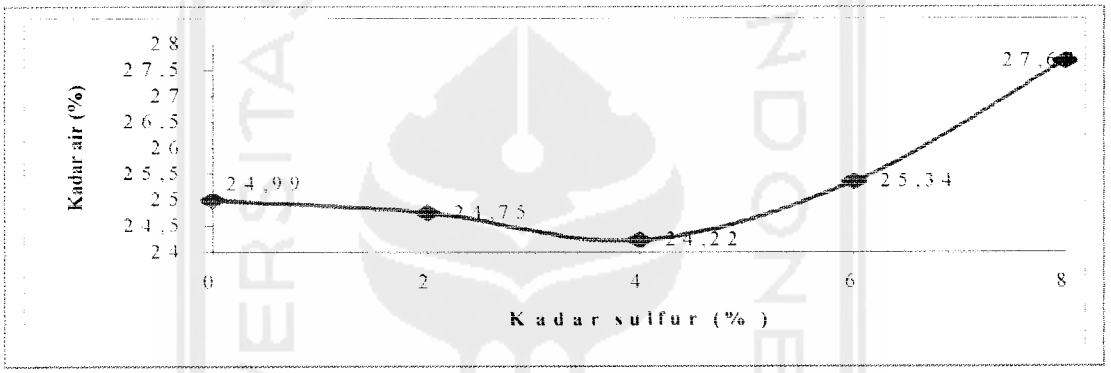
Pada gambar 5.3 dapat dilihat bahwa penambahan sulfur akan berpengaruh pada berat isi kering, semakin besar penambahan kadar sulfur nilai berat kering tanah semakin meningkat kecuali pada 4%. Peningkatan nilai berat isi kering terjadi karena sulfur dapat bercampur dengan baik disela-sela tanah lempung. Pada saat keadaan mencapai suhu kamar, sulfur akan berbentuk kristal dan mengikat butiran-butiran tanah menjadi gumpalan. Pada saat sulfur menggumpal akan dapat membantu ikatan butiran pada tanah lempung, sehingga berat isi kering menjadi meningkat.

Pada gambar 5.2 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kadar air pada penambahan kadar sulfur 2% dan 4%, kemudian mengalami kenaikan kadar air pada penambahan kadar sulfur 6% dan 8%. Penurunan pada kadar air pada penambahan kadar sulfur 2% dan 4% terjadi karena air yang berada di dalam ikatan butiran tanah dan sulfur jumlahnya sedikit. Kenaikan kadar air seiring dengan meningkatnya penambahan kadar sulfur, disebabkan karena untuk bisa bercampur dengan sempurna pada tanah sulfur membutuhkan kadar air yang lebih besar.

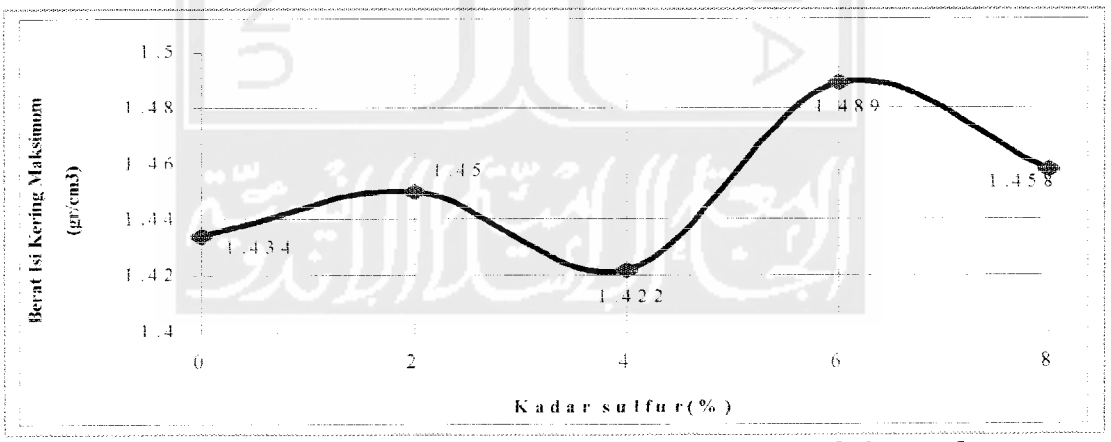
Pada gambar 5.3 dengan penambahan kadar sulfur berat isi kering mengalami kenaikan pada semua kadar sulfur kecuali pada kadar sulfur 4% mengalami



Gambar 5.1 Grafik Hasil Pengujian Pemadatan Tanah



Gambar 5.2 Grafik hubungan antara kadar air maksimum dengan Kadar Sulfur



Gambar 5.3 Grafik hubungan antara berat isi kering maksimum dengan Kadar sulfur

Setelah dilakukan pencampuran tanah lempung dengan kadar sulfur 6% dapat dilihat perubahan-perubahan sifat dari tanah, yaitu nilai Indeks Plastisitas berkurang, pada tanah lempung asli nilai IP sebesar 19,62 %, sedangkan pada tanah lempung yang dicampur dengan sulfur 6 % nilai IP sebesar 8,75 %. Sifat penyusutan tanah bertambah, pada tanah asli sebesar 19,840 %, menjadi 32,710 % pada tanah campuran sulfur 6%. Setelah tanah asli dicampur dengan sulfur 6% didapat hasil Indeks Plastisitas sebesar 8,75 % dan nilai batas cair sebesar 43,91 %, tanah tersebut termasuk dalam golongan tanah A-2-5 atau tanah klasifkasi baik.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar sulfur 6 % akan memperbaiki nilai karakteristik tanah lempung.

5.5.2 Kekuatan Tanah

Pengujian yang berhubungan dengan kekuatan tanah adalah pengujian pemadatan, tekan bebas dan uji CBR.

5.5.2.1 Pemadatan Tanah.

Pada penelitian ini kadar air optimum untuk tanah asli atau campuran sulfur 0% sebesar 24,99 %, setelah dicampur dengan sulfur berangsur turun pada penambahan sulfur 4% dan naik lagi pada penambahan sulfur 6% dan kemudian turun lagi pada kadar sulfur 8%. Hubungan antara kadar sulfur dengan kadar air optimum dan nilai berat kering tanah dapat dilihat pada gambar 5.1, gambar 5.2 dan gambar 5.3.

Tabel 5.5 Hasil pengujian tekan bebas

Persen sulfur	0%			6%								
Pemeraman	0 HARI			3 HARI			7 HARI			14 HARI		
Sampel	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
qu (kg/cm^2)	1.691	1.51	1.485	1.952	1.762	2.787	1.389	1.117	1.811	1.772	2.01	1.903
c (kg/cm^2)	0.528	0.509	0.494	0.709	0.664	1.012	0.417	0.377	0.553	0.575	0.61	0.666
Sudut pecah	58	56	56	54	53	54	59	56	50	57	50	55
ϕ	26	22	22	18	16	18	28	22	28	24	28	20

5.5 Analisis dan Pembahasan

5.5.1 Kestabilan Volume Tanah

Tujuan kestabilan volume tanah pada pengujian ini mengacu pada pengujian batas-batas konsistensi dan distribusi butiran tanah. Dari hasil pengujian tanah tersebut mempunyai karakteristik persentase butiran terdiri dari **23.54 % pasir, 21.86 % lumpur,** dan **54.60 % lempung**. Menurut klasifikasi sistem AASHTO tanah tersebut termasuk jenis tanah lempung karena tanah yang berbutir halus (lempung) lebih dari 35 %.

Pada pengujian batas batas konsistensi tanah, tanah diayak dengan ayakan no.40. Dari hasil pengujian diperoleh nilai **batas cair** sebesar **52,38 %,** nilai **batas plastis** sebesar **32,75 %,** nilai **indeks plastisitas** sebesar **19,62 %,** dan nilai **batas susut** sebesar **19.84%**. Menurut klasifikasi tanah sistem AASHTO, tanah tersebut termasuk jenis tanah yang berplastisitas tinggi dan masuk dalam klasifikasi tanah golongan A-7-5 yaitu kategori tanah buruk

Tabel 5.3 Hasil pengujian CBR rendaman

Persen sulfur	0%			6%		
Perendaman	4 Hari			4 Hari		
Jumlah pukulan.	12	25	65	12	25	65
Pen.0.1" (%)	0.80	0.46	1.37	0.46	0.80	1.83
Pen.0.2" (%)	0.67	0.68	1.87	0.76	0.84	2.05
Nilai CBR (%)	0.80	0.68	1.87	0.76	0.84	2.05

Tabel 5.4 Hasil pengujian pengembangan pada tanah

Persen sulfur	0%			6%		
Jumlah pukulan.	12	25	65	12	25	65
Tinggi awal (Ho)	12.9	13	12.9	12.9	13.5	12.9
Pemb.awal (H1)	4.11	6.31	4.91	3.25	9.57	2.26
Pemb.akhir(H2)	7.435	9.74	7.65	7.81	13.19	5.88
Selisih (H2-H1)	3.325	3.43	2.74	4.56	3.62	3.62
Pengembangan (%) [(H2-H1)/Ho]x100	25.78	26.38	21.24	35.35	26.81	20.22

5.4 Pengujian Tekan Bebas

Pada pengujian tekan bebas sampel yang digunakan adalah tanah lempung dengan kandungan sulfur 0% dan 6%. Untuk kandungan sulfur 0% (tanah asli) langsung dilakukan pengetesan pada saat itu juga, sedangkan untuk kandungan sulfur 6% dilakukan pemeraman selama 3, 7 dan 14 hari dan masing-masing diambil 3 sampel.

Hasil pengujian tekan bebas dapat dilihat pada tabel 5.5 dibawah ini :

Tabel 5.2 Hasil pengujian CBR tanpa direndam

Persen Sulfur	0%			6%								
Pemeraman	0 Hari			3 Hari			7 Hari			14 Hari		
Jumlah pkl	12	25	65	12	25	65	12	25	65	12	25	65
Pen. 0.1" (%)	4.11	6.393	9.589	3.653	7.763	13.24	3.653	8.676	15.98	6.39	10.1	16.44
Pen. 0.2"(%)	4.11	6.241	10.96	3.349	7.002	14.00	3.653	7.763	14.92	5.48	10.2	15.68
NilaiCBR(%)	4.11	6.393	10.96	3.653	7.763	14.00	3.653	8.676	15.98	6.39	10.2	16.44

Pada pengujian CBR tanah asli (campuran 0%) tidak dilakukan pemeraman, melainkan langsung dilakukan pengujian waktu itu juga (0 hari pemeraman). Nilai CBR yang dipakai untuk tanah asli menurut jumlah pukulan adalah sebagai berikut

1. Jumlah pukulan 12 kali = 4.1097 %
2. Jumlah pukulan 25 kali = 6.3929 %
3. Jumlah pukulan 65 kali = 10.9592 %

(lihat lampiran 6.a.1 sampai lampiran 6.a.3).

Selain pengujian CBR dengan pemeraman, dilakukan juga pengujian CBR rendaman dimana sampel direndam selama 4 hari. Pengambilan sampel sama seperti pengujian CBR pemeraman. Selain untuk menentukan nilai CBR rendaman, pengujian ini juga di gunakan untuk melihat pengembangan yang terjadi pada tanah saat terendam air.

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.3 dibawah ini :

Tabel 5.1 lanjutan

No.	Kadar limbah %	Kadar air optimum %	Berat volume kering maksimum gr/cm^3
3	0	25.88	1.396
4	2	24.75	1.450
5.	4	24.22	1.422
6.	6	25.34	1.489
7.	8	27.68	1.458

Dari hasil pengujian kepadatan tanah dipilih sampel yang menghasilkan berat volume kering terbesar untuk dipakai pada pengujian CBR dan tekan bebas.

5.3 Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Pada pengujian CBR laboratorium, kandungan sulfur yang dipakai adalah 0 % dan 6 %. Pemilihan kandungan sulfur 6 % berdasarkan hasil dari pengujian kepadatan tanah yang menghasilkan berat volume kering yang terbesar.

Untuk setiap sampel yang mengandung kadar sulfur 0 % dan 6 % dibagi lagi menjadi tiga bagian. Masing-masing bagian dibedakan berdasarkan jumlah pukulan yang dilakukan pada saat pemadatan. Jumlah pukulan yang dipakai adalah 12, 25 dan 65 kali pukulan.

Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.2 dibawah ini :

Lumpur = 21.86 %

Lempung = 54.60% (lihat lampiran 3.a.1 sampai lampiran 3.b.2)

3. Hasil Pengujian batas-batas konsistensi

Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tanah lempung didapat hasil sebagai berikut :

Batas cair = 52,38 %

Batas plastis = 32,75 %

Indeks plastisitas = 19,62 %

Batas susut = 19.84% (lihat lampiran 4.a.1 sampai lampiran 4.a.3)

5.1.2 Pengujian pada Sulfur/Belerang

Sulfur/belerang yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis sulfur/belerang berbentuk tepung, berwarna kuning. Pada sulfur/belerang hanya dilakukan penelitian terhadap berat jenis dan kadar air.

Dari penelitian didapat hasil berat jenis sulfur sebesar 1,99 dan kadar air pada sulfur sebesar 0,58 % (lihat lampiran 1.b dan lampiran 2.b).

5.2 Hasil Pengujian Kepadatan Tanah

Tabel 5.1 Hasil pengujian kepadatan tanah

No.	Kadar limbah %	Kadar air optimum %	Berat volume kering maksimum gr/cm^3
1.	0	24.99	1.434
2.	0	26.45	1.418