

ANALISIS PENGARUH PEMERAMAN TANAH LEMPUNG YANG DICAMPUR DENGAN ASPAL EMULSI

I Nyoman Aribudiman¹ dan I Nyoman Hasta Widyatmika²

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar

²Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar

Email: n.aribudiman@gmail.com

Abstrak: Tanah lempung merupakan tanah yang kurang baik digunakan sebagai dasar suatu bangunan, karena merupakan tanah yang sangat berpotensi mengalami pengembangan dan penyusutan yang sangat besar. Sifat kembang susut yang besar dari lapisan tanah dasar ini dapat menimbulkan kerusakan pada konstruksi yang berada di atasnya. Karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah. Salah satu cara memperbaiki sifat tanah yang kurang baik adalah stabilisasi, yaitu dengan menambahkan suatu bahan tertentu/aditif. Salah satu stabilisasi dalam usaha perbaikan tanah adalah mencampur tanah lempung dengan aspal emulsi yang ditambah dengan proses pemeraman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik suatu tanah dan mengetahui bagaimana pengaruh penambahan aspal emulsi dan proses pemeraman terhadap stabilitas tanah lempung. Aspal emulsi ditambahkan dengan persentase: 0%, 3%, 6%, 9% dan proses pemeraman yang dilakukan selama 2 hari, 4 hari, dan 6 hari. Data yang diperoleh dari hasil penelitian meliputi analisa saringan, kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg, pemadatan tanah, kuat tekan bebas dan CBR. Hasil penelitian diperoleh nilai IP rata-rata=20,675% yang menunjukkan tanah lempung di daerah Padangsambian Kaja pada kedalaman 1 m termasuk *High Plasticity*. Nilai Indeks Plastisitas (IP) menurun, dengan nilai IP terendah sebesar 20,320% pada kadar penambahan 9% aspal emulsi. Penambahan aspal emulsi dan proses pemeraman memberi pengaruh yang signifikan terhadap kembang susut dan peningkatan kekuatan tanah. Perubahan kuat tekan bebas yang tertinggi diperoleh pada penambahan 9% aspal emulsi, yang menyebabkan nilai q_u naik dari 0,417% menjadi 1,025%, ϕ naik dari 11° menjadi 17°, dan nilai c juga mengalami kenaikan dari 0,209 kg/cm² menjadi 0,513 kg/cm². Nilai CBR juga mengalami kenaikan, untuk CBR 0,1 inci mengalami kenaikan dari 7,484% menjadi 9,137% dan CBR 0,2 inci dari 5,081% menjadi 6,520%. Pemeraman menyebabkan kadar air yang terkandung dalam tanah menjadi lebih merata sehingga tanah menjadi semakin mengeras, hal ini menyebabkan q_u dan c tanah menjadi meningkat.

Kata kunci: tanah lempung, aspal emulsi, dan pemeraman.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF AGING ON THE MIXED EMULSION ASPHALT CLAY

Abstract: Clay soil is not good as building foundation, as it will easily expand and shrink, which will damage the construction above it. Therefore, soil improvement is needed, one of which is soil stabilization. It is done by adding additive. One of the stabilization method is mixing the clay soil with emulsion asphalt followed by aging process. This research aimed to investigate the characteristic of the soil and the effect of adding the emulsion asphalt and the aging process to the clay soil stabilization. The emulsion asphalt was added to the clay soil at 0%, 3%, 6%, 9% and the aging were carried out in 2 days, 4 days and 6 days. The parameters measured were filter analysis, water content, specific gravity, atterberg limits, soil compaction, free compressive strength and CBR. The results showed that the average IP value was 20,675% which means that the clay soil in North Padangsambian area at 1 m depth was classified as high plasticity. The IP value decreased, with the lowest IP 20,320% at 9% emulsion asphalt addition. The addition of emulsion asphalt and aging process give a significant effect to the expand and shrinkage behavior and increased the strength of the soil. The highest free compressive strength reached at addition of 9% emulsion asphalt, which increased the q_u value from 0,417% to 1,025%, ϕ from 11° to 17°, and c value from 0,209 kg/cm² to 0,513 kg/cm², and the CBR 0,1 inches increased from 7,484% to 9,137% and CBR 0,2 inches increased from 5,081% to 6,520%. The incubation caused the water content on the soil become even and hardened and consequently increased the q_u and c of soil.

Keywords: clay soil, emulsion asphalt and aging.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah merupakan material yang berperan penting dalam suatu pekerjaan konstruksi bangunan sipil. Kebanyakan konstruksi bangunan sipil dibangun di atas tanah. Oleh karena itu, diperlukan penguasaan yang lebih mendalam mengenai masalah perilaku tanah, sehingga dapat diketahui sifat fisik dan mekanis dari suatu jenis tanah yang akan digunakan sebagai lapisan bawah dari suatu konstruksi bangunan. Tanah lempung sebenarnya dapat digunakan sebagai dasar suatu bangunan, namun kenyataan di lapangan jarang yang memakai tanah lempung sebagai dasar suatu bangunan, karena tanah lempung merupakan tanah yang sangat berpotensi mengalami pengembangan dan penyusutan yang sangat besar. Diperlukan suatu perilaku khusus terhadap tanah dasar yang berdaya dukung rendah dan mempunyai sifat lempung. Perlakuan untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah dasar tersebut sering disebut dengan stabilisasi tanah. Stabilisasi yang pernah dilakukan adalah dengan kapur dan abu sekam padi (Trisnayani, 2008), serat ijuk (Wijantara, 2009), *cement clean set* (Santoso dan Winoto, 1991), geosta (Henry dan Hwie, 1997), penambahan pasir (Budiarta, 2010) dan penambahan kapur dan aspal emulsi (Nugroho, 2003). Penelitian ini akan melakukan pengamatan terhadap tanah lempung yang dicampur dengan aspal emulsi dan akan dilakukan pemeraman selama beberapa hari.

Hipotesis awal yang dapat disimpulkan dari stabilisasi tanah lempung dengan aspal emulsi adalah dapat meningkatkan kekuatan tanah. Aspal emulsi akan mempengaruhi kembang susut dari tanah lempung, menurunkan kadar air pada batas cair, meningkatkan berat volume kering tanah dan menurunkan kadar air optimum, menurunkan indeks plastisitas dan meningkatkan kepadatan yang berakibat naiknya daya dukung tanah. Secara lebih rinci, peningkatan konsentrasi bahan stabilisasi aspal emulsi akan diikuti peningkatan CBR. Sedangkan proses pemeraman akan mempengaruhi kadar air yang terkandung dalam tanah dan berpengaruh pada karakteristik tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Tanah

Tanah dapat didefinisikan sebagai mineral yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1998).

Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah. Tanah lempung bersifat lunak dan mudah tertekan sehingga sering menjadi masalah dalam pelaksanaan konstruksi (Craig, 1994).

Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Ekspansif Sifat-Sifat Fisik Tanah Ekspansif

Dalam keadaan asli, tanah mempunyai sifat-sifat dasar dari tanah yang berguna untuk mengetahui jenis tanah. Sifat fisik tanah ekspansif dapat diketahui dengan melihat beberapa keadaan antara lain sebagai berikut:

Ukuran Butiran

Tanah memiliki ukuran partikel yang berbeda tergantung jenis tanah tersebut. Tanah lempung merupakan jenis tanah dengan ukuran butir lebih kecil dari 2 mikron ($\varnothing < 0,002$ mm). Ukuran butir dapat ditentukan dengan menyaring sejumlah tanah melalui seperangkat saringan yang disusun dengan lubang yang paling besar berada paling atas dan makin ke bawah makin kecil.

Kadar Air Tanah (*Water Content*)

Kadar air merupakan perbandingan antara berat air yang terdandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut yang dinyatakan dalam persen. Kadar air dihitung sebagai berikut:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

w = kadar air

W_w = berat air
 W_s = berat tanah kering

Berat Jenis Tanah (*Specific of gravity*)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan berat isi air suling dengan volume sama pada suhu tertentu.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_w \cdot \gamma_w} \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

G_s = berat jenis tanah (*specific gravity*)
 γ_s = berat volume butiran
 γ_w = berat volume air
 V_w = volume air

Angka Pori (*Void Ratio*)

Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya volume ruang kosong dan volume butir padat.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

e = angka pori
 V_v = volume pori
 V_s = volume butir padat

Porositas (*Porosity*)

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong dengan volume massa tanah.

$$Y_p = \frac{V_v}{V} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

Atau:

$$N_p = \frac{e}{1 + e} \dots \dots \dots (5)$$

dengan:

n_p = porositas
 V = volume massa tanah
 e = angka pori

Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation*)

Derajat kejenuhan dari massa tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori. Umumnya derajat kejenuhan ini dinyatakan dalam persen. Derajat kejenuhan berkisar antara 0 sampai 1.

Bila $S = 0$ berarti tanah kering, bila $S = 1$ berarti tanah kenyang air dan bila $0 < S < 1$ berarti tanah basah.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

dengan:

S = derajat kejenuhan
 V_w = volume air
 V_v = volume pori

Berat Volume (*Unit-Weight*)

Berat satuan/berat volume (γ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat tanah dengan volume massa tanah.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (7)$$

Berat volume tanah kering (*dry density*)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots \dots \dots (8)$$

Berat volume tanah jenuh air

$$\gamma_{sat} = \frac{W_w + W_s}{V} \dots \dots \dots (9)$$

Berat volume tanah terendam air

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \dots \dots \dots (10)$$

Batas-Batas Atterberg

Beberapa percobaan untuk menentukan batas-batas Atterberg adalah:

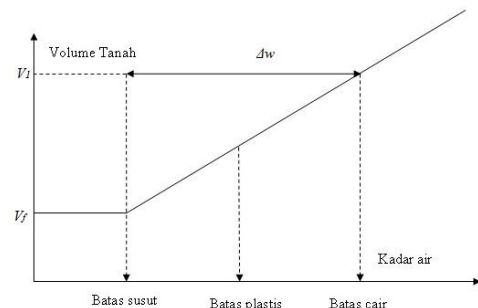
1. Batas Cair (*Liquid limit*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair. Batas cair (LL) adalah kadar air batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.

$$LL = W_c \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121} \dots \dots \dots (11)$$

dengan:

LL = batas cair
 W_c = kadar air pada saat tanah menutup
 N = jumlah pukulan pada kadar air W_c



Gambar 1. Hubungan volume tanah dalam Atterberg (Das, 1998)



Gambar 2. Alat Cassandre (Soedarmo dan Purnomo, 1993)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis. Dalam menentukan batas plastis ini dilakukan dengan percobaan menggiling butir tanah menjadi bulat pipih dengan diameter 3 mm sampai menjadi retak-retak dan selanjutnya diselidiki kadar airnya.

3. Indek plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas suatu tanah adalah bilangan dalam persen yang merupakan selisih antara batas cair dengan batas plastis suatu tanah (Das, 1988). Pendekatan untuk menentukan indeks plastisitas suatu tanah adalah:

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots (12)$$

dengan:

- IP = indek plastisitas
- LL = batas cair
- PL = batas plastis

4. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Harus diketahui bahwa apabila batas susut ini semakin kecil, maka tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume, yaitu semakin sedikit jumlah air yang dibutuhkan untuk menyusut (Bowles, 1997). Perhitungan batas susut ini dapat digunakan rumus:

$$SL = w - \frac{V_1 - V_2}{W} \dots\dots\dots (13)$$

dengan:

- SL = batas susut
- V₁ = volume tanah basah
- W = berat tanah kering
- V₂ = volume tanah kering
- w = kadar air tanah basah

Plastisitas dan Aktivitas Tanah

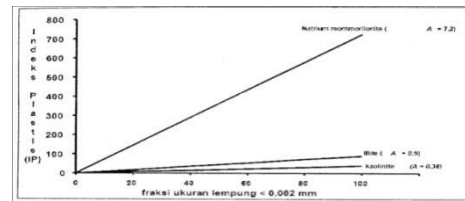
Hubungan antara PI dan persentase butiran yang lolos ayakan 2µm didefinisikan sebagai suatu besaran yang disebut aktivitas (*activity*).

$$Ak = \frac{PI}{(\% \text{ fraksi berukuran lempung})} \dots\dots\dots (14)$$

Tiga kategori aktivitas (Skempton, 1953 dalam Das, 1998):

A < 0,75 → Tidak aktif

0,75 < A < 1,25 → Normal
 A > 1,25 → Aktif



Gambar 3. Aktivitas mineral lempung (Usman, 2008)

Tabel 1. Aktivitas Mineral Lempung

Mineral	Aktivitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,9
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

(Skempton, 1953 dalam Das, 1988)

Kembang Susut

Menurut Kormonik dan David (1969) dalam Trisnayani (2008) pengembangan dari tanah disebabkan oleh dua hal:

a. Sebab mekanis

Bila kadar air dalam tanah naik dan tanah menjadi jenuh, maka tegangan kapiler mengecil sedangkan tegangan pori didapat dari tegangan hidrostatik biasa.

b. Sebab Fisika Kimia

Pengembangan disebabkan oleh masuknya kadar air pada partikel-partikel tanah lempung. Mineral jenis montmorillonite maupun illite akan menyebabkan mengembangnya jarak antar unit lapisan struktur dasar.

Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah adalah sifat-sifat tanah yang mengalami perubahan setelah diberikan gaya-gaya tambahan atau pembebanan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah.

Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel atau suatu proses mengeluarkan udara pada pori-pori tanah dengan cara mekanis.

Keuntungan yang diperoleh dengan pemadatan ini, antara lain:

- 1) Berkurangnya penurunan permukaan tanah yaitu gerakan vertikal di dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori
- 2) Bertambahnya kekuatan tanah
- 3) Berkurangnya penyusutan akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan

pada saat pengeringan.

Dari setiap pekerjaan pemadatan yang telah dilakukan, dihitung:

- a. Kadar air
- b. Berat volume tanah basah (γ_b), dengan persamaan:

$$(\gamma_b) = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(15)$$

dengan:

W = Berat tanah yang dipadatkan pada cetakan

V = volume cetakan

- c. Berat volume kering tanah (γ_d), dengan persamaan:

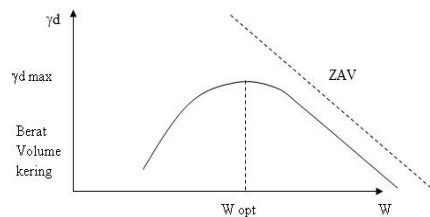
$$(\gamma_d) = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(16)$$

dengan:

w = kadar air

γ_b = berat volume basah

Berdasarkan data yang diperoleh maka dapat digambarkan grafik hubungan antara berat volume kering dengan kadar air.



Gambar 4. Grafik hubungan kadar air dengan berat volume kering (Das, 1998)

Secara teoritis berat volume kering maksimum pada suatu kadar air tertentu dengan pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali (*Zero Air Void/ZAV*) dapat dirumuskan:

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots(17)$$

dengan:

γ_{ZAV} = berat volume pada kondisi ZAV

γ_w = berat volume air

e = angka pori

Gs = berat jenis tanah

Percobaan Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

UCT merupakan suatu cara, pemeriksaan untuk mendapatkan daya dukung tanah. Dari hasil tes ini akan dibuatkan table kuat tekan bebas dengan beberapa perhitungan sebagai berikut:

- a. Regangan dari setiap pembebanan dihitung dengan rumus:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

dengan:

ΔL = Pemendekan tinggi benda uji (cm)

L_0 = tinggi benda uji mula-mula

ϵ = regangan aksial

- b. Luas rata-rata penampang benda uji dengan koreksi akibat pemendekan: dengan:

$$A = \frac{A_0}{1 - \epsilon} \dots\dots\dots(18)$$

A = Luas rata-rata penampang benda uji (cm²)

A_0 = Luas penampang benda uji mula-mula (cm²)

- c. Tekanan aksial yang bekerja pada benda uji pada setiap pembebanan:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(19)$$

dengan:

P = Gaya beban yang bekerja dihitung dari pembacaan arloji ukur cincin beban (kg).

σ = Tekanan aksial

- d. Besarnya kuat tekan bebas (q_u) diperoleh dari nilai terbesar perhitungan pada persamaan 20 dikalikan dengan factor kalibrasi dari alai yang digunakan.

- e. Nilai sudut gesek tanah diperoleh dari perhitungan:

$$\phi = (a - 45^\circ) \times 2 \dots\dots\dots(20)$$

- f. Besarnya nilai kohesi diperoleh dari perhitungan:

$$c = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots(21)$$

CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR adalah perbandingan antara beban yang diperlukan untuk menekan lapisan tanah (material uji), dengan beban yang diperlukan untuk menekan material standar, dengan kecepatan penekanan dan kedalaman tertentu. Besarnya nilai CBR dipakai untuk menentukan ketebalan lapis tanah bawah jalan. Hubungan antara waktu dan pengembangan (perbandingan penambahan tinggi terhadap tinggi awal) digrafikkan, dengan beberapa perhitungan sebagai berikut:

- a. Harga CBR 0,1 inci

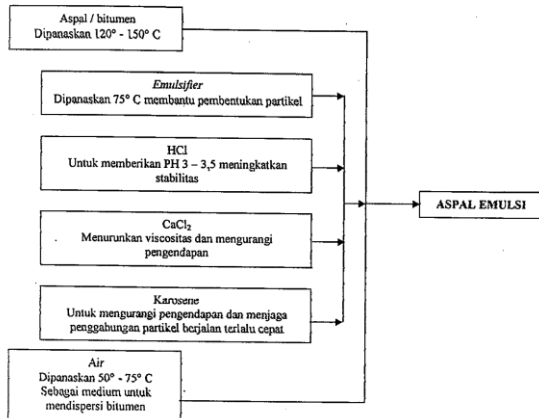
$$CBR = \frac{P1}{3000} \times 100\%$$

- b. Harga CBR 0,2 inci

$$CBR = \frac{P_2}{4500} \times 100\%$$

Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan aspal yang didispersikan secara merata ke dalam air.



Gambar 5. Proses pembuatan aspal emulsi (Priyatno, 2000)

Pemeraman

Pemeraman adalah proses pencampuran tanah dengan air kemudian dibiarkan beberapa saat agar kadar air yang terkandung dalam tanah lebih merata. Proses pemeraman ini akan mempengaruhi kadar air yang terkandung dalam tanah dan berpengaruh pada karakteristik tanah, yang diharapkan mampu membantu menurunkan kadar air pada batas cair dan memperbaiki karakteristik tanah tersebut.

METODE

Pemilihan Lokasi

Pengambilan contoh tanah dilakukan di daerah Padangsambian Kaja, Kecamatan Denpasar Barat. Lokasi ini dipilih karena lokasinya yang berdekatan dengan Desa Kerobokan, sehingga kemungkinan mempunyai perilaku yang sama dengan tanah yang ada di Desa Kerobokan. Tanah di Kerobokan mempunyai perilaku kembang susut yang tinggi dan daya dukung tanah yang kurang baik.

Metode Pengambilan Sampel

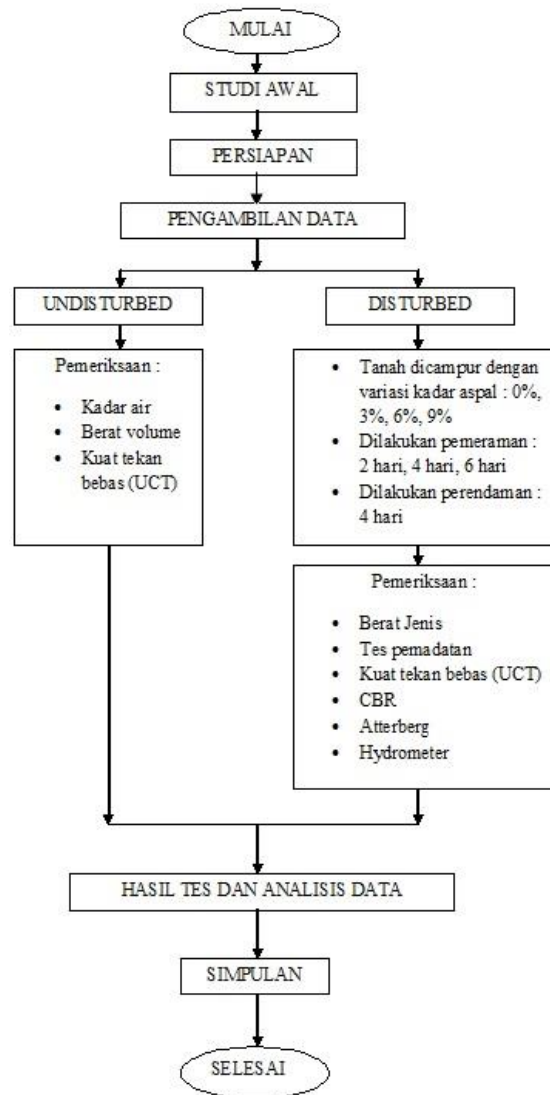
Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel adalah metode random (acak) mengingat daerah Padangsambian Kaja yang cukup luas. Untuk sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) digunakan tabung sampel, yang ditutup rapat dengan plastik atau dilapisi lilin. Untuk tanah

terganggu (*disturbed sample*), sampel dimasukkan ke dalam karung, diikat, dan diletakkan ditempat yang kering.

Metode Penelitian di Laboratorium

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

Kerangka Penelitian



Gambar 6. Kerangka Pelaksanaan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Umum

Hasil penelitian akan memperlihatkan penambahan aspal emulsi yang ditambah variasi pemeraman terhadap tanah lempung yang terdapat di daerah tersebut.

Kadar Air (w)

Kadar air tanah lempung Padangsembian Kaja berada pada rentang 43,91% dan 51,15% dengan kadar air rata-rata 47,53% (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai Kadar Air Tanah Asli

Sampel	Nilai Kadar Air Rata-rata Tanah asli (%)
Padangsambian I	43,91%
Padangsambian II	51,15%

Berat Volume Basah (γ_b)

Berat volume basah (γ_b) tanah lempung Padangsembian Kaja pada kedalaman 1 meter berada pada rentang 1,537 gr/cm³ sampai 1,624 gr/cm³, dengan berat volume basah rata-rata 1,580 gr/cm³ (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai Berat Volume Tanah Basah

Sampel	Nilai Berat Volume Basah (kg/cm ³)
Padangsambian I	1,624
Padangsambian II	1,537

Berat Jenis (G_s)

Berat jenis rata-rata tanah lempung Padangsembian Kaja pada kedalaman 1 meter berkisar antara 2,595 dan 2,602, dengan berat jenis rata-rata sebesar 2,599 (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai Berat Jenis Tanah

Sampel	Nilai Berat Jenis pada Persentase Penambahan Aspal Emulsi			
	0%	3%	6%	9%
I	2,95	2,485	2,377	2,289
II	2,602	2,551	2,470	2,346
Jumlah	5,197	5,036	4,847	4,635
Rata-rata	2,599	2,518	2,424	2,318

Gradasi Butiran (Analisis Ukuran Butiran)

Tabel 5. Hasil Analisis Saringan

Persentase lolos ayakan	I	II
No. 10 (2mm)	100	100
No. 20 (0,85mm)	100	100
No. 40 (0,425mm)	95,6	95,1
No. 60 (0,250mm)	89,6	89,2
No. 100 (0,150mm)	79,3	79,1
No. 200 (0,075mm)	65,3	65,3
Diameter butir yang lolos saringan sampai dengan 0,002 mm yang termasuk lanau	14,71	16,43
Diameter butir yang lebih kecil dari 0,002 mm sampai 0,001 mm yang termasuk lempung	55,73	53,05
Rata-rata		54,39

Tabel 5 menunjukkan persentase rata-rata masing-masing bagian penyusun tanah tersebut:

- a. Lempung (*Clay*)=54,39% (54,39 % berat diameternya < 0,002 mm)

- b. Lanau (*Silt*)=15,57% (15,57% berat diameter butirnya terletak pada 0,002–0,006 mm)
- c. Pasir (*Sand*) = 30,04% (30,04% berat diameternya tertahan saringan no. 200)

Jadi, tanah Padangsembian rata-rata memiliki kandungan lempung 53,72%, lanau 13,05%, dan pasir 33,24%, yaitu tanah lempung kepasiran, karena pada saat analisis saringan dilakukan, penghancuran material tidak merata.

Batas-Batas Atterberg

Batas Cair (*Liquid Limit*)

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai batas cair tanah lempung Padangsembian Kaja pada kedalaman 1 meter berada pada rentang 51,483% sampai 56,890% dan nilai rata-rata 54,187%, atau termasuk dalam kategori *high liquid limit* (50%–70%).

Tabel 6. Nilai Batas Cair

Sampel	Nilai Batas Cair Persentase Penambahan Aspal Emulsi			
	0%	3%	6%	9%
I	56,890	52,949	47,808	44,029
II	51,483	48,253	47,743	47,502
Jumlah	108,373	101,202	95,551	91,531
Rata-rata	54,187	50,601	47,776	45,766

Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai batas plastis tanah lempung Padangsembian Kaja pada kedalaman 1 meter berada pada rentang 28,274% sampai 38,750% dengan nilai rata-rata 33,512%. Nilai kadar air tanah pada masing-masing titik berada di antara batas plastis dan batas cair (PL < w < LL), maka tanah tersebut dapat dikatakan sebagai tanah plastis.

Tabel 7. Nilai Batas Plastis

Sampel	Nilai Batas Plastis Pada Persentase Penambahan Aspal Emulsi			
	0%	3%	6%	9%
I	38,750	28,712	27,935	26,067
II	28,274	27,591	26,035	24,825
Jumlah	67,024	56,303	53,970	50,892
Rata-rata	33,512	28,152	26,985	25,446

Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai indeks plastisitas tanah lempung Padangsembian pada kedalaman 1 meter berada pada rentang 18,140% sampai 23,209% dengan nilai rata-rata 20,675%, sehingga dapat dikategorikan sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi (IP > 17).

Tabel 8. Nilai Indeks Plastisitas

Sampel	Nilai IP Pada Persentase Penambahan Aspal Emulsi			
	0%	3%	6%	9%
I	18,140	24,237	19,873	17,962
II	23,209	20,662	21,708	22,677
Jumlah	41,349	44,899	41,581	40,639
Rata-rata	20,675	22,450	20,791	20,320

Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai batas susut tanah lempung Padangsambian Kaja pada kedalaman 1 meter berada pada rentang 22,209% sampai 24,082% dengan nilai rata-rata 23,146%.

Tabel 9. Nilai Batas Susut

Sampel	Nilai Batas Susut Pada Persentase Penambahan Aspal Emulsi			
	0%	3%	6%	9%
I	24,082	23,923	23,287	22,120
II	22,209	21,976	21,877	21,990
Jumlah	46,291	45,899	45,164	44,110
Rata-rata	23,146	22,950	22,582	22,055

Pemadatan Standar

Tabel 10. Nilai Berat Volume Kering Maksimum

Sampel	Waktu Pemeraman	Berat Volume Kering (gr/cm ³) pada Persentase Penambahan Aspal			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	1,117	1,152	1,173	1,183
		1,169	1,173	1,182	1,241
Jumlah		2,286	2,325	2,355	2,424
Rata-rata		1,143	1,163	1,178	1,212
1	4 Hari	1,151	1,166	1,182	1,254
		1,183	1,190	1,210	1,267
Jumlah		2,334	2,356	2,392	2,521
Rata-rata		1,167	1,178	1,196	1,261
1	6 Hari	1,165	1,192	1,221	1,280
		1,197	1,216	1,249	1,292
Jumlah		2,362	2,408	2,470	2,572
Rata-rata		1,181	1,204	1,235	1,286

Tabel 11. Nilai Kadar Air Optimum

Sampel	Waktu Pemeraman	Kadar Air Optimum (%) pada Persentase Penambahan Aspal (%)			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	39,36	37,15	36,56	29,78
		40,07	39,36	37,62	30,22
Jumlah		79,43	76,51	74,18	60,00
Rata-rata		39,72	38,26	37,09	30,00
1	4 Hari	38,92	36,62	34,79	29,28
		36,98	35,22	33,21	27,79
Jumlah		75,90	71,84	68,00	57,07
Rata-rata		37,95	35,92	34,00	28,54
1	6 Hari	37,72	35,31	32,68	27,21
		35,36	33,17	32,05	25,99
Jumlah		73,08	68,48	64,73	53,20
Rata-rata		36,54	34,24	32,37	26,60

Tabel 10 dan 11 menunjukkan bahwa kepadatan kering maksimum tanah lempung Padangsambian Kaja pada kedalaman 1 meter berada pada rentang 1,117 gr/cm³ sampai 1,169 gr/cm³ dengan nilai rata-rata 1,143 gr/cm³. Kadar air optimum tanah Padangsambian Kaja berada pada rentang 39,36% sampai 40,07% dengan nilai rata-rata 39,72%.

Kuat Tekanan Bebas (UCT)

Tabel 12 sampai Tabel 15 menunjukkan bahwa qu tanah lempung Padangsambian Kaja (*undisturbed sample*) berada pada rentang 0,743 kg/cm² sampai 1,030 kg/cm² dengan nilai rata-rata 0,887 kg/cm². φ berkisar antara 9,6° sampai 10,2°, dan nilai c berada pada rentang 0,372 kg/cm² sampai 0,515 kg/cm² dengan rata-rata 0,443 kg/cm². Sedangkan untuk tanah lempung Padangsambian (*disturbed sample*) yang dipadatkan memiliki nilai qu pada rentang 0,363 kg/cm² sampai 0,471 kg/cm² dengan rata-rata 0,417 kg/cm². φ berkisar antara 10,4° sampai 11,8° dengan rata-rata 11° dan c berada pada rentang 0,182 kg/cm² sampai 0,236 kg/cm² dengan rata-rata 0,209 kg/cm².

Tabel 12. Hasil Penelitian UCT Tanah Asli

Sampel	Kuat Tekan Bebas Tanah Asli (qu)	Sudut Geser Tanah (φ)	Kohesi Tanah (c)
	(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)
Titik I	0,743	9,6°	0,372
Titik II	1,030	10,2°	0,515

Tabel 13. Nilai Kuat Tekan Bebas

Sampel	Waktu Pemeraman	Kuat Tekan Bebas (Kg/cm ²) pada Persentase Penambahan Aspal (%)			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	0,363	0,505	0,670	0,951
		0,471	0,651	0,806	1,098
Jumlah		0,834	1,156	1,476	2,049
Rata-rata		0,417	0,578	0,738	1,025
1	4 Hari	0,412	0,619	0,784	1,100
		0,546	0,815	0,923	1,181
Jumlah		0,958	1,434	1,707	2,281
Rata-rata		0,479	0,717	0,854	1,141
1	6 Hari	0,562	0,762	0,913	1,233
		0,652	0,892	1,153	1,243
Jumlah		1,214	1,654	2,066	2,476
Rata-rata		0,607	0,827	1,033	1,238

Tabel 14. Nilai Sudut Geser Tanah

Sampel	Waktu Pemeraman	Nilai Sudut Geser pada Persentase Penambahan Aspal			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	10,4	13,2	14,4	16,8
		11,8	13,6	15,6	17,1
Jumlah		22	27	30	34
Rata-rata		11	13	15	17
1	4 Hari	12,14	14,8	17,6	19,9
		13,8	16,2	18,8	20,6
Jumlah		25,94	31	36,4	40,5
Rata-rata		12,97	15,5	18,2	20,25
1	6 Hari	14,8	18,6	19,8	23,2
		15,4	19,4	20,4	23,6
Jumlah		30,2	38	40,2	46,8
Rata-rata		15,1	19	20,1	23,4

Tabel 15. Nilai Kohesi Tanah

Sampel	Waktu Pemeraman	Nilai Kohesi Tanah (kg/cm ²) Pada Persentase Penambahan Aspal			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	0,182	0,253	0,335	0,476
2		0,236	0,326	0,403	0,549
Jumlah		0,418	0,579	0,738	1,025
Rata-rata		0,209	0,290	0,369	0,513
1	4 Hari	0,206	0,310	0,392	0,550
2		0,273	0,408	0,462	0,591
Jumlah		0,479	0,718	0,854	1,141
Rata-rata		0,240	0,359	0,427	0,571
1	6 Hari	0,281	0,381	0,457	0,617
2		0,326	0,446	0,577	0,622
Jumlah		0,607	0,827	1,034	1,239
Rata-rata		0,304	0,414	0,517	0,620

Penelitian CBR (*California Bearing Ratio*)

Tabel 16. Nilai CBR (0,1 Inchi)

Sampel	Waktu Pemeraman	Nilai CBR 0,1 Inchi (%) pada Persentase Penambahan Aspal (%)			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	7,438	8,724	8,908	9,091
2		7,530	8,816	8,999	9,183
Jumlah		14,968	17,540	17,907	18,274
Rata-rata		7,484	8,770	8,954	9,137
1	4 Hari	7,530	8,999	9,183	9,734
2		8,173	9,550	9,918	10,285
Jumlah		15,703	18,549	19,101	20,019
Rata-rata		7,852	9,275	9,551	10,010

Tabel 17. Nilai CBR (0,2 Inchi)

Sampel	Waktu Pemeraman	Nilai CBR 0,2 Inchi (%) pada Persentase Penambahan Aspal			
		0%	3%	6%	9%
1	2 Hari	5,020	5,877	6,183	6,367
2		5,142	6,306	6,428	6,673
Jumlah		10,162	12,183	12,611	13,040
Rata-rata		5,081	6,092	6,306	6,520
1	4 Hari	5,204	6,244	6,306	6,673
2		5,755	6,551	6,795	7,040
Jumlah		10,959	12,795	13,101	13,713
Rata-rata		5,480	6,398	6,551	6,857

Tabel 4.15 sampai Tabel 4.16 menunjukkan bahwa nilai CBR 0,1 inci tanah lempung Padang sambian Kaja (*disturbed sampel*) berada pada rentang 7,438% sampai 7,530% dengan nilai rata-rata 7,484% dan nilai CBR 0,2 inci berada pada rentang 5,020% sampai 5,142% dengan nilai rata-rata 5,081%. Berdasarkan data di atas, terlihat bahwa penambahan aspal emulsi pada tanah lempung mengakibatkan nilai CBR meningkat. Pemeraman yang dilakukan pada penelitian CBR juga meningkatkan nilai CBR, karena pada saat pemeraman air yang terkandung dalam tanah mengalir lebih merata sehingga tanah menjadi lebih padat.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari data laboratorium, dapat disimpulkan bahwa aspal emulsi meningkatkan

karakteristik tanah. Ditinjau dari batas-batas Atterberg, terlihat bahwa penambahan aspal emulsi menyebabkan penurunan nilai batas cair, batas plastis, indeks plastisitas dan batas susut. Dari tes pemadatan standar kadar air optimum mengalami penurunan dan berat volume kering maksimum meningkat. Perubahan kuat tekan bebas yang tertinggi diperoleh pada penambahan 9% aspal emulsi, yang menyebabkan nilai q_u naik dari 0,417% menjadi 1,025%, ϕ naik dari 11° menjadi 17°, dan nilai c juga mengalami kenaikan dari 0,209 kg/cm² menjadi 0,513 kg/cm². Nilai CBR juga mengalami kenaikan, untuk CBR 0,1 inci mengalami kenaikan dari 7,484% menjadi 9,137% dan CBR 0,2 inci dari 5,081% menjadi 6,520%. Pemeraman menyebabkan kadar air yang terkandung dalam tanah menjadi lebih merata sehingga tanah menjadi semakin mengeras, hal ini menyebabkan q_u dan c tanah menjadi meningkat.

Saran

Perlu dilakukan penelitian dengan penambahan pasir dan waktu pemeraman dengan variasi waktu berbeda, dan dengan penambahan aditif-aditif yang lebih inovatif dan kreatif baik dari segi teknis maupun ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, R, F. 1994. *Mekanika Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., Endah, N., dan Surya, B.M.I. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- Budiarta, G.B. 2010. *Pengaruh Penambahan Pasir terhadap perilaku tanah ekspansif*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Henry dan Hwie, 1997. *Pengaruh Penambahan geosta terhadap perilaku tanah ekspansif*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Santoso dan Winoto, 1991. *Pengaruh Penambahan semen clen set terhadap perilaku tanah ekspansif*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

- Soedarmo, D. dan Purnomo, E. 1997. *Mekanika Tanah I*, Cetakan I, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Trisnayani 2008. *Pengaruh Penambahan abu sekam dan kapur terhadap perilaku tanah ekspansif*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Nugroho, U. 2003. *Pengaruh Penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap perilaku tanah ekspansif*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Wijantara, 2009. *Pengaruh Penambahan serat ijuk emulsi terhadap perilaku tanah ekspansif*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.