

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Stabilisasi Tanah

Sifat-sifat tanah yang tidak memenuhi persyaratan dalam konstruksi harus melalui tahapan stabilisasi tanah dengan menambahkan suatu bahan untuk meningkatkan daya dukung dan kekuatan tanah. Segala usaha dan tindakan untuk merapatkan tanah, menambahkan material atau menambahkan bahan guna menstabilisasi dan merubah sifat kimia dan fisis untuk mengganti tanah yang buruk (Bowles; 1991).

Menurut Kementrian Pekerjaan Umum, modul Manual Desain Perkerasan Jalan, desain pondasi jalan adalah desain perbaikan dasar (*soil improvement*) dan salah satu perbaikan tanah tersebut adalah tanah semen.

3.2. Tanah Semen (*Soil Cement*)

Tanah dapat distabilisasi dengan mencampurkannya dengan semen. Campuran tersebut biasa disebut sebagai tanah semen. Tujuan utama dari penggunaan tanah semen adalah untuk merubah sifat-sifat tanah tersebut menjadi lebih baik sehingga memenuhi ketentuan sebagai bahan konstruksi yang diijinkan. Beberapa sifat yang berubah setelah stabilisasi tanah menggunakan semen yaitu:

- a. Menaikan kekuatan atau daya dukung tanah (q_u)
- b. Meningkatkan ketahanan tanah (*durability*)
- c. Memperbaiki tanah
- d. Memperkecil tekanan pori tanah (u)

- e. Meminimalisir/mengurangi rembesan air (*permeability*)

Secara spesifik, komponen campuran tanah semen yang digunakan dalam penelitian ini mengandung *Portland Cement*, air, dan tanah. Penjabaran dari masing-masing komponen dapat dilihat sebagai berikut.

3.2.1. *Portland Cement (PC)*

Penelitian pada pondasi tanah semen yang dilakukan menggunakan *Portland Cement (PC)*. Semen tersebut memiliki beberapa tipe. Komposisi susunan oksida kimia yang membentuk *Portland Cement* berbeda-beda sesuai dengan tipe semen yang digunakan. Komposisi susunan oksida berdasarkan tipe-tipe semen dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi Susunan Oksida Kimia Pembentuk *Portland* Semen Menurut Tipe Semen (AASHTO, 1982)

| Semen | Tipe Data | Komposisi bahan campuran (%) | | | | | | | | Nomor Contoh |
|----------|-----------|------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------|-----|---------------|--------------|
| | | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₄ AF | CaSO ₄ | Free CaO | MgO | Ignition Loss | |
| Tipe I | Max | 67 | 31 | 14 | 12 | 3,4 | 1,5 | 3,8 | 2,3 | 21 |
| | Min | 42 | 8 | 5 | 6 | 2,6 | 0 | 0,7 | 0,6 | |
| | Mean | 49 | 25 | 12 | 8 | 2,9 | 0,8 | 2,4 | 1,2 | |
| Tipe II | Max | 55 | 39 | 8 | 16 | 3,4 | 1,8 | 4,4 | 2 | 28 |
| | Min | 37 | 19 | 4 | 6 | 2,1 | 0,1 | 1,5 | 0,5 | |
| | Mean | 46 | 29 | 6 | 12 | 2,8 | 0,6 | 0,6 | 1 | |
| Tipe III | Max | 70 | 38 | 17 | 10 | 4,6 | 4,2 | 4,8 | 2,7 | 5 |
| | Min | 34 | 0 | 7 | 6 | 2,2 | 0,1 | 1 | 1,1 | |
| | mean | 56 | 15 | 12 | 8 | 3,9 | 1,3 | 2,6 | 1,9 | |
| Tipe IV | Max | 44 | 57 | 7 | 18 | 3,5 | 0,9 | 4,1 | 1,9 | 16 |
| | Min | 21 | 34 | 3 | 6 | 2,6 | 0 | 1 | 0,6 | |
| | Mean | 30 | 46 | 5 | 13 | 2,9 | 0,3 | 2,7 | 1 | |
| Tipe V | Max | 54 | 49 | 5 | 15 | 3,9 | 0,6 | 2,3 | 1,2 | 22 |
| | Min | 35 | 24 | 1 | 6 | 2,4 | 0,1 | 0,7 | 0,8 | |
| | Mean | 43 | 36 | 4 | 12 | 2,7 | 0,4 | 1,6 | 1 | |

Tipe-tipe semen tersebut juga memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan penggunaan yang dibutuhkan. Fungsi dari tiap tipe semen dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jenis Standar Semen *Portland* (AASHTO, 1982)

| <i>Cement</i> | <i>Function</i> |
|----------------------|---|
| <i>Type I</i> | <i>For use in general concrete construction when the special properties specified for types II, III, VI and V are not required</i> |
| <i>Type IA</i> | <i>Air-entraining cement for the same uses as type I, where air entrainment is desired</i> |
| <i>Type II</i> | <i>For use in general concrete construction exposed to moderate sulfate action, or where moderate heat of hydration is required</i> |
| <i>Type IIA</i> | <i>Air-entraining cement for the same uses as type II, where air entrainment is desired</i> |
| <i>Type III</i> | <i>For use when high early strength is required</i> |
| <i>Type IIIA</i> | <i>Air-entraining cement for the same uses as type III, where air entrainment is desired</i> |
| <i>Type IV</i> | <i>For use when a low heat of hydration is required</i> |
| <i>Type V</i> | <i>For use when high sulfate resistance is required</i> |

Tabel 3.2 memberikan informasi bahwa semen tipe satu banyak digunakan dalam penggunaan konstruksi yang tidak memerlukan beberapa persyaratan khusus seperti pada tipe semen lainnya. Oleh karena itu, semen tipe satu digunakan pada penelitian ini.

3.2.2. Air

Air yang digunakan dalam konstruksi sebaiknya bersih dan bebas dari beberapa kandungan. Kandungan yang tidak boleh ada dalam air yang digunakan dalam konstruksi diantaranya adalah minyak, sulfat, alkali dan bahan organik. Apabila dalam konstruksi air yang digunakan mengandung bahan-bahan tersebut, maka proses pencampuran tanah dan semen untuk konstruksi akan terganggu. Ketentuan air yang baik digunakan untuk konstruksi dapat dilihat pada Tabel 3.3.

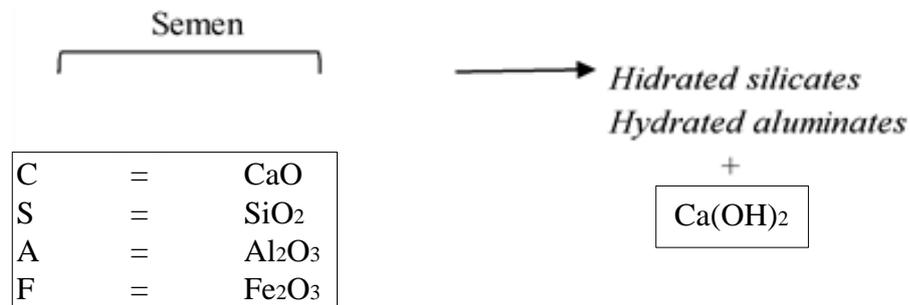
Tabel 3.3. Ketentuan Air (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

| No | Macam Pengujian | Persyaratan | Cara pengujian |
|----|-----------------|------------------|-------------------|
| 1 | Ph | 4,5 – 8,5 | SNI 06-2423-1991 |
| 2 | Bahan organik | Maksimum 200 ppm | SNI 03-6817-2002 |
| 3 | Minyak mineral | < 2% berat semen | SNI M68-1990-2002 |
| 4 | Kadar sulfat | < 10000 ppm | SNI 06-2426-1991 |
| 5 | Kadar klorida | < 20000 ppm | SNI 06-2431-1991 |

3.2.3. Tanah

Segala macam tanah lempung yang bersifat jelek, tidak memasuki persyaratan konstruksi dapat digunakan pada campuran tanah semen (*soil cement*). Campuran tersebut dapat dilakukan selama semen dapat dicampur merata dan kandungan semen bisa cukup banyak.

3.3. Reaksi Tanah Semen



Gambar 3.1. Reaksi Utama Antara Semen dengan Tanah (Philips 1914)

Gambar 3.1. menunjukkan campuran semen dengan air menghasilkan 2 hidrasi yaitu *hidrated silicates* dan *hydrated aluminates*. Kedua hasil hidrasi akan mengikat partikel tanah secara bersamaan. Hasil reaksi sampingan yaitu Ca(OH)₂ akan melakukan *flocculation* dan *ion exchange*.

3.4. Bahan Pengganti (Substitute Material)

Bahan pengganti merupakan bahan berupa bubuk atau cairan yang akan menggantikan bahan pada campuran konstruksi. Bahan pengganti yang akan dipakai pada penelitian ini adalah limbah keramik. Limbah keramik dipilih sebagai bahan pengganti karena mudah didapat.

Pertimbangan lain dari pemilihan limbah keramik sebagai bahan pengganti adalah sifat *pozzolan* dalam kandungan limbah keramik. *Pozzolan* merupakan salah satu sifat utama semen. Sifat *pozzolan* ini akan menyebabkan semen mengeras jika terkena air dan kandungan CaO yang tinggi. Singkatnya, sifat *pozzolan* bertujuan untuk stabilisasi dan pengerasan tanah. Berikut merupakan karakteristik kimia bahan bersifat *pozzolan*.

Tabel 3.4. Karakteristik Bahan Bersifat *Pozzolan* (SNI 2460:2014)

| Uraian Kandungan | Kelas (%) | | |
|---|-----------|----------------|-------------|
| | N | F | C |
| SiO₃ + Al₂O₃ + Fe₂O₃, min | 70 | 70 | 50 |
| SiO₃, maks | 4 | 5 | 5 |
| CaO | - | < 20 | ≥ 20 |

3.5. Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem yang digunakan untuk menentukan jenis tanah berdasarkan beberapa tolak ukur. Penentuan jenis tanah dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti AASHTO dan USCS. Penjelasan dari metode AASHTO (*American Association of State Highway and Transport*

Officials) dan USCS (*Unified Soil Classification System*) dapat dilihat sebagai berikut.

3.5.1. Klasifikasi berdasarkan AASHTO

Ada 2 pertimbangan dalam sistem klasifikasi AASHTO yaitu :

1. Ukuran butir tanah

Pembagian ukuran butir memiliki tiga jenis yaitu kerikil (lolos saringan 75 mm dan tertahan saringan no. 10 / 2 mm) pasir (lolos saringan no. 10 / 2 mm dan tertahan saringan no. 200 / 0,075 mm) dan lumpur atau disebut lanau (lolos saringan no. 200).

2. Plastisitas tanah.

Tanah diklasifikasikan sebagai lumpur (*silty*) memiliki karakteristik nilai Indeks Plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Sedangkan tanah diklasifikasi sebagai liat (*clay*) memiliki nilai IP sebesar 11 atau lebih.

Berikut merupakan tabel klasifikasi berdasarkan AASHTO.

Tabel 3.5. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO Lolos Saringan No. 200 \leq 35% (Braja, 1988)

| General Classification | Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200) | | | | | | |
|---|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Sieve Analysis % passing No.10 No.40 No. 200 | 50 max 30 max 15 max | 50 max 25 max | 51 min 10 max | 35 min | 35 max | 35 max | 35 max |
| Characteristic of fraction passing No. 40 Liquid Limit Plasticity Index | 6 max | | - NP | 40 max 10 max | 41 min 10 max | 40 max 11 min | 41 min 11 min |

Tabel 3.5. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO Lolos Saringan No. 200 $\leq 35\%$ (Braja, 1988) (lanjutan)

| | | | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Usual Types of significant Constituent materials | Stone fragments, gravel, and sand | Fine sand | Silty or clayey gravel and sand |
| General subgrade rating | Excellent to good | | |

Tabel 3.6 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO Lolos Saringan No. 200 $> 35\%$ (Braja, 1988)

| General Classification | Silty-Clay materials (more than 35% passing No.200) | | | |
|---|--|------------------|------------------|-----------------|
| Group Classification | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| | | | | A-7-5 A-7-6 |
| Sieve Analysis % passing No.10 No.40 No. 200 | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| Characteristic of fraction passing No. 40 Liquid Limit Plasticity Index | 40 max 10 max | 41 min 10 max | 40 max 10 min | 41 min 11min |
| Usual Types of significant Constituent materials | Silty Soils | | Clayey Soils | |
| General subgrade rating | Fair to poor | | | |

*For A-7-5 , $PL \leq LL - 30$

*For A-7-6, $PL > LL - 30$

3.5.2. Klasifikasi berdasarkan USCS (*Unified Soil Clasification System*)

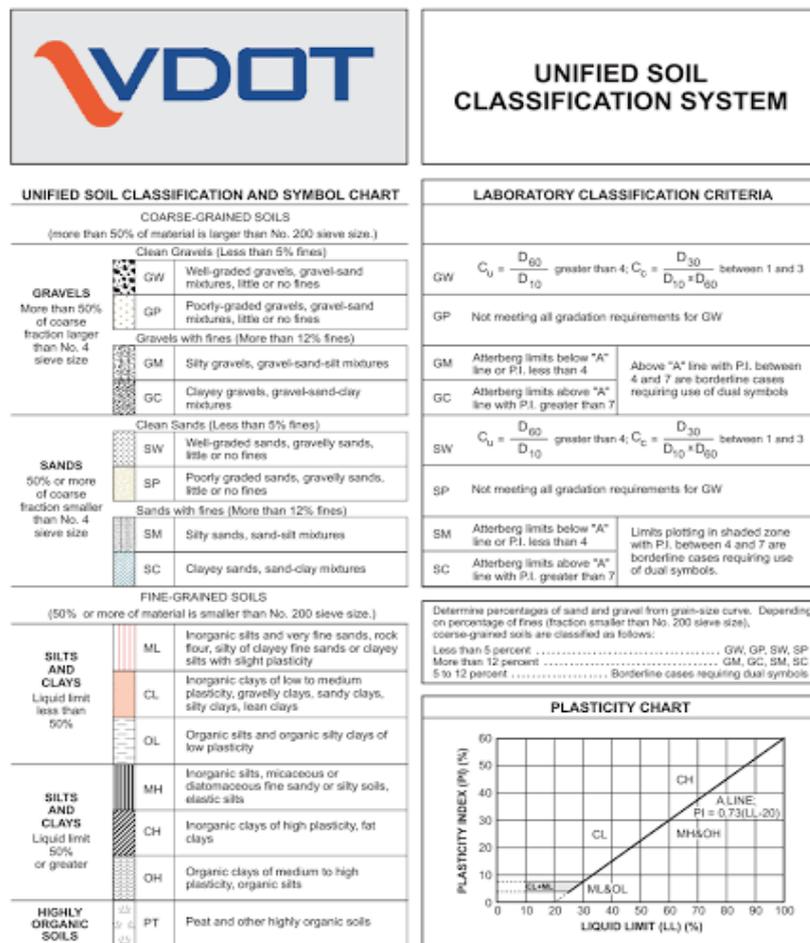
Sistem klasifikasi UCSC memiliki 2 kategori adalah sebagai berikut:

1. Tanah Kasar

Syarat tanah kasar adalah banyak tanah yang lolos pada saringan no. 200 kurang dari 50%. Golongan tanah kasar juga terbagi beberapa jenis tanah yaitu kerikil / *gravel* dengan symbol G dan pasir / *sand* dengan simbol S.

2. Tanah Halus

Tanah yang lolos pada saringan no. 200 sebesar 50% atau lebih terkategori sebagai tanah halus. Pada tanah halus dibagi beberapa jenis yaitu lumpur anorganik dengan symbol M, lanau anorganik dengan symbol C, lanau organik dengan symbol O, dan tanah kotor yang memiliki kadar organic tinggi dengan symbol pt. berikut merupakan gambar dari klasifikasi USCS.



Gambar 3.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS (Braja, 1988)

3.6. Batas – batas Atterberg

Batas *atterberg* bertujuan menentukan batas plastis, batas cair dan indeks plastisitas yang hasilnya akan menentukan sifat sifat tanah pada klasifikasi tanah. Salah satu faktor yang mempengaruhi batas *atterberg* yaitu kadar air tanah. Semakin banyak kadar air yang dimiliki suatu tanah, maka sifat tanah akan semakin jelek dan kekuatannya rendah. Batas-batas *atterberg* terdiri dari:

1. Batas cair (*LL*)

Batas cair merupakan keadaan peralihan pada saat keadaan cair dan keadaan plastis.

2. Batas plastis (*PL*)

Batas plastis merupakan keadaan peralihan pada saat keadaan semisolid dan plastis.

3. Indeks Plastisitas (*IP*)

Indeks plastisitas merupakan selisih nilai batas cair dengan batas plastis dengan hasil dalam bentuk Persen (%)

3.7. Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas merupakan salah satu pengujian untuk menentukan geser tanah. Pengujian ini menentukan besar aksial pada suatu cetakan silinder tanah sampai keadaan pecah atau tanah memberikan perpendekan sampai 20%. Kekuatan aksial pada suatu tanah dapat di rumuskan pada persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

Keterangan:

P = Tekanan aksial pada beban yang bekerja

A = Luas penampang

3.8. CBR (California Bearing Ratio)

CBR adalah perbandingan tekanan untuk menembus suatu tanah dengan piston yang memiliki nilai konversi tertentu. Pengujian ini menggunakan piston dengan luas sebesar 3 inch² dan beban standart pada penetrasi 0,1” (2,54 mm) sebesar 1000 psi (70,31 kg/cm²) dan penetrasi 0,2 (5,08 mm) sebesar 1500 psi (105,47 kg/cm²). Dalam pengolahan data pengujian ini, dibuat grafik antara beban asli, beban terkoreksi dengan penetrasi yang sudah dikonversi. Persamaan beban pada penetrasi tersebut yaitu:

$$\text{Nilai CBR}(\%) P1 = \frac{\text{Beban } P1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (3-2)$$

$$\text{Nilai CBR}(\%) P2 = \frac{\text{Beban } P2}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (3-3)$$

Nilai terbesar diantara persamaan berikut yang akan digunakan.