BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Berbagai jenis tanah yang digunakan untuk landasan konstruksi biasanya dapat ditingkatkan kekuatannya dengan bahan tambahan seperti semen, kapur dan bentonite. Tanah seperti granular, pasir dan lanau dengan gradasi butiran baik dengan sedikit tambahan bahan seperti semen, kapur dan bentonite akan memiliki ikatan yang lebih baik antar butirnya sebelum dilakukan penambahan bahan tambahan. Pada semen dan kapur, tanah akan menjadi lebih keras jika dicampur dengannya, demikian juga dengan bentonite meskipun berbeda prinsipnya namun jika bahan ini dicampurkan pada tanah akan menghasilkan tanah yang lebih padat dan sedikit lebih keras, selain itu tanah akan bersifat lebih fleksibel dibandingkan dengan campuran semen dan kapur.

2.2 Semen

Semen yang digunakan untuk stabilisasi didapat dari berbagai jenis, tetapi yang biasa digunakan adalah semen Portland. Bila kekuatan tinggi yang diinginkan cepat tercapai atau jika terdapat bahan organik dalam tanah, semen dengan kekuatan awal tinggi telah dikembangkan untuk stabilisasi tanah. Tanah dengan kandungan sulfat tinggi memerlukan semen tahan sulfat tinggi untuk stabilisasinya. Apapun jenis semen yang digunakan, harus sesuai dengan standar normal jenis tersebut.

Semen Portland didefinisikan sebagai “suatu hasil produksi yang terdiri dari pemanasan hingga meleburnya campuran homogen bahan utama yang berisikan kapur (CaO) dan silikat (SiO2) dengan sejumlah kecil alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3)”, (SHERWOOD, 1993). Persyaratan komposisi kimia semen Portland dapat dilihat pada table 2.2 di bawah, sementara spesifikasi standar lengkap untuk semen Portland harus berpadanan dengan ASTM Designation C 150-92.

Tabel 2.1 Persyaratan Standar Komposisi Kimia Semen Portland. ***(Sumber: ASTM Standard On Stabilization With Admixture, 1992)***

Jenis Semen Portland	I dan IA	II dan IIA	III dan IIIA	IV	V
Silicon dioxide (SiO_2), min, %	…	20,2	…	…	…
Aluminium Oxide (Fe_2O_3), max, %	…	6,0	…	…	…
Ferric Oxide (Fe_2O_3), max, %	…	6,0	…	6,5	…
Magnesium Oxide (MgO), max, %	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Sulfur trioxide (SO_3), max, %					
When (C_3A) is 8% less	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
When (C_3A) is more than 8%	3,5	NA	4,5	NA	NA
Los in ignation, max, %	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Insoluble risidue, max, %	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Tricalcium silicate (C_3S), max, %	…	…	…	35	…
Dicalcium silicate	…	…	…	40	…
Trcalcium aluminate (C_3A), max, %	…	8	15	7	5
Tetracalcium aluminoferrite tambah dua kali tricalcium aluminate ($C_4AF+2(C_3A)$ atau solid solution (C_4AF+C_2F), as applicable, max, %	…	…	…	…	25

Catatan: NA = Tidak bisa diterapkan (Not Applicable)

Distribusi ukuran butiran semen Portland adalah antara 0,5 dan 100 mikron, dengan rata-rata 20 mikron, untuk butiran yang lebih besar dari di atas tidak pernah berhidrasi lengkap.

10 mikron mungkin memerlukan tiga bulan untuk selesai berhidrasi, oleh sebab itu semen halus cenderung lebih menguntungkan. Kekuatan lebih tinggi dari campuran tanah-semen terbentuk dari adanya campuran semen halus, sebagai contoh semen lebih halus dari saringan BS No.300 akan memberikan 40 persen kenaikan kekuatan. Tetapi semen seperti ini akan sangat mahal jika diproduksi dan sukar untuk memperolehnya (INGLES & METCALF, 1972).

2.3 Bentonite

Natrium bentonite (Na-bentonite) adalah bahan galian yang cukup sering digunakan untuk kebutuhan baik pada sektor industri dan pertambangan. Bentonite adalah istilah dari lempung *montmorillonite* yang dikenal dalam dunia perdagangan dan termasuk kelompok dioktahedral. Bentonite berdasarkan kandungan alumunium silikat hydrous dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu activated clay dan fuller's earth. Activated clay adalah lempung yang kurang memiliki daya pemucat, sedangkan fuller's earth dipergunakan dalam pulling atau pembersih bahan wool atau lemak.

Berdasarkan unsur kimia yang terdapat di dalamnya bentonite dibagi menjadi dua jenis yaitu:

a. Tipe Wyoming (Na-bentonite)

   Jenis bentonite tipe Wyoming (Wyoming bentonite) mempunyai kemampuan mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air dan tetap terdispersi beberapa waktu di dalam air. Penggunaan utama dari jenis ini adalah sebagai lumpur pembilas pada kegiatan pemboran, pembuatan pellet,

biji besi, penyumbat kebocoran bendungan dan kolam. Na-bentonite dalam keadaan kering berwarna putih atau cream.

b. Mg, Ca-bentonite (Sub-bentonite=Meta bentonite)

Tipe bentonite ini kurang mengembang apabila dicelupkan ke dalam air, akan tetapi secara alamiah ataupun setelah diaktifkan dengan asam, mempunyai sifat menghisap yang baik, tetap terdispersi di dalam air, perbandingan kandungan Na dan Ca rendah, suspensinya mempunyai pH 4-7.

Di pasaran, Na-bentonite alam dikenal sebagai bentonite Wyoming dan bentonite sintesis disebut brekbond 2 (Inggris) dan berkonit (Italia). Sedangkan Ca-bentonite juga dikenal dengan produk seperti, NKH, Tonsil, Galleon dan lain-lain. Na-bentonite dipakai untuk bahan perekat, pengisi (filler), dan Lumpur bor. Berdasarkan sifat-sifat yang dimilikinya, bentonite memiliki unsur kimia seperti tabel di bawah ini:

Tabel 2.2 Unsur Kimia Dalam Bentonite *(Sumber: Survey PPTM, 1993)*

Unsur	Industri Minyak Nabati (%)	Industri Mesin (%)
SiO_2	37,88 – 64,43	54,50 – 68,10
Al_2O_3	13,24 – 19,68	4,60 – 18,83
Fe_2O_3	3,23 – 7,03	1,09 – 3,20
TiO_2	0,07 – 0,70	-
CaO	2,14 – 15,40	0,40 – 2,24
MgO	1,68 – 2,21	2,64 – 5,40
K_2O	0,48 – 1,58	0,02 – 0,61
Na_2O_3	0,12 – 0,53	0,04 – 1,81
H_2O	-	4,99 – 8,00
L.O.I	12,46 – 21,76	12,46 – 21,76
pH	-	3,20
Blea. Power	25,38 – 38,11	-

Bentonite biasanya ada yang berbentuk butiran/serbuk dengan ukuran 200 – 300 mesh, berwarna putih kekuning-kuningan atau juga ada yang berwarna kecoklatan, tidak berbau dan kadar airnya berkisar 15%.

Berdasarkan keterangan di atas bentonite dapat dibedakan berdasarkan jenis pemakaiannya. Beberapa jenis bentonite yang sering digunakan di lapangan diantaranya yaitu, bentonite untuk drilling, bleaching dan moulding. Jenis-jenis bentonite tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda tergantung untuk apa bentonite tersebut digunakan. Sebagai contoh bentonite drilling, bentonite tersebut digunakan untuk pekerjaan pengeboran biasanya digunakan untuk proyek-proyek pertambangan. Bentonite bleaching, bentonite jenis ini digunakan sebagai media penjernih seperti pada proses pencucian minyak kelapa atau sawit sehingga menghasilkan minyak yang lebih jernih, sedangkan jenis yang terakhir dari bentonite adalah untuk moulding digunakan untuk bahan pembuatan cetakan-cetakan. Namun demikian dari fungsi-fungsi di atas bentonite-bentonite itu sendiri pada dasarnya memiliki sifat-sifat yang sama. Sifat-sifat tersebut adalah sebagai berikut yaitu, memiliki struktur jaringan kristal yang unik dan memiliki kandungan kimia yang mempunyai sifat mengikat, merekat, melumasi, mengentalkan dan menyerap cairan.

Sehingga dengan sifat-sifat tersebut di atas (mengikat, merekat dan menyerap) bentonite memungkinkan untuk dapat digunakan sebagai bahan tambahan alternatif untuk meningkatkan kekuatan tanah (stabilitas tanah) disamping sebagai bahan yang digunakan pada pekerjaan pengeboran, pencucian dan pembuatan cetakan. Di dalam penelitian stabilisasi tanah bentonite yang digunakan adalah bentonite untuk pekerjaan drilling (pengeboran).

2.4 Air

Air merupakan media untuk memfasilitasi terjadinya ikatan antara tanah-semen dan tanah-bentonite.

Air yang digunakan harus bersih dan tidak mengandung asam, alkali, bahan organic, minyak, sulfat dan klorida. Air diperlukan untuk hidrasi, memperbaiki, memudahkan dalam pengerjaan dan unsur untuk meningkatkan kepadatan. (METCALF, 1977).

Sesuai SNI 03-3438-1994, persyaratan air untuk stabilisasi dengan semen adalah seperti dijelaskan dalam tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Persyaratan Air Untuk Stabilisasi Dengan Semen dan Bentonite. ***(Sumber: SNI 03-3438-1994)***

No.	Jenis Pengujian	Nilai Yang Diizinkan	Metode Pengujian
1	pH	4,5 – 8,5	SNI M03-1990-F
2	Bahan Organik	Maks. 2000 ppm	AASHTO T26-79
3	Minyak	<2% of cement	SNI M68-1990-03
4	Sulfat, Na_2SO_4	< 10000 ppm	SNI 06-2426-1991
5	Khlorida, NaCl	< 20000 ppm	SNI 06-2431-1991

2.5 Interaksi Dan Sifat-sifat Campuran Tanah-Semen

Ketika semen ditambahkan pada tanah reaktif yang sesuai akan menimbulkan dua proses reaksi terjadi, yaitu: reaksi primer dan sekunder. Proses reaksi “primer” terdiri dari hidrolis dan hidrasi semen yang oleh karenanya butiran semen membentuk jaringan-jaringan yang kuat untuk mengikat butiran mineral yang berdekatan dan butiran tanah. Reaksi “sekunder” terdiri dari reaksi antara butiran tanah dan kalsium hidroksida yang dibebaskan selama hidrasi semen (KREBS & WALKER, 1971).

Umumnya ada dua istilah yang muncul dalam stabilisasi tanah, yaitu, modifikasi dan sementasi. Modifikasi meliputi penambahan sejumlah kandungan semen (sekitar 0,5% sampai 3% dari berat tanah) untuk mengurangi plastisitas, mengendalikan pengembangan, memperbaiki sifat kekuatan tanpa peningkatan kekerasan yang berlebihan. Dalam keadaan ini tingkat sementasi yang terjadi sangat kecil, sekalipun demikian sifat bahannya telah diperbaiki dengan metoda ini. Bila kuat tekan atau tarik tanah-semen mengalami peningkatan yang berarti, maka bahan tersebut dapat dikatakan sebagai bahan yang tersementasi. Tidak ada batasan yang jelas antara modifikasi campuran dengan tingkat sementasi, tetapi NAASRA 1986 mengusulkan bahwa nilai 7 hari kuat tekan bebas yaitu 0,8 N/mm^2 ($\approx$ 8,15 kg/cm^2) dapat menjadi batasan antara keduanya (SHERWOOD, 1993).

Ketika semen digunakan pada tanah granular, sementasi yang terjadi menyerupai proses dalam pembuatan beton, namun perbedaannya pada pembuatan beton pasta semen mengisi semua rongga-rongga sedangkan pada tanah granular sementasi terjadi hanya pada titik-titik kontak antar butiran saja. Oleh karenanya, perolehan kekuatan tidak hanya tergantung pada jumlah semen yang digunakan, tetapi juga karena jumlah media kontak yang terjadi antar butiran. Semakin kecil angka pori, semakin besar sementasi. Juga semakin padat gradasi bahan granular akan memerlukan sedikit semen dan mungkin lebih efektif distabilisasi daripada bahan yang bergradasi seragam.

Jumlah semen yang diperlukan akan lebih besar pada tanah berbutir halus dari pada tanah granular, karena permukaan butiran yang diliputi lebih luas untuk terjadinya sementasi pada titik kontak.

Pengaruh utama reaksi antara tanah dan semen adalah:

a. Kenaikan pada kekuatan dan kapasitas bearing tanah.
b. Menurunnya swell pada tanah lempung tetapi kecenderungan menyusut naik pada tanah granular.
c. Perbaikan pada ketahanan terhadap lalu-lintas dan cuaca buruk.
d. Menurunya permeabilitas.

Oleh karena itu terdapat perubahan yang berarti pada sifat-sifat teknik tanah. Pada umumnya, kekuatan akan naik secara linier bersamaan dengan pertambahan jumlah semen, tetapi dengan nilai yang berbeda untuk jenis tanah yang berbeda seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.1.

Sifat-sifat campuran tanah-semen dipengaruhi utamanya oleh beberapa faktor seperti dicatat oleh KEZDI (1979) sebagai berikut:

a. Kualitas dan persentase tanah, semen dan air per unit volume
b. Kondisi-kondisi yang mempengaruhi hidrasi semen (temperature, kadar air dan sebagainya)
c. Umur campuran
d. Teknik dan tingkat pemadatan

2.6 Interaksi Dan Sifat-sifat Campuran Tanah-Bentonite

Dengan dicampurkannya bentonite dengan tanah akan menghasilkan suatu reaksi berupa pengikatan air dalam tanah dan proses pelekatan antar butiran oleh bentonite. Proses di atas mirip dengan proses pencampuran tanah-semen, dimana pada campuran tanah-semen akan menghasilkan pengikatan air dengan proses hidrasinya dan pengikatan butiran dengan proses sementasinya. Namun demikian

proses yang terjadi tetap berbeda antara campuran tanah-semen dengan tanah-bentonite, yaitu air yang diserap oleh semen dari tanah akan menjadi hilang karena terjadinya proses hidrasi sedangkan pada campuran tanah bentonite air tetap ada dan disimpan oleh bentonite itu sendiri. Dengan proses tersebut diharapkan bentonite mampu menyeimbangkan kadar air dalam tanah ketika terjadi peningkatan air pada tanah karena curah hujan, naiknya muka air tanah atau sistem drainase yang jelek pada drainase jalan. Demikian juga campuran ini diharapkan lebih fleksibel dibandingkan dengan campuran tanah-semen didalam memikul beban-beban yang bekerja di atasnya.

Oleh karena itu pengaruh pencampuran antara tanah dan bentonite diharapkan akan menghasilkan:

a. Kenaikan pada kekuatan dan kapasitas bearing tanah.
b. Menstabilkan tingkat swelling pada tanah lempung dan pada tanah granular.
c. Perbaikan pada ketahanan terhadap lalu-lintas dan cuaca buruk.
d. Melindungi pondasi jalan terhadap infiltrasi air/meningkatkan impermeabilitas tanah.

Sifat-sifat campuran tanah-bentonite utamanya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berikut:

a. Jenis tanah yang digunakan untuk campuran
b. Kualitas dan persentase tanah, semen dan air per unit volume
c. Kondisi-kondisi yang mempengaruhi proses pengikatan bentonite dan tanah (temperature, kadar air dan sebagainya)
d. Umur campuran
e. Teknik dan tingkat pemadatan

2.7 Spesifikasi Standard untuk Lapis Pondasi Bawah dan Lapis Pondasi Atas Jalan.

Untuk memperkirakan kesesuaian campuran tanah-semen yang akan digunakan untuk lapis pondasi bawah dan lapis pondasi atas jalan mengacu pada spesifikasi Standar Bina Marga dan SNI. Sumber-sumber lain mengenai stabilitas tanah dengan bahan campuran seperti INGLES-METCALF (1972) dan OVERSEAS ROAD NOTE 31 (1993) perlu juga dipertimbangkan. Spesifikasi standard dan kriteria yang disebutkan di atas dapat dilihat dalam Tabel 2.4, 2.5 dan 2.6.

Tabel 2.4 Spesifikasi Standar Untuk Sifat-sifat Lapis Pondasi Bawah dan Lapis Pondasi Atas Jalan. (*Sumber: SNI 03-3438-1994 dan Direktorat Bina Marga, 1992)*

Sifat-sifat	LPB	LPA
Uji UCS pada 7 hari pemeraman (campuran tanah-semen)	Min. 600 kPa ≈ 6 kg/cm^2	Min. 2200 kPa ≈ 22 kg/cm^2
CBR Laboratorium, 3 hari di peram, 4 hari direndam (campuran tanah-semen)	Min. 20%	Min. 80%
Kehilangan Berat Pada Uji Wet/Dry (campuran tanah-semen)	Maks. 7%	Maks. 7%
Perubahan Volume Pada Uji Wet/Dry (campuran tanah-semen)	Maks. 2%	Maks. 2%
Batas Cair, LL	-	Maks 25%
Indeks Plastisitas, PI	Maks. 10%	Maks. 6%
Kehilangan Berat Pada Uji Abrasi Los Angeles.	Maks. 50%	Maks. 40%

Tabel 2.5 Kriteria Untuk Tanah-Semen (*Sumber: INGLES-METCALF, 1972*)

Tujuan	UCS$^{(1)}$ (kg/cm^2)	CBR$^{(2)}$ (%)	Kehilangan Berat Uji Wet/Dry (%)	Swell (%)
LPB, formasi urugan belakang untuk tanggul, dsb.	3,5-10,5	20-80	7	2
LPB, LPA untuk lalu lintas ringan	7-14	50-50	10	2
LPA untuk lalu lintas berat	14-56	200-600	14	2

Catatan: (1) UCS 7 hari pemeraman pada kadar air konstan
(2) CBR rendaman 4 hari

Tabel 2.6 **Sifat-sifat Tanah yang Diinginkan Sebelum Stabilisasi.** ***(Sumber: OVERSEAS NOTE 31, 1993)***

Saringan BS	Persentase Berat Yang Melewati Saringan Dari Total Agregat		
(mm)	CB1	CB2	CS
53	100	100	-
37,5	85 – 100	80 – 100	-
20	60 – 90	55 – 90	-
5	30 – 65	25 – 65	-
2	20 – 50	15 – 50	-
0,425	10 – 30	10 – 30	-
0,075	5 - 15	5 – 15	-
Nilai Maksimum yang Diizinkan			
LL	25	30	-
PI	6	10	20
LS	3	5	-

Catatan: CB1 = LPA yang distabilisasi LL = Batas Cair
CB2 = LPA yang distabilisasi PI = Indeks Plastisitas
CS = LPB yang distabilisasi LS = Susut Linier

Overseas Road Note 31 (1993) merekomendasikan bahwa jika memungkinkan, mutu bahan yang akan distabilisasi dapat memenuhi standar minimum yang ditetapkan pada Tabel 2.6. Lapisan jalan yang stabil yang dibangun dari bahan-bahan tersebut cenderung memperlihatkan kinerja memuaskan sekalipun dipengaruhi oleh proses karbonasi selama masa layanannya. Bahan-bahan yang tidak memenuhi Tabel 2.6 kadang-kadang dapat distabilisasi tetapi akan memerlukan lebih banyak aditif dan biaya serta resiko retak dan karbonasi meningkat (OVERSEAS RN 31, 1993).

Nilai minimum 5 untuk koefisien keseragaman (C_U) direkomendasikan oleh OVERSEAS RN 31 (1993). Koefisien keseragaman (C_U) didefinisikan sebagai ratio jumlah yang lolos saringan No.60 dengan jumlah yang lolos saringan No.10 (D_{60}/D_{10}).

Jika koefisien keseragaman terletak di bawah nilai ini, maka biaya stabilisasi akan tinggi dan pemeliharaan terhadap retak pada jalan dapat menjadi mahal.