

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan dan pekerjaan jalan. Jadi seorang ahli teknik sipil harus juga mempelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (compressibility), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain. Ilmu mekanika tanah (soil mechanics) adalah cabang dari ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat-sifat fisik dari tanah dan kerja massa tanah tersebut bila menerima bermacam-macam gaya. Ilmu rekayasa tanah (soil engineering) merupakan aplikasi dari prinsip-prinsip mekanika tanah dalam problema-problema praktisnya (Brajis M. Das, "Mekanika Tanah Jilid 1")

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang terbentuk dari pelapukan batuan dan bahan organik, yang memiliki sifat fisik, mekanis, dan kimia tertentu. Dalam teknik sipil, tanah dipandang sebagai material

konstruksi yang berfungsi sebagai tanah dasar (subgrade) maupun sebagai bahan untuk timbunan pada pondasi.

Beberapa sifat penting tanah dalam teknik jalan adalah:

Kadar air (moisture content) : memengaruhi kekuatan dan kepadatan tanah.

Berat isi (density): menentukan kemampuan tanah menahan beban.

Batas Atterberg (Atterberg limits): menunjukkan sifat plastisitas tanah.

Daya dukung (CBR – California Bearing Ratio): parameter penting untuk menentukan ketebalan perkerasan jalan.

Menurut Bowles (1991), klasifikasi tanah dalam bidang teknik sipil umumnya menggunakan USCS (Unified Soil Classification System) atau AASHTO Classification System, untuk mengetahui jenis tanah dan kelayakannya sebagai material konstruksi.

Tanah kapur adalah hasil campuran tanah dengan kapur (CaO atau Ca(OH)_2) yang berfungsi sebagai stabilisator. Penggunaan kapur sebagai bahan tambahan bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang kurang baik, terutama tanah liat yang plastis. Manfaat stabilisasi tanah dengan kapur antara lain:

1. Menurunkan plastisitas tanah → tanah menjadi lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk akibat kadar air.
2. Meningkatkan kekuatan geser tanah → struktur tanah lebih stabil.
3. Memperbaiki daya dukung (CBR meningkat) → cocok sebagai lapisan pondasi jalan.

4. Mengurangi kembang-susut tanah → stabil terhadap perubahan kadar air.

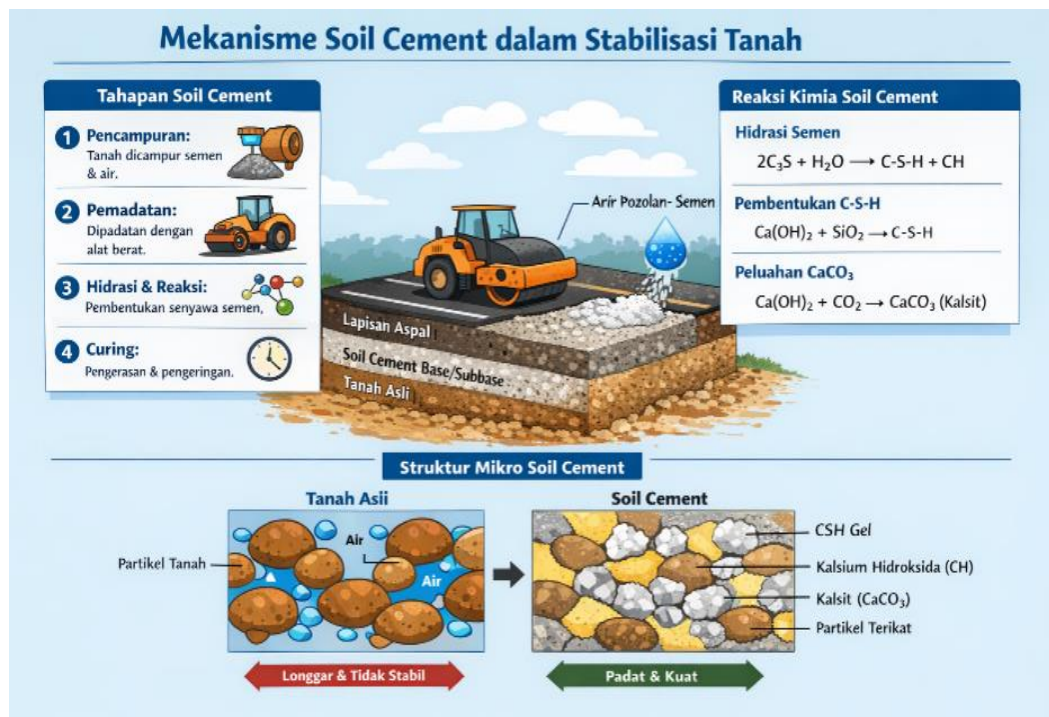
Menurut Sherwood (1993), reaksi kapur dengan tanah terjadi dalam dua tahap:

1. Reaksi awal (ion exchange & flocculation): kapur bereaksi dengan mineral tanah, mengurangi plastisitas.
2. Reaksi jangka panjang (pozzolanic reaction): kapur bereaksi dengan Silika dan alumina dalam tanah, menghasilkan senyawa semen alami (CSH dan CAH) yang meningkatkan kekuatan.

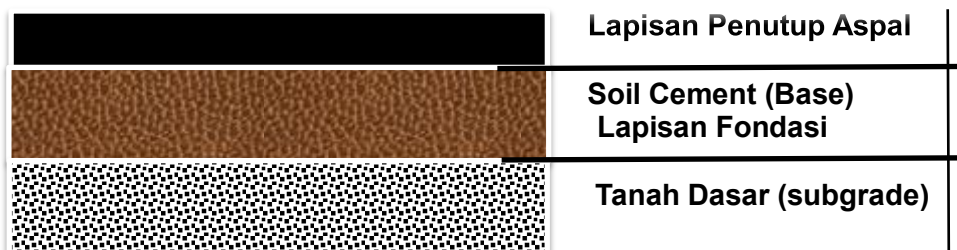
Menurut Hardiyatmo (2012), sifat tanah yang perlu diperhatikan dalam pekerjaan jalan adalah kadar air, kepadatan maksimum, plastisitas, Serta kuat dukung yang umumnya dinyatakan melalui nilai California Bearing Ratio (CBR).

Tanah yang kurang memenuhi persyaratan teknis dapat diperbaiki melalui metode stabilisasi, salah satunya stabilisasi menggunakan semen.

2.2 Struktur Lapisan Perkerasan Jalan



Gambar 2.1 Mekanisme Stabilisasi Tanah Dengan Semen



Gambar 2.2 Struktur Lapisan Jalan dan Fungsinya

2.2.1 Tanah Dasar (Subgrade)

Merupakan lapisan tanah asli atau tanah galian yang telah dipadatkan, harus disiapkan dan dipadatkan sesuai spesifikasi sebelum pemasangan lapis-lapis di atasnya. Jika kualitas tanah dasar buruk, perlu

stabilisasi tanah (soil stabilization) yang juga diatur di spesifikasi. Setelah pemadatan, harus diperiksa bahwa permukaan formasi sesuai dengan elevasi dan kemiringan rancangan.

Perkerasan jalan merupakan konstruksi yang berfungsi menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (subgrade) agar tidak terjadi kerusakan.

Adapun fungsi lapisan tanah dasar adalah sebagai berikut :

1. Menjadi fondasi alami dari seluruh lapisan perkerasan di atasnya.
2. Menyediakan daya dukung terhadap beban lalu lintas.
3. Menentukan ketebalan lapisan perkerasan yang diperlukan (jika tanah dasar lemah → perlu perkuatan tambahan).

2.2.2 Lapisan Pondasi (Base) Soil Cement

Perkerasan **soil-cement** adalah lapisan perkerasan jalan yang dibuat dari campuran tanah setempat, semen Portland, dan air dengan proporsi tertentu, kemudian dipadatkan dan diperam (curing) hingga terjadi reaksi hidrasi semen yang meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan daya tahan lapisan.

Lapis pondasi **soil-cement** adalah lapisan perkerasan jalan yang dibentuk dari tanah lokal (tanah kapur), semen Portland, air pada kadar optimum, yang kemudian dicampur, dipadatkan, dan dirawat (curing) sehingga menjadi lapisan yang stabil, padat, dan memiliki kekuatan tinggi. Lapisan ini umumnya digunakan sebagai lapis pondasi atas (base course) atau lapis pondasi bawah (subbase), dan pada kondisi tertentu sebagai tanah dasar yang diperbaiki.

Menurut pedoman umum perkerasan jalan (termasuk Bina Marga dan AASHTO), soil cement adalah campuran tanah lokal, semen portland, dan air yang dipadatkan sehingga membentuk lapisan dasar (base) atau lapisan fondasi (subbase) yang kaku dan kuat.

Secara umum lapis pondasi dari soil semen memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Menyebarkan beban dari lapisan pondasi atas ke tanah dasar.
2. Menjadi lapisan peresapan air agar tidak langsung ke tanah dasar.
3. Memberikan stabilitas tambahan agar tanah dasar tidak mudah rusak akibat beban lalu lintas.
4. Mengurangi plastisitas tanah kapur dan meningkatkan kekuatan tekan serta nilai CBR.

2.2.3 Metode Pelaksanaan Di Lapangan

1. Metode In-Place Mixing (Pencampuran di Tempat)

Pengertian Metode In-Place Mixing adalah metode pelaksanaan soil–cement dengan mencampur tanah asli di lokasi langsung dengan semen dan air, tanpa memindahkan material ke pabrik pencampur.

1.1 Tahapan Pelaksanaan Teknis :

- a. Persiapan Lokasi, Pembersihan: pengukuran elevasi, dan penentuan tebal lapisan.
- b. Penggemburan Tanah (Scarifying) : tanah digemburkan hingga kedalaman rencana ($\pm 15\text{--}30$ cm).
- c. Penaburan Semen : semen ditabur merata sesuai kadar rencana (%)

berat kering tanah).

- d. Pencampuran Kering : tanah dan semen dicampur hingga warna seragam.
- e. Penambahan Air : Air disemprotkan bertahap sampai OMC tercapai.
- f. Pencampuran Basah: campuran diaduk ulang hingga homogen.
- g. Pembentukan & Perataan : Campuran diratakan sesuai tebal dan profil rencana.
- h. Pemadatan : dipadatkan segera ($\geq 95\%$ γ_d maks).
- i. Perawatan (Curing) : Dijaga lembab minimal 7 hari.

1.2 Karakteristik Teknis

- a. menggunakan alat: grader, reclaimer, roller
- b. sangat tergantung kondisi cuaca
- c. kontrol mutu dilakukan langsung di lapangan

1.3 Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan : ekonomis, cepat, tidak perlu batching plan

Kekurangan : homogenitas campuran lebih sulit dikontrol, risiko kehilangan semen (debu/angin),

2. Metode Plant Mixing (Pencampuran di Pabrik)

Pengertian Metode Plant Mixing adalah metode pelaksanaan soil-cement dengan mencampur tanah, semen, dan air di batching plant atau pugmill, kemudian diangkut ke lokasi untuk dipadatkan.

2.1 Tahapan Pelaksanaan Teknis

- a. Persiapan Material : tanah digali, disaring bila perlu, dan dibawa ke

plant.

- b. Penimbangan Material : tanah, semen, dan air ditimbang sesuai komposisi rencana.
- c. Pencampuran di Plant : material dicampur hingga homogen di mixer/pugmill.
- d. Pengangkutan ke Lokasi : campuran diangkut menggunakan dump truck.
- e. Penghamparan : campuran dihampar sesuai tebal rencana.
- f. Pemadatan : dipadatkan segera sebelum ikatan awal semen.
- g. Perawatan (Curing) : dilakukan seperti pada metode in-place.

2.2 Karakteristik Teknis

- a. Kontrol mutu lebih ketat
- b. Waktu pengangkutan harus dibatasi
- c. Cocok untuk proyek besar

2.3 Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan : homogenitas tinggi, kualitas lebih konsisten, kontrol kadar semen & air lebih akurat

Kekurangan : biaya lebih tinggi, membutuhkan plant & logistik, Risiko setting awal saat pengangkutan,

3. Perbandingan Teknis Singkat

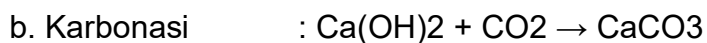
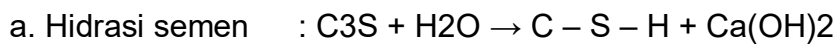
Tabel 2.3 Perbandingan Metode In-Place Mixing Metode Plant Mixing

Aspek	In-Place Mixing	Plant Mixing
Lokasi pencampuran	Di lapangan	Di batching plant
Homogenitas	Sedang	Tinggi
Kontrol mutu	Lapangan	Plant + lapangan
Biaya	Lebih murah	Lebih mahal
Skala proyek	Kecil–menengah	Menengah–besar

4. Mekanisme Teknis Penguatan Soil Cement Tanah Kapur

Pada tanah kapur, ikatan semen lebih efektif karena kandungan CaCO_3 tinggi.

Reaksi utama:



Hasilnya : pori tanah terisi, matriks menjadi kaku seperti beton tanah

2.2.4 LAPISAN PERMUKAAN (SURFACE / LAPISAN AUS)

Lapis aus adalah lapisan perkerasan beraspal paling atas yang langsung menerima beban lalu lintas dan kontak dengan cuaca (air hujan, panas, oksidasi). (Divisi 6 – Pekerjaan Perkerasan Beraspal, Spesifikasi Bina Marga 2018 Rev.2) Umumnya berupa campuran beraspal panas (Hot Mix Asphalt).

Fungsi dari lapisan permukaan jalan adalah :

1. Sebagai lapisan aus/penutup yang melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat air dan beban lalu lintas.
2. Memberikan permukaan rata, halus, dan nyaman untuk kendaraan.
3. Memberikan daya lekat dan gesekan (skid resistance) agar kendaraan tidak mudah tergelincir.
4. Menahan kedap air sehingga air tidak meresap ke lapisan pondasi.

Beberapa tipe lapisan aus yang diatur antara lain :

1. Laston (Lapis Aspal Beton) – AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) → paling umum digunakan.
2. HRS-WC (Hot Rolled Sheet – Wearing Course) → alternatif campuran beraspal dengan tekstur lebih kasar.
3. Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton) → untuk lalu lintas ringan atau pekerjaan overlay tipis.

Bahan / Material :

1. Aspa I: menggunakan Aspal keras penetrasi 60/70 atau aspal modifikasi (jika disyaratkan).
2. Agregat: batu pecah keras, awet, dengan gradasi sesuai tabel spesifikasi.
3. Filler : semen Portland, abu batu, atau bahan mineral halus lainnya.
4. Campuran dirancang dengan metode Marshall atau Superpave agar memenuhi stabilitas, kelelehan, dan durabilitas.

2.3. SISTEM KLASIFIKASI TANAH

2.3.1 Metode USCS

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara mudah sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar system klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir dan plastisitas.

Pada Sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan no. 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan no. 200. Tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang. Simbol-simbol yang digunakan dalam Sistem *Unified* adalah sebagai berikut.

G = Kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic sily or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly-graded*)

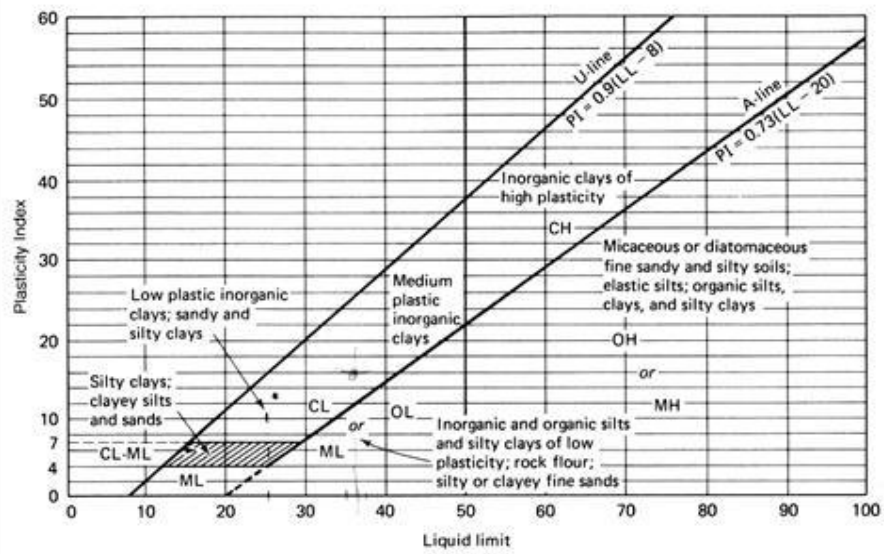
H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Saat ini sistem *USCS* banyak dipakai oleh para ahli Rekayasa Teknik Sipil. Sistem *Unified* membagi tanah dalam 2 kelompok, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. (Arthur Casagrande pada tahun 1940-an)

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained – soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total, contoh tanah lolos saringan no. 200. Simbol kelompok ini adalah G (untuk tanah berkerikil), dan S (untuk tanah berpasir). Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan P (untuk tanah bergradasi buruk).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained – soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan no. 200. Simbol kelompok ini adalah C (untuk tanah berlempung anorganik), M (untuk tanah berlanau anorganik), dan O (untuk lanau atau lempung organik). Selain itu plastisitas dinyatakan dengan simbol H (plastisitas tinggi) dan L (plastisitas rendah).

Untuk dapat mengklasifikasikan tanah berbutir halus yang lebih spesifik, maka grafik plastisitas dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Grafik Klasifikasi Tanah Metode USCS

Tabel 2.5 Sistem Klasifikasi Tanah Metode USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis			
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran terahan saringan no. 200 (0,075 mm)	kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil Gradasi baik dan campuran pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} > 4, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
			GP	Kerikil Gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI \leq 4$	bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
	pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
			SP	Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW		
		Pasir dengan butiran halus	SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI \leq 4$	bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		

klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, Aung dari 5% lolos saringan no. 200 :
GW, GP, SW, SP lebih dari 12% lolos saringan no. 200, GM, GC, SM, SC, 5%-12% lolos saringan no. 200, batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, GP, SW, SP, lebih dari 12% lolos saringan no. 200 GM, GC, SM, SC, 5%-12% lolos saringan no. 200, batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

tanah berbutir halus > 50% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.	
		CH	lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fatclays')	
		OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

2.3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah ini dikembangkan dalam tahun 1929 oleh Public Road Administration Classification System. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan: versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and

Granular Type Road of the Highway Research Board dalam tahun 1945 (ASTM Standart no D-3282, AASHTO metode M145)

Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar. yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dibawah ini :

1. Ukuran Butiran Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm), Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan no.10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).
2. Plastisitas Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [plasticity index, PI] sebesar 10 atau kurang.

Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan didalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Untuk mengevaluasi mutu (quality) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (subgrade) dari suatu jalan, suatu angka yang dinamakan indeks grup (group indeks, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti dibawah ini :

$$GI = \underbrace{(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]}_{\text{Suku Pertama}} + \underbrace{0,01 (F - 15) (PI - 10)}_{\text{Suku Kedua}} \dots \dots (\text{pers.2.1})$$

dimana : F = Persentase butiran yang lolos ayakan No.200

LL = Batas cair (liquid limit)

PI = Indeks plastisitas

Suku pertama persamaan 2.1 adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup :

1. Apabila Persamaan 2.1 menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
2. Indeks grup yang dihitung menggunakan persamaan 2.1 dibulatkan ke angka yang paling dekat
3. Tidak ada batas untuk indeks grup
4. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.

5. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan.

Tabel 2.6 Klasifikasi AASHTO (Fokus Analisa Saringan)

Kelompok Tanah	Lolos No.10 (%)	Lolos No.40 (%)	Lolos No.200 (%)	Karakter Umum Tanah	Kualitas Tanah Dasar
A-1-a	≤ 50	≤ 30	≤ 15	Kerikil–pasir kasar	Sangat baik
A-1-b	≤ 50	≤ 50	≤ 25	Pasir kasar	Sangat baik
A-3	≥ 50	≥ 50	≤ 10	Pasir halus	Baik
A-2-4	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlanau	Baik–sedang
A-2-5	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlanau plastis	Baik–sedang
A-2-6	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlempung	Sedang
A-2-7	≤ 50	≤ 50	≤ 35	Pasir berlempung plastis	Sedang
A-4	> 50	> 50	≤ 35	Lanau	Buruk
A-5	> 50	> 50	≤ 35	Lanau plastis	Buruk
A-6	> 50	> 50	> 35	Lempung	Buruk
A-7-5	> 50	> 50	> 35	Lempung plastis sedang	Sangat buruk
A-7-6	> 50	> 50	> 35	Lempung plastis tinggi	Sangat buruk

2.3.3 Menurut Bina Marga Pengertian Soil Cement

Soil cement atau stabilisasi tanah semen adalah suatu metode perbaikan material tanah dengan menambahkan sejumlah semen dan air, kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan lapisan yang kuat dan stabil untuk konstruksi jalan, Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 5, soil cement digunakan sebagai :

1. Lapis Pondasi Jalan (Base/Subbase Stabilized)
2. Material perbaikan tanah dasar (subgrade improvement)

Tanah kapur yang distabilisasi semen berfungsi sebagai material pondasi alternatif terutama di daerah yang memiliki keterbatasan agregat batuan.

2.3.4 Persyaratan Material Tanah Kapur untuk Soil Cement

Dalam Seksi 5.4 Stabilisasi Tanah, tanah yang dapat digunakan harus memenuhi syarat teknis tertentu.

1 Plastisitas Tanah

Tanah untuk soil cement sebaiknya bersifat:

1. Non plastis (NP) atau plastisitas rendah
2. Indeks Plastisitas (PI) umumnya $\leq 10\%$

Tanah plastis tinggi tidak disarankan karena dapat menghambat proses hidrasi semen dan menurunkan kekuatan lapisan.

2 Gradasi Tanah

Tanah yang baik untuk campuran soil cement adalah tanah granular halus dengan kadar lolos saringan No.200 tidak terlalu tinggi.

Material tanah kapur umumnya sesuai karena memiliki butiran halus lanauan dan mudah dipadatkan.

3 Ketentuan Kadar Semen Menurut BM 2018 Rev.2

Bina Marga menetapkan bahwa kadar semen untuk stabilisasi tanah semen harus berada pada rentang 3% – 8% dari berat tanah kering oven, penentuan kadar semen akhir dilakukan berdasarkan hasil uji laboratorium seperti Proctor dan UCS.

4 Persyaratan Kuat Tekan Bebas (UCS)

Parameter utama dalam soil cement adalah nilai kuat tekan

bebas (Unconfined Compressive Strength UCS). Syarat UCS menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR) tentang *stabilisasi tanah* (soil stabilization) khususnya lapis fondasi tanah-semen (*soil cement base*), nilai Unconfined Compressive Strength (UCS) yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

Nilai UCS (Kuat Tekan Bebas) untuk Soil Cement (Lapis Fondasi Tanah Semen):

1. **Minimum:** 20 kg/cm²
2. **Nilai target:** 24 kg/cm²
3. **Maksimum:** 35 kg/cm²

(UCS diukur setelah perawatan 7 hari berdasarkan SNI 03-6887-2002)

Dengan kata lain, campuran tanah yang distabilisasi dengan semen harus menghasilkan **kekuatan tekan bebas ≥ 20 kg/cm²** setelah 7 hari perawatan untuk dapat diterima sebagai soil cement menurut Bina Marga. Nilai target yang dianjurkan umumnya **± 24 kg/cm²** dengan batas maksimum **35 kg/cm²**, campuran soil cement harus menghasilkan UCS minimum **≥ 20 kg/cm² (≈ 2000 kPa atau 2 MPa) pada umur 7 hari** UCS digunakan untuk memastikan lapisan pondasi cukup kuat terhadap beban lalu lintas. Jika kadar semen rendah (misalnya 3%) tidak mencapai nilai tersebut, maka kadar semen harus ditingkatkan.

4.

5 Persyaratan Kepadatan Lapangan

Selain UCS, pemadatan lapangan wajib memenuhi ketentuan :

Kepadatan tanah semen harus mencapai $\geq 97\%$ dari **Kepadatan Kering Maksimum (MDD)** hasil uji Proctor, Kepadatan yang kurang dari nilai tersebut dapat menyebabkan lapisan tidak stabil dan mudah rusak.

2.3.5 Stabilisasi Tanah dengan Semen (PC)

Stabilisasi tanah dengan semen diartikan sebagai pencampuran antara tanah yang telah dihancurkan, semen dan air, yang kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan suatu material baru disebut tanah – semen yaitu pada kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan, pondasi bangunan dan jalan, aliran sungai dan lain-lain.

Semen portland atau *portland cement* atau semen hidraulis merupakan bahan ikat yang banyak dipergunakan dalam pembangunan fisik. Terdapat empat unsur penting yang terkandung dalam *portland Cement* yaitu Trikalsium Silikat (C_3S atau $3CaO \cdot SiO_2$), Dikalsium Silika (C_2S atau $2CaO \cdot SiO_2$), Trikalsium Aluminat (C_3A atau $3CaO \cdot Al_2O_3$) Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF atau $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) tahap proses kimia pada stabilisasi tanah menggunakan semen adalah sebagai berikut.

1. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion

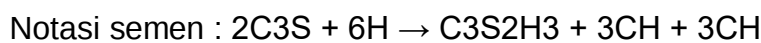
Bila *portland cement* ditambahkan pada tanah, ion kalsium dilepaskan melalui proses hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Ion positif seperti reaksi-reaksi kimia tersebut diatas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan ialah hidrasi dari trikalsium silikat ($3CaO \cdot SiO_2$) dan Dikalsium Silikat ($2CaO \cdot SiO_2$).

Dengan reaksi ini partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

2.3.6 Reaksi Kimia Hidrasi Utama

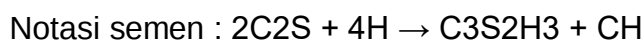
1. Hidrasi Trikalsium Silikat (C₃S)

Penyumbang utama **kekuatan awal** semen.



2. Hidrasi Dikalsium Silikat (C₂S)

Berlangsung lebih lambat, berperan pada **kekuatan jangka panjang**.



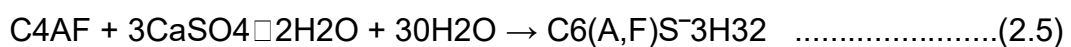
3. Hidrasi Trikalsium Aluminat (C₃A)

Reaksi sangat cepat dan dikendalikan oleh gipsum.



Produk utama: **Ettringite**

4. Hidrasi Tetrakalsium Aluminoferrit (C₄AF)



Reaksi anatar silika (Si) dan alumina (Al) halus yang terkandung dalam Tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, sehingga dapat bereaksi dengan kapur dan air.

Menurut Geomate Journal (2024) – Optimum Cement Content untuk Soil Cement Base Course

Fokus : Menentukan kadar semen optimum (3–10%) untuk tanah silty

sand.

Hasil utama :

1. Kadar semen optimum berada pada kisaran **8–10%**.
2. Nilai UCS meningkat seiring persen semen dan lama perendaman curing.

Kesimpulan : Soil cement dapat memenuhi spesifikasi lapis pondasi jalan jika semen optimum tercapai.

2.4 Pengujian Sifat-Sifat Fisik Tanah

Percobaan pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik yang dimiliki oleh tanah yang meliputi pengujian fisik dan mekanis tanah. Sifat sifat tanah tergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Distribusi butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Terdapat 2 cara untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

1. untuk tanah berbutir kasar digunakan pengujian analisa saringan
2. untuk tanah berbutir halus digunakan analisa hidrometer

2.4.1 Analisa Saringan

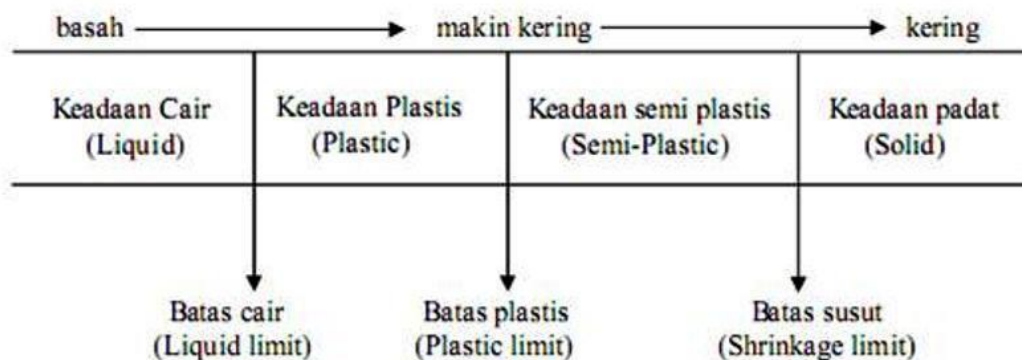
Untuk tanah berbutir kasar yang memiliki diameter butiran tanah yang lebih besar dari 0,075 mm atau yang tertahan saringan no. 200 dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Nomor-nomor saringan dan diameter lubang dari standar Amerika dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 2.7 Saringan Standar Amerika

Nomor Saringan	Diameter Lubang (mm)	Nomor Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,30
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2,00	100	0,15
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,60	270	0,053

2.4.2 Batas-Batas Atterberg

Seorang ahli tanah berkebangsaan Swedia, A. Atterberg yang bekerja dalam bidang keramik dan pertanian. Pada tahun 1911 Atterberg memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.2 (sumber L.D WEsley 1977)

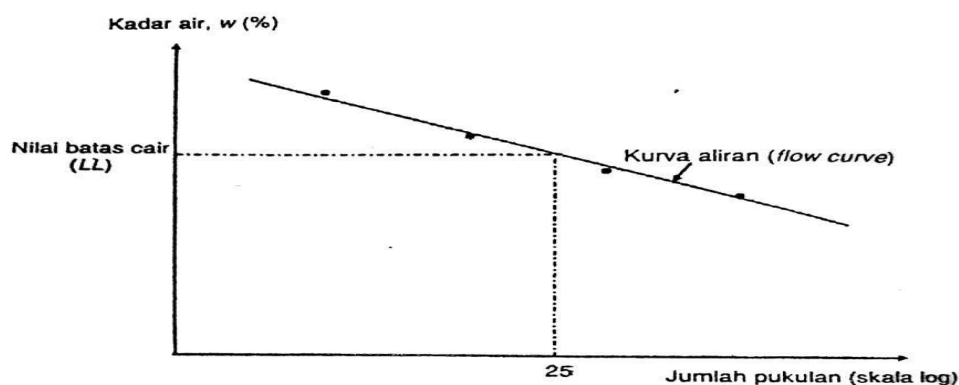


Gambar 2.8 Batas-Batas Atterberg

Batas-batas atterberg dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*LL*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande, yang dipisah selebar 3 mm dan menyatu kembali selebar 0,5 inchi pada pukulan ke 25. Percobaan ini dilakukan dengan sampel tanah yang berbeda dengan beberapa variasi kadar air.



Gambar 2.9 Kurva Penentuan Batas Cair Tanah Lempung

(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (*PL*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis dinyatakan dalam Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$PL = \frac{w_p - w_k}{w_p - w_k} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

W_r

Keterangan:

PL = batas plastis tanah (%)

W_p = berat tanah basah kondisi plastis (gr)

W_k = berat tanah kering (gr)

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan didalam oven. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$SL = \frac{w - \{ V - V_o \}}{W_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

SL = batas susut tanah

W = kadar air

W_o = berat tanah kering (gr)

V_o = volume tanah kering oven (m3)

V = volume tanah basah (m3)

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis

$$PI = LL - PL \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas cair

PL = Batas plastis

Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika *PI* rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg yang terdapat dalam Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 2.19 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

--	--	--	--

2.4.3 Pengujian Kepadatan Tanah (*Proctor Standar*)

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Maksud dari pemadatan tanah, antara lain:

1. mempertinggi kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat (*compresibilitas*),
3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

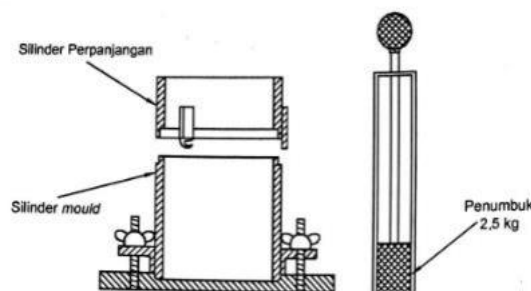
Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada 30 umunya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Hubungan berat volume kering (Y_d) dengan berat volume basah (Y) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.7 sebagai berikut :

$$Y_d = \frac{Y}{1 + (w)} \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

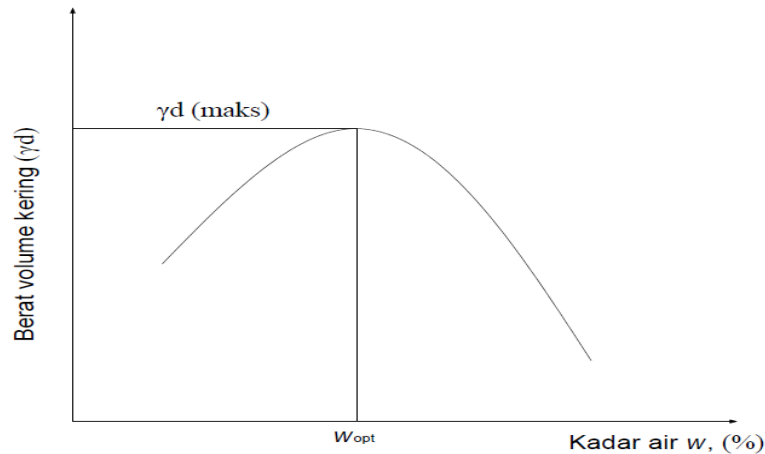
Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh lat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Prinsip pengujiannya diterangkan sebagai berikut.

Alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4}$. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1ft). Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Pada uji proctor dimodifikasi (*modified proctor*), *mould* yang digunakan masih tetap sama, hanya berat penumbuknya diganti dengan 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan. Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan dan kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (W_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum (MDD). Alat pengujian proctor standar dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan kurva hubungan kadar air dan berat volume dapat dilihat pada Gambar 3.4 (Hardiyatmo, 2006).



Gambar 2.10 Alat Uji Proctor Standar

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)



Gambar 2.11 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering pada Pengujian Proctor Standar

2.4.4. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

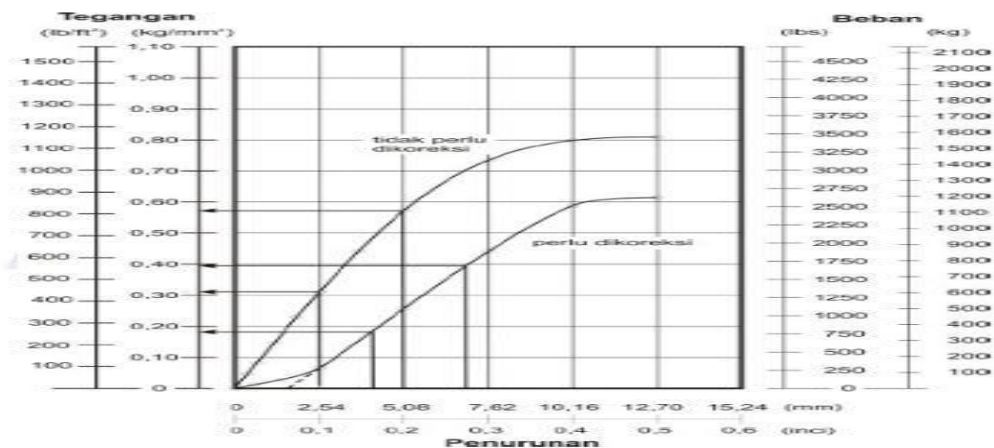
Pengujian CBR adalah pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah dapat berupa tanah atau material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman tertentu dan kecepatan penetrasi yang sama.

Pengujian CBR di laboratorium dilakukan dengan cara *soaked* dan *unsoaked* dan pemeraman sampel. Tujuan pengujian CBR dengan cara perendaman selama 4 hari dikarenakan disesuaikan dengan iklim cuaca di Indonesia yang sering terjadi hujan dan menyebabkan timbulnya genangan atau banjir, dengan menganalogikan kekuatan daya dukung tanah setelah tergenang banjir dengan waktu asumsi maksimal selama 4 hari. Sedangkan pengujian CBR dengan pemeraman sampel yaitu bertujuan untuk

memberikan waktu proses reaksi kimia yang terjadi antara tanah dengan bahan tambah. Prinsip pengujian CBR yaitu sampel tanah ditekan dalam cetakan silinder dengan alat tekan standar berupa piston dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm/menit.

Sampel tanah yang digunakan untuk benda uji pada pengujian CBR adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 dan yang di masukan ke dalam *mould* berbentuk silinder dengan diameter 152 mm dengan dipadatkan dalam 3 lapis, dengan masing-masing ditumbuk dengan penumbuk standar sebanyak 56 kali. Letakan benda uji beserta keping alas di atas mesin penetrasi dan letakan keping pemberat diatas permukaan benda uji seberat minimal 4,5 kg (10 pound). Arloji penunjuk penetrasi dan arloji penunjuk beban diatur sehingga menunjukkan angka nol. Berikan pembebanan secara teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit. Pembacaan pembebanan dilakukan pada interval penetrasi 0,025 inch (0,64 mm), hingga mencapai penetrasi 0,5 inch (12,7 mm).

Pada kejadian permulaan kurva beban cekung akibat kurang rataanya permukaan pada saat pemadatan benda uji atau sebab-sebab yang lain, dalam keadaan ini titik nolnya harus dikoreksi seperti pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Kurva Hubungan Beban dan Penetrasi pada Pengujian CBR
(Sumber : SNI 1738 : 2011)

Menggunakan grafik yang telah dibuat, hitung harga CBR dengan cara membagi masing-masing beban dengan beban standar CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/ atau 1000 psi dan penetrasi 0,2" atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/ atau 1500 psi dan dikalikan dengan 100%. Adapun cara untuk menentukan nilai CBR sebagai berikut :

1. CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/ atau 1000 psi

P1

$$CBR_{0,1} = \frac{\text{---}}{3 \times 1000} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

2. CBR pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/ atau 1500 psi

P2

$$CBR_{0,2} = \frac{\text{---}}{\text{---}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

3 x 1500

Pada umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/ atau 1000 psi, namun pada keadaan tertentu bila nilai CBR pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm lebih kecil dari pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm maka pengujian harus diulang dan apabila pada pengujian kedua ini nilai CBR pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm masih lebih besar dari CBR penetrasi 0,1" atau 2,54 mm, maka nilai CBR yang dipakai adalah nilai CBR terbesar atau pada penetrasi 0,2" atau 5,08 mm

2.4.5 Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCS)

Tanah kapur memiliki sifat mudah hancur dan kekuatan yang relatif rendah sehingga perlu dilakukan stabilisasi untuk meningkatkan daya dukungnya. Salah satu metode stabilisasi yang umum digunakan adalah Penambahan semen (soil cement). Untuk mengetahui peningkatan Kekuatan tanah akibat penambahan semen, dilakukan pengujian kuat semen, dilakukan pengujian Kuat Tekan Bebas atau **Unconfined Compressive Strength (UCS)**.

Tujuan Pengujian :

1. Menentukan nilai kuat tekan bebas (q_u).
2. Menentukan kuat geser tak terdrainase (c_u).
3. Menganalisis pengaruh variasi kadar semen terhadap peningkatan nilai UCS.

Pengujian UCS adalah pengujian tekan aksial terhadap benda uji silinder tanpa tekanan lateral ($\sigma_3 = 0$).

Rumus kuat tekan bebas :

$$q_u = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

q_u = kuat tekan bebas (kg/cm²)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang awal (cm²)

Untuk tanah kohesif jenuh :

$$c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Bahan yang digunakan : Tanah kapur, Semen Portland (PPC), Air, Variasi Campuran 3% semen, 5% semen, 6% semen, 7% semen.

Peralatan : mesin uji tekan (Compression Machine), dial gauge, timbangan, jangka sorong, Cetakan silinder.

Prosedur Pengujian :

1. Tanah dicampur dengan semen sesuai variasi.
2. Campuran dipadatkan dalam cetakan silinder.
3. Benda uji diperam (curing) selama 7 hari.
4. Benda uji diuji dengan mesin tekan hingga runtuh.
5. Beban maksimum dicatat.

2.5. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait pemanfaatan tanah kapur dan soil cement sebagai bahan pondasi jalan antara lain:

Tabel 2.14. Penelitian Terdahulu

No	Nama	Tahun	Judul	Tujuan
1	Hardiyatmo	2002	Stabilisasi Tanah Dengan Kapur	Penambahan kapur dapat menurunkan indeks plastisitas, meningkatkan CBR dan mengurangi kembang susut tanah lempung
2	Sherwood	1993	Mengkaji reaksi kimia antara tanah dan kapur.	Menemukan bahwa reaksi pozzolanik antara Ca(OH)_2 dengan silika dan alumina dalam tanah membentuk senyawa semen alami (CSH & CAH) yang meningkatkan kekuatan tanah dalam jangka panjang.
3	Little	1995	Penelitian mengenai lime stabilization di Amerika Serikat.	kapur efektif untuk memperbaiki sifat mekanis tanah berplastisitas tinggi, memperkuat pondasi jalan, serta meningkatkan umur rencana perkerasan.
4	Rahardjo dkk.	2010	penggunaan soil cement (tanah + semen) untuk lapisan pondasi jalan di Indonesia.	penambahan semen pada tanah lokal meningkatkan kuat tekan bebas (UCS) dan CBR, sehingga lebih layak dijadikan base/subbase dibandingkan tanah asli.
5	Haryanto	2015	Studi pemanfaatan material lokal batu kapur yang dicampur semen untuk perkerasan jalan	campuran soil cement dari batu kapur meningkatkan nilai CBR secara signifikan dibandingkan tanah asli, serta menurunkan plastisitas tanah.

6	Ghorbani	2018	Hubungan kuat tekan bebas (UCS) dan CBR pada soil cement. Metode: AASHTO T193 (CBR) dan UCS test.	1. Nilai CBR naik signifikan seiring penambahan kadar semen. 2. Korelasi kuat antara UCS dan CBR untuk desain lapisan jalan.
7	Hanandeh dkk.	2022 - 2023	Terkait Resilient Modulus Soil Cemen	1. Stabilitas semen/lime pada subgrade meningkatkan modulus resilient secara besar. 2. Lapisan soil cement lebih kaku dan tahan deformasi dibanding tanah asli. 3. Parameter dominan: kadar semen, OMC, dan curing time. 4. Dalam desain AASHTO pavement, penggunaan cement-treated soil memperpanjang umur jalan dan mengurangi rutting.
8	Geomate Journal	2024	Menentukan kadar semen optimum (3–10%) untuk tanah silty sand	1. Kadar semen optimum berada pada kisaran 8–10%. 2. Nilai UCS meningkat seiring persen semen dan lama perendaman curing. 3. Kesimpulan: Soil cement dapat memenuhi spesifikasi lapis pondasi jalan jika semen optimum tercapai.
9	Suroso	2018	Penelitian lapangan pada jalan desa dengan pondasi soil cement.	soil cement mampu meningkatkan kekuatan lapisan pondasi dan menekan biaya konstruksi karena memanfaatkan material lokal.
10	Zhao	2025	Review Mekanisme Cement–Soil	1. Mekanisme utama: hidrasi semen

			dalam Teknik Geologi	membentuk matriks kaku. 2. Performa dipengaruhi oleh: jenis tanah, kadar semen, metode mixing, dan curing. 3. Kandungan organik dan garam dapat menghambat reaksi stabilisasi. 4. Kesimpulan: Soil cement merupakan metode stabilisasi efektif namun sensitif terhadap karakteristik tanah.
--	--	--	----------------------	--