

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu aspek penting dalam menunjang pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Jalan yang direncanakan dan dibangun dengan baik akan mampu melayani beban lalu lintas secara aman. Salah satu lapisan struktural yang memiliki fungsi penting adalah lapis fondasi agregat sebagai *base course* yang memiliki peran dalam menerima dan menyebarkan beban lalu lintas dari lapis permukaan ke lapisan di bawahnya. Berbagai permasalahan yang sering dijumpai pada lapis fondasi seperti terjadinya deformasi, gelombang pada permukaan, penurunan setempat, serta retak yang muncul akibat distribusi beban yang tidak optimal. Salah satu penyebab utama kondisi tersebut adalah kepadatan agregat yang tidak mencapai nilai yang disyaratkan. Kepadatan yang rendah menyebabkan rongga antar butiran masih besar sehingga ikatan antar partikel tidak bekerja secara maksimal. Akibatnya, lapisan menjadi kurang stabil dan mudah mengalami pergeseran saat menerima beban berulang.

Material agregat yang digunakan sebagai lapis fondasi harus memenuhi persyaratan teknis tertentu, terutama dari segi gradasi dan ketahanan terhadap keausan. Gradasi yang baik memungkinkan terbentuknya sistem interlocking antar partikel, sehingga menghasilkan struktur yang padat dan stabil setelah dilakukan pemadatan. Namun demikian, meskipun material telah memenuhi persyaratan gradasi, hasil akhir di lapangan tetap sangat bergantung pada proses pemadatan yang dilakukan. Pemadatan merupakan proses mekanis untuk meningkatkan kerapatan material dengan mengurangi rongga udara di antara butiran agregat. Dalam pengujian laboratorium, hubungan antara kadar air dan berat volume kering digunakan untuk menentukan berat volume kering maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) serta kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*). Parameter ini menjadi dasar dalam menentukan standar kepadatan yang harus dicapai pada pekerjaan lapangan. Besarnya energi pemadatan yang diberikan akan mempengaruhi susunan butiran agregat dan tingkat kepadatan yang dihasilkan.

Lapis fondasi agregat kelas A merupakan salah satu jenis lapis fondasi yang banyak digunakan pada konstruksi perkerasan jalan sesuai dengan spesifikasi Bina Marga. Lapis ini berfungsi sebagai lapisan struktural utama di bawah lapis permukaan dan dirancang untuk memberikan kekuatan serta stabilitas terhadap beban lalu lintas. Agregat kelas A memiliki persyaratan gradasi sehingga mampu menghasilkan struktur yang padat, stabil, dan memiliki daya dukung tinggi setelah dipadatkan. Keberhasilan kinerja lapis fondasi agregat kelas A sangat ditentukan oleh kombinasi antara kualitas material dan efektivitas proses pemadatan.

Di lapangan, sering ditemukan bahwa meskipun agregat telah memenuhi spesifikasi gradasi, kepadatan yang dicapai tidak sesuai dengan standar yang

ditetapkan. Hal ini dapat disebabkan oleh penggunaan energi pemadatan yang tidak sesuai, kadar air yang tidak mendekati kondisi optimum, atau prosedur pelaksanaan yang kurang tepat. Perbedaan energi pemadatan, seperti pada metode Standard Proctor dan Modified Proctor, menghasilkan nilai kepadatan maksimum yang berbeda, sehingga penting untuk memahami pengaruh variasi energi tersebut terhadap karakteristik pemadatan agregat.

Berdasarkan uraian diatas, maka akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi energi pemadatan terhadap karakteristik lapis fondasi agregat kelas A yang digunakan sebagai *base course* pada konstruksi perkerasan jalan. Material agregat yang digunakan akan diuji melalui serangkaian pengujian laboratorium untuk mengetahui hubungan antara kadar air dan berat volume kering pada berbagai tingkat energi pemadatan, sehingga dapat diamati perbedaan nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum yang dihasilkan. Material agregat yang digunakan juga akan dicampur dengan persentase semen tertentu. Adapun penggunaan semen dalam campuran diharapkan mampu untuk meningkatkan ikatan antar butiran sehingga struktur lapisan menjadi lebih kaku dan stabil setelah pemadatan. Hal ini memungkinkan diperolehnya gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas metode pemadatan dalam memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga untuk lapis fondasi agregat kelas A. Melalui pertimbangan dan uraian diatas, maka peneliti ingin melakukan penelitian sebagai pemenuhan tugas akhir dengan judul **“KARAKTERISTIK PEMADATAN TANAH MENGGUNAKAN UJI PROCTOR STANDAR DAN MODIFIED TERHADAP TANAH TANPA DAN DENGAN STABILISASI”**.

1.1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah diatas, maka ada beberapa rumusan masalah yang akan dikaji yaitu :

1. Bagaimana karakteristik tanah lapis pondasi agregat yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana pengaruh peningkatan energi pemadatan antara pemadatan Proctor Standar dan Modifikasi terhadap nilai OMC dan MDD?
3. Bagaimana pengaruh penambahan semen terhadap karakteristik pemadatan Proctor Modifikasi?

1.1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian dalam tulisan ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik tanah lapis pondasi agregat yang digunakan pada penelitian
2. Mengetahui pengaruh peningkatan energi pemadatan antara pemadatan Proctor Standar dan Modifikasi terhadap nilai OMC dan MDD

3. Mengetahui pengaruh penambahan semen terhadap karakteristik pemadatan Proctor Modifikasi

1.1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang hasil pemadatan yang optimum melalui perbandingan metode Proctor Standar dan Proctor Modifikasi pada penelitian ini.
2. Hasil analisis dapat memberikan informasi mengenai pengaruh peningkatan energi pemadatan dan penambahan kadar semen sebagai bahan stabilisasi terhadap karakteristik berat isi kering maksimum dan kadar air optimum tanah.

1.1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian pengujian pemadatan tanah ini dibuat untuk menghindari cakupan penelitian yang lebih luas agar penelitian dapat berjalan efektif, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Penelitian ini mencakup :

1. Pengujian eksperimental di laboratorium difokuskan pada pengamatan karakteristik mekanis kepadatan tanah.
2. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah lapis fondasi agregat kelas A.
3. Pengujian ini dilakukan dengan penambahan semen sebagai bahan stabilisasi.
4. Metode pemadatan yang diterapkan terdiri dari dua metode yaitu *Standard Proctor Test* dan *Modified Proctor Test*.
5. Variasi persentase kadar semen yang dicampurkan ke dalam sampel ditetapkan sebesar 5%.

1.2 Teori

1.2.1 Defenisi Tanah

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 di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel

yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain (Hardiyatmo, 2002).

Tanah terdiri dari berbagai fase padat, cair, dan gas, dimana karakteristiknya bergantung pada perilaku fase interaksi ini, dan pada tegangan yang diterimanya. Fasa padat meliputi tanah liat, mineral non-tanah liat, dan bahan organik. Unsur-unsur ini dikategorikan menurut ukurannya seperti tanah liat, pasir, dan kerikil. Fasa cair terdiri dari air yang mengandung senyawa organik yang tersedia dari tumpahan kimiawi, limbah, dan air tanah, sedangkan fasa gas biasanya udara. Struktur tanah tergantung pada susunan partikel, kelompok partikel, ruang pori, dan komposisinya. Karakteristik dasar ini menentukan jenis struktur yang akan dibangun dan tindakan dukungan eksternal apa, jika ada, harus diambil untuk membuat struktur tersebut bertahan lama dan menanggung dampak gempa, rembesan air, dan faktor eksternal lainnya (Darwis, 2018).

Menurut Santosa (1998), pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan campuran butir meliputi:

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa pasir dan kerikil.
- b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lempung dan lanau.
- c. Tanah organik adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatannya, tanah dikelompokkan menjadi :

- a. Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (tanah lempungan atau mengandung lempung cukup banyak).
- b. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misal pasir).
- c. Tanah Organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik (sifat tidak baik).

1.2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk

memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Umumnya klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 2012).

Beberapa sistem klasifikasi yang umum digunakan dalam bidang teknik sipil yang telah dikembangkan *Massachussts Institute of Technology (MIT)*, *U.S. Departement of Agriculture (USDA)*, *American Association of State Hihway and Transportation Officials (AASHTO)*, dan oleh *U.S Army Corps of Engineers* dan *U.S. Bureau of Reclamation* yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai *Unified Soil Classification System (USCS)*. Saat ini *Unified Soil Classification System (USCS)* telah diterima di seluruh dunia, sistem ini telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Material (ASTM)*. Berikut disajikan klasifikasi ukuran partikel berdasarkan sistem klasifikasi tanah pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Partikel

Sistem Klasifikasi Tanah	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachussts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2 – 0.06	0.06 – 0.002	< 0.002
<i>U.S. Departement of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 – 0.05	0.05 – 0.002	< 0.002
<i>American Association of State Hihway and Transportation Officials (AASHTO)</i>	76.2 – 2	2 – 0.075	0.075 – 0.002	< 0.002
<i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	76.2 – 4.75	4.75 – 0.075	Butir halus (Lanau dan Lempung) < 0.075	

Sumber: Das, Principles of Geotechnical Engineering 7th Edition (2010)

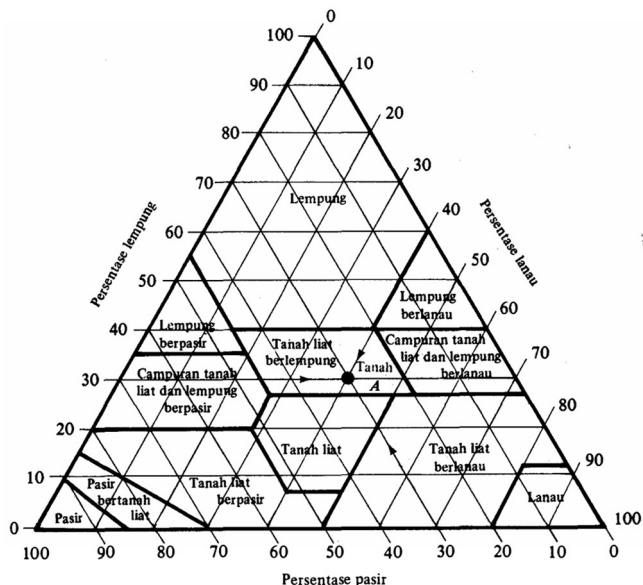
1.2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (sandy clay), lempung berlanau (silty clay), dan seterusnya. Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri; beberapa dari sistem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini (Das, 1995).

Darwis (2018) menyebutkan bahwa pada tahun 1960, *United State Department of Agriculture (USDA)* memperkenalkan sistem klasifikasi tanah yang baru yang disebut *Comprehensive System* atau *Soil Taxonomy*. Sistem klasifikasi tanah ini lebih banyak menekankan pada morfologi dan kurang menekankan pada

faktor-faktor pembentuk tanah. Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah, distribusi ukuran butir dan plastisitas tanah menurut USDA, adalah :

- Pasir : ukuran butiran antara 2,0 – 0,05 mm
- Lanau : ukuran butiran 0,05 – 0,002 mm
- Lempung : ukuran butiran < 0,002 mm



Gambar 1. Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) (Das, 1995)

Das (1995) menerangkan bahwa pemakaian bagan dalam Gambar 1 ini dapat dijelaskan dengan menggunakan sebuah contoh. Apabila distribusi ukuran butir tanah A adalah: 30% pasir, 40% lanau, dan 30% butiran dengan ukuran lempung (< 0,002 mm), klasifikasi tekstur tanah yang bersangkutan dapat ditentukan dengan cara seperti yang ditunjukkan dengan anak panah dalam Gambar 1. Jenis tanah A termasuk dalam daerah lempung tanah liat. Perhatikan bahwa bagan ini hanya didasarkan pada bagian tanah yang lolos lewat ayakan No. 10. Oleh karena itu, apabila tanahnya mengandung butiran berdiameter lebih besar dari 2 mm dalam persentase tertentu, maka perlu diadakan koreksi.

1.2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Karena sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah, dan

secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik. Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem-sistem tersebut adalah: Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified. Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi Unified pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain (Das, 1995).

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari Sistem Unified mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyanto, 2002).

A. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan, versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M145). Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam 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 di bawah ini:

a. Ukuran butir:

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm).

Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

b. 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 plastisitas sebesar 11 atau lebih.

- c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Tabel 2 menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair (liquid limit, LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

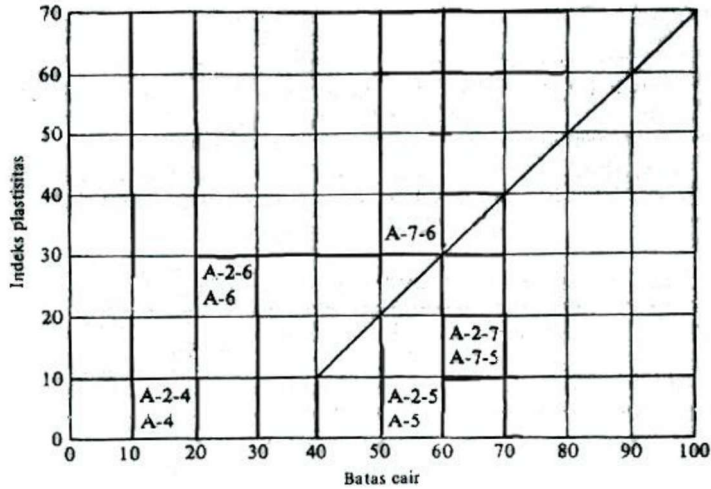
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b			A-2-4	A-2-5	A-2-6
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6**		
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36	Min 36	Min 36		
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Maks 41 Maks 10	Maks 40 Maks 11	Min 41 Min 11		
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

* untuk A-7-5 : $PI \leq LL - 30$

** untuk A-7-6 : $PI > LL - 30$

(Sumber : Das, 1995)

Gambar 2 menunjukkan senjang batas cair (Liquid Limit, LL) dan Indeks Plastisitasnya (PI) untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 2. Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7
(Sumber : Das, 1995)

B. Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942. Untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Of Engineers* selama Perang Dunia II. Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

- Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok. Digunakan simbol-simbol dalam sistem USCS sebagai berikut :

G = *gravel* (kerikil)

S = *sand* (pasir)

C = *anorganic clay* (lempung)

M = *anorganic silt* (lanau)

O = lanau atau lempung organik

Pt = *peat* (tanah gambut atau tanah organik tinggi)

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan :

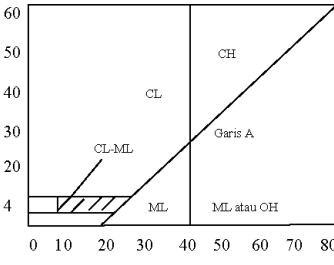
- 1) Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
- 2) Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
- 3) Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah 0 – 12% lolos ayakan No. 200
- 4) Batas cari (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos saringan No. 200).

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai dengan 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan. Rincian klasifikasi ini diberikan dalam Tabel 2. Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas (Casagrande, 1948) yang diberikan dalam Tabel 3. Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A, dan garis A tersebut diberikan dalam persamaan:

$$PI = 0,73 (LL - 20)$$

Untuk tanah gambut (peat), identifikasi secara visual mungkin diperlukan.

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Sistem Unified

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi				
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% ≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW				
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus					
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol				
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung					
		Pasir ≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Kerikil dengan Butiran halus	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW		
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung				
			Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
						CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
	OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah						
	Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	MH			Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
CH		Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)						
OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi						
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488				

Sumber : Hardiyatmo, 1996

1.2.3 Sifat Fisik Tanah

Sifat fisis tanah merupakan karakteristik dasar yang menggambarkan kondisi fisik dan keadaan internal tanah tanpa melibatkan pengaruh pembebanan. Sifat ini berperan penting dalam memahami perilaku tanah karena menjadi dasar yang memengaruhi respons mekanis tanah terhadap gaya luar. Adapun pengujian fisis yang akan dilakukan pada penelitian ini antara lain pengujian berat jenis dan analisa saringan.

1.2.3.1 Berat Jenis

Berat jenis atau berat spesifik (*Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4°C yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (1)$$

dimana:

G_s = berat jenis
 γ_s = berat volume *solid*
 γ_w = berat volume air

G_s tidak berdimensi. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat jenis $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkoheisi. Sedang untuk tanah kohesif tak organik berkisar di antara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Berat Jenis (G_s) Berbagai Jenis Tanah

Macam tanah	Berat jenis (G_s)
Kerikil	2.65 - 2.68
Pasir	2.65 - 2.68
Lanau anorganik	2.62 - 2.68
Lempung organik	2.58 - 2.65
Lempung anorganik	2.68 - 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 - 1.28

Sumber: Hardiyatmo, Mekanika Tanah I (2002)

Menurut berat jenisnya, agregat kasar dibedakan menjadi 3 jenis (Tjokrodinuljo, 2007) yaitu :

1. Agregat Normal, yaitu agregat yang berat jenisnya 2,5 – 2,7 gram/cm³ dan biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa, dan lain sebagainya.
2. Agregat Berat, yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm³ dan biasanya dihasilkan oleh magnetit (Fe₃O₄), serbuk besi, dan lain sebagainya.
3. Agregat Ringan, yaitu agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm³ dan biasanya berasal dari abu terbang (fly ash), tanah bakar (bloated clay), batu apung, dan lain sebagainya.

1.2.3.2 Analisa Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Distribusi ukuran butiran dapat diketahui dengan menggunakan metode analisis saringan dan analisa hidrometer.

a) Analisa saringan

Analisa saringan merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Ukuran dari partikel tanah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah berbutir kasar akan tertahan pada saringan No.200 yaitu fraksi kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*). Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Pada tabel 5 dapat dilihat susunan saringan berdasarkan nomor dan ukuran saringan.

Tabel 5. Susunan Saringan Berdasarkan Nomor dan Ukuran Saringan

No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)
3 inci	75
2 inci	50
1 inci	25
3/8 inci	9.25
No. 4	4.75
No.10	2.00
No. 40	0.425
No. 200	0.075

Sumber : (SNI 3423:2008)

b) Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir tanah yang berbutir halus atau bagian halus dari tanah berbutir campuran (*common soil*). Sampel tanah yang akan diuji dengan analisis hidrometer, adalah partikel tanah yang lolos saringan No.200, dan terlebih dahulu harus bebas dari material organik, yang dimaksudkan agar zat organik yang belum merupakan bagian dari konsistensi tanah, tidak akan mengacaukan analisis hidrometer tersebut (Darwis, 2018).

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Metode ini didasarkan pada Hukum Stokes, yang menjelaskan kecepatan pengendapan partikel dalam suatu fluida. Partikel yang lebih besar akan mengendap lebih cepat diikuti dengan partikel yang lebih kecil. Tanah seperti lanau dan lempung

tidak dapat ditentukan berdasarkan analisis saringan dikarenakan partikelnya sangat kecil berupa koloid (>0.001 mm) (Das, 1995).

1.2.4 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanis tanah adalah karakteristik yang menggambarkan respons tanah terhadap pembebanan mekanis. Karakteristik ini memiliki peranan penting dalam bidang teknik sipil karena berpengaruh langsung terhadap kestabilan dan kekuatan tanah sebagai material konstruksi. Oleh karena itu, beberapa sifat mekanis tanah umumnya dianalisis dalam berbagai kegiatan perencanaan dan pelaksanaan proyek teknik.

1.2.4.1 Keausan

Uji Keausan (*Abrasion Los Angeles Test*) adalah prosedur standar untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap degradasi (penghancuran) menggunakan mesin Los Angeles. Tujuan utamanya adalah untuk mengetahui seberapa kuat agregat tersebut jika digunakan dalam konstruksi jalan yang akan menerima beban lalu lintas terus-menerus. Agregat yang telah disiapkan sesuai gradasi dan berat yang ditetapkan, dimasukkan bersama bola-bola baja ke dalam mesin Los Angeles lalu diputar dengan kecepatan 30-33 rpm. Untuk menghitung hasil pengujian, digunakan rumus berikut :

$$Keausan = \frac{a - b}{a} \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

a = berat benda uji semula (gram)

b = berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram)

Nilai tinggi menunjukkan banyaknya benda uji yang hancur akibat putaran alat yang mengakibatkan tumbukan dan gesekan antara partikel dengan bola baja. Nilai abrasi $> 45\%$ menunjukkan agregat tidak mempunyai kekerasan cukup untuk digunakan sebagai bahan/material lapisan perkerasan. Nilai abrasi $< 30\%$ menunjukkan bahwa agregat tersebut baik sebagai bahan lapis penutup. Nilai abrasi $< 40\%$, baik sebagai bahan lapis permukaan dan lapis pondasi atas. Sedangkan nilai abrasi $< 50\%$ menunjukkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan sebagai bahan lapisan lebih bawah (Tenriajeng, 2002).

1.2.4.2 Pematatan Tanah

Pada pembuatan timbunan tanah untuk jalan raya, dam tanah, dan banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas (renggang) haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya. Pematatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pematatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan (*embankments*) (Das, 1995).

Hardiyatmo (2002) menerangkan bahwa jika tanah di lapangan membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan, maka pepadatan sering dilakukan. Maksud pemadatan tanah antara lain :

- 1) Mempertinggi kuat geser tanah.
- 2) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
- 3) Mengurangi permeabilitas.
- 4) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lain-lainnya.

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Setelah mencapai kadar air tertentu, adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air di mana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum (Das, 1995).

Darwis (2018) menerangkan bahwa sebelum pelaksanaan pemadatan tanah di lapangan, terlebih dahulu dilakukan simulasi pemadatan di laboratorium. Pengujian pemadatan tanah di laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui kadar air optimum (*optimum moisture content* – OMC) pada material pilihan yang akan dipadatkan, dan juga diperlukan untuk mengetahui parameter tanah, sehingga dapat dilakukan perhitungan tingkat perbaikan kinerja tanah sesuai tujuan yang hendak dicapai, setelah tanah mengalami pemadatan seperti peningkatan daya dukung, kuat geser, dan lain sebagainya. Pada dasarnya uji pemadatan diperlukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dengan berat volume, yang dibutuhkan untuk mengevaluasi persyaratan kepadatan tanah. Ada beberapa pengujian di laboratorium yang biasa dilakukan sebagai prosedur standar dalam uji pemadatan tanah, antara lain :

- 1) Uji Pemadatan *Proctor Standard*.
- 2) Uji Pemadatan *Proctor Modified*.
- 3) Uji Pemadatan yang bersifat lokal, seperti Indian Standard, Japan Standard, dan lain sebagainya.

Berikut beberapa rumus yang digunakan dalam pengujian ini, antara lain :

1. Menghitung kadar air

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3)$$

2. Menghitung kadar air akhir

$$\omega_{akhir} = \omega_{awal} + \left(\frac{\omega_{awal} + \text{penambahan air}}{\text{berat tanah}} \right) \times 100 \quad (4)$$

3. Menghitung berat volume basah

$$\gamma = \frac{W_w}{V_{mould}} \quad (5)$$

4. Menghitung berat kering

$$W_{dry} = \frac{W_w}{1 + \left(\frac{\omega}{100} \right)} \quad (6)$$

5. Menghitung berat volume kering

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \quad (7)$$

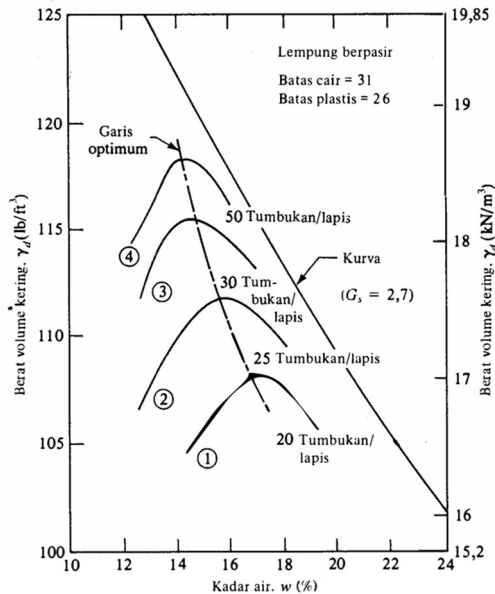
6. Menghitung berat volume total

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = (\gamma_d) \times \left(1 + \frac{\omega}{100} \right) \quad (8)$$

Di samping kadar air, faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi pemadatan adalah jenis tanah dan usaha pemadatan. Energi yang dibutuhkan untuk pemadatan (E) pada uji Proctor, dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = \frac{\left(\frac{\text{jumlah tumbukan}}{\text{perlapisan}} \right) \times \left(\frac{\text{jumlah lapisan}}{\text{lapisan}} \right) \times \left(\frac{\text{berat penumbuk}}{\text{penumbuk}} \right) \times \left(\frac{\text{tinggi jatuh}}{\text{penumbuk}} \right)}{\text{volume cetakan}} \quad (9)$$

Bila usaha pemadatan persatuan volume tanah berubah, kurva pemadatan juga akan berubah. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan empat buah kurva pemadatan untuk tanah lempung berpasir. Cetakan dan penumbuk seperti pada Proctor standar digunakan untuk memperoleh kurva-kurva pemadatan tersebut. Tetapi jumlah tumbukan per lapisan bervariasi mulai dari 20 sampai 50 (tumbukan per lapisan) (Das, 1995).



Gambar 2. Pengaruh energi pemadatan pada pemadatan suatu lempung berpasir (Sumber : Das, 1995)

Dari tabel di atas dan Gambar 3 terlihat bahwa

- Bila energi pemadatan bertambah, harga berat volume kering maksimum tanah hasil pemadatan juga bertambah, dan
- Bila energi pemadatan bertambah, harga kadar air optimum berkurang.

Das (1995) menerangkan bahwa dengan berkembangnya alat-alat penggilas berat yang digunakan pada pemadatan di lapangan, uji Proctor standar harus dimodifikasi untuk dapat mewakili kondisi lapangan. Uji Proctor yang dimodifikasi ini disebut Uji Proctor Dimodifikasi (*ASTM Test Designation D-1557* dan *AASHTO Test Sesignation T-180*). Untuk pelaksanaan uji Proctor dimodifikasi ini, dipakai cetakan yang sama dengan volume $1/30 \text{ ft}^3$ (944 cm^3) sebagaimana pada uji Proctor standar. Tetapi tanah dipadatkan dalam lima lapisan dengan menggunakan penumbuk seberat 10 lb (massa 4,54 kg). Tinggi jatuh penumbuk adalah 18 in. (457,2mm). Jumlah tumbukan per lapisan adalah tetap yaitu 25 kali sebagaimana pada Proctor standar. Karena energi pemadatannya lebih besar, uji Proctor dimodifikasi yang menghasilkan suatu harga berat volume kering maksimum yang lebih besar. Peningkatan berat volume kering maksimum ini disertai dengan penurunan kadar air optimum. Ringkasan dari metode uji tersebut dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 6. Rangkuman Spesifikasi Uji Pemadatan Proctor Standar

Penjelasan		ASTM D-698 AASHTO T-99			
		Metode A	Metode B	Metode C	Metode D
Cetakan Volume	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,9	2124,3	943,9	2124,3
Tinggi	in	4,58	4,58	4,58	4,58
	mm	116,33	116,33	116,33	116,33
Diameter	in	4	6	4	6
	mm	101,6	152,4	101,6	152,4
Berat (massa) penumbuk	lb	5,5	5,5	5,5	5,5
	kg	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi jatuh penumbuk	in	12	12	12	12
	mm	304,8	304,8	304,8	304,8
Jumlah lapisan tanah		3	3	3	3
Jumlah pukulan tiap lapis		25	56	25	56
Fraksi tanah yang diuji lolos ayakan		No. 4	No. 4	3/4 in.	3/4 in.

Sumber : Das, 1995

Tabel 7. Rangkuman Spesifikasi Uji Pemadatan Proctor Modifikasi

Penjelasan		ASTM D-1557 AASHTO T-180			
		Metode A	Metode B	Metode C	Metode D
Cetakan Volume	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,9	2124,3	943,9	2124,3
Tinggi	in	4,58	4,58	4,58	4,58
	mm	116,33	116,33	116,33	116,33
Diameter	in	4	6	4	6
	mm	101,6	152,4	101,6	152,4
Berat (massa) penumbuk	lb	10	10	10	10
	kg	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh penumbuk	in	18	18	18	18
	mm	457,2	457,2	457,2	457,2
Jumlah lapisan tanah		5	5	5	5

Jumlah pukulan tiap lapis	25	56	25	56
Fraksi tanah yang diuji lolos ayakan	No. 4	No. 4	3/4 in.	3/4 in.

Sumber : Das, 1995

1.2.5 Stabilisasi Tanah

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain :

1. Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap properti tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (*soil stabilization as "the alteration of any property of a soil to improve its engineering performance"*). Dalam pengertian ini Lambe memaknai sifat-sifat tanah (*soil property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah.
2. Jon A. Epps et al. (1971), mengartikan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*soil properties*).
3. Ingles & Metcalf (1972), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Punmia (1980), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya. Dalam hal ini menurut Punmia bahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilitas tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.
5. Winterkorn (1975), menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisik, kimia, atau biologi, atau kombinasi metode semacam itu, yang digunakan untuk memperbaiki sifat tertentu dari tanah alami agar sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.
6. Ruston Paving Company Inc., mengartikan bahwa "stabilisasi tanah adalah perubahan fisik dan kimia permanen dari tanah dan agregat untuk meningkatkan sifat tekniknya sehingga meningkatkan daya dukung beban sub-grade atau sub-basis untuk mendukung perkerasan dan pondasi."

Selain definisi di atas, masih banyak lagi terminologi yang dikemukakan beberapa ahli lain. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha

untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu.

Darwis (2018) menjelaskan bahwa secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan *additive* (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik).
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas tiga jenis, yakni :

1. Stabilisasi Kimia ; yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
2. Stabilisasi Fisik ; yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
3. Stabilisasi Mekanis ; yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Contohnya stabilisasi dengan *metal strip*, *geotextile*, *geomembrane*, *geogrid*, *vertical drain*, dan lain sebagainya.

Sebagaimana dengan tujuan dari setiap tindakan stabilisasi tanah, maka tujuan umum dari perbaikan tanah adalah untuk :

1. Meningkatkan daya dukung tanah.
2. Meningkatkan kuat geser tanah.
3. Memperkecil kompresibilitas dan penurunan tanah.
4. Memperkecil permeabilitas tanah (kasus : tanggul)
5. Memperbesar permeabilitas tanah (kasus : *dewatering* dan *sand lense*).
6. Memperkecil potensi kembang-susut pada tanah (*swelling potential*).
7. Menjamin kelestarian dan keberlanjutan sumberdaya alam dan lingkungan.

Tujuan yang terakhir, seyogianya menjadi tujuan yang melekat pada setiap perlakuan dan tindakan di dalam perbaikan tanah, terutama yang dilakukan dengan

menggunakan bahan *additive*, yang bisa bereaksi dengan unsur-unsur bahan alamiah (*natural material*) dan akan mengubah struktur dan komposisi dari material alamiah tersebut.

1.2.6 Semen

Semen merupakan material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air, seperti semen *portland*, semen putih dan sebagainya. Sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Semen *Portland* sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃), dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips, untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat.

Berdasarkan pengalaman jenis semen yang paling efektif dipergunakan sebagai bahan *stabilizer* dalam pekerjaan perbaikan tanah adalah semen *portland*. Hal ini ukuran partikel semen portland relatif halus (± 20 micron), sehingga proses hidrasi lebih cepat. Menurut Ingles & Metcalf (1972), bahwa penggunaan semen yang memiliki partikel lebih halus dari saringan No. 200, akan memberikan tambahan kuat geser sampai 40%. Oleh karena itu dalam spesifikasi yang ditentukan dalam SNI 03 – 3438 – 1994, disyaratkan jenis semen untuk pekerjaan perbaikan tanah adalah semen *portland*.

Sesuai dengan tujuan penggunaannya, semen portland di Indonesia dapat dibagi menjadi beberapa tipe yaitu :

- a. Tipe I : Adalah perekat hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya alsiium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah 49% (C₃S), 25% (C₂S), 12% (C₃A), 8% (C₄AF), 2,8% (MgO), 2,9% (SO₃). Semen Portland tipe I dipergunakan untuk pengerasan jalan, gedung, jembatan, dan lain-lain jenis konstruksi yang tidak ada kemungkinan mendapat serangan sulfat dari tanah dan timbulnya panas hidrasi yang tinggi.
- b. Tipe II : Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Komposisinya: 46% (C₃S), 29% (C₂S), 6% (C₃A) 11% (C₄AF), 2,9% (MgO), 2,5% (SO₃). Semen Portland tipe II dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi, atau beton masa yang membutuhkan panas hidrasi rendah.
- c. Tipe III : Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi pengikatan. Kadar C₃S-nya

sangat tinggi dan butirannya sangat halus. Semen Portland tipe III dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti, jembatan-jembatan dan pondasi-pondasi berat.

- d. Tipe IV : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah, sehingga kadar C_3S dan C_3A rendah. Semen Portland tipe IV dipergunakan untuk kebutuhan pengecoran yang tidak menimbulkan panas, pengecoran dengan penyemprotan (setting time lama).
- e. Tipe V : Semen portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 43% (C_3S), 36% (C_2S), 4% (C_3A), 12% (C_4AF), 1,9% (MgO), 1,8% (SO_3). Semen Portland tipe V dipergunakan untuk instalasi pengolahan.

Mekanisme reaksi antara mineral tanah dengan bahan semen, hampir sama dengan mekanisme pada kapur-tanah, yang diawali dengan reaksi pertukaran ion (*ionic change reaction*), dan akan berlanjut dengan reaksi sementasi. Proses absorpsi air dan reaksi pertukaran ion segera terjadi bila semen ditambahkan pada tanah dengan air, dimana ion kalsium (Ca^{2+}) yang dilepaskan melalui proses hidrolisis dan pertukaran ion akan berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Dengan reaksi ini, partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

Mekanisme reaksi antara semen dengan material tanah, dapat diurutkan sebagai berikut :

1) Reaksi Pertukaran Ion

Reaksi pertukaran ion akan menghasilkan pembentukan kalsium silikat ($CaO.SiO_2$) dan/atau kalsium aluminat $CaO.Al_2O_3$. Proses reaksi tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :



Dari reaksi kimia yang berlangsung seperti di atas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan adalah hidrasi dari *A-lite* ($3CaO.SiO_2$) dan *B-lite* ($2CaO.SiO_2$), membentuk senyawa-senyawa kalsium silikat dan melalui hidrasi tadi. Senyawa hidrat yang terbentuk di dalam campuran tergantung dari jenis mineral dalam tanah asli, dan senyawa senyawa hidrat yang dapat terbentuk dalam stabilisasi semen-tanah seperti kalsium silikat dan/atau kalsium aluminat.

2) Reaksi Sementasi

Reaksi sementasi yang terjadi pada campuran semen-tanah adalah merupakan reaksi *pozzolanic*. Dengan bertambahnya waktu reaksi, maka unsur silika (SiO_2) dan unsur alumina (Al_2O_3) yang terkandung di dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan membentuk senyawa kalsium silikat hidrat ($CaO.SiO_2$). dan/atau senyawa kalsium aluminat hidrat ($CaO.Al_2O_3$). Pembentukan senyawa kimia ini terus-menerus

berlangsung untuk waktu yang lama dan menyebabkan tanah menjadi keras dan kuat serta awet, karena ia berfungsi sebagai *binder* (pengikat).

Jenis dan sifat-sifat teknis tanah sangat menentukan kadar semen pencampur (stabilizer) yang diperlukan dalam perbaikan tanah. Ingles & Metcalf (1972), memberikan korelasi antara kadar semen dengan tipe tanah asli yang akan diperbaiki, seperti yang tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 8. Variasi Kadar Semen Sesuai Jenis Tanah Untuk Perkerasan Jalan (*Pavement Construction*)

Jenis Tanah	Kebutuhan Semen (%)
Batuan pecah (<i>fine crushed rock</i>)	0,5 – 2,0
Lempung berpasir-berkerikil (<i>well graded sandy clay gravel</i>)	2,0 – 4,0
Pasir gradasi baik (<i>well graded sand</i>)	2,0 – 4,0
Pasir gradasi buruk (<i>poorly graded sand</i>)	4,0 – 6,0
Lempung berpasir (<i>sandy clay</i>)	4,0 – 6,0
Lempung berlanau (<i>silty clay</i>)	6,0 – 8,0
Lempung (<i>heavy clay</i>)	8,0 – 12,0
Lumpur (<i>very heavy clay</i>)	12,0 – 15,0
Tanah organik (<i>organic soils</i>)	10,0 – 15,0

(Sumber : Ingles & Metcalf, 1972)

Bahan yang terdiri dari campuran semen dengan tanah alami disebut semen tanah (*soil cement*). Biasanya stabilisasi dengan semen adalah stabilisasi yang menggunakan semen tanah. Metoda pencampuran untuk stabilisasi dengan kapur atau semen ada tiga macam:

- a. Metoda campuran terpusat.
Tanah dicampur dengan bahan stabilisasi pada suatu tempat, kemudian diangkut ke tempat pekerjaan. Untuk ini diperlukan mesin pencampur.
- b. Metoda campuran dalam galian.
Bahan stabilisasi dicampur dengan tanah di lubang galian tanah lalu diangkut ke tempat pekerjaan. Bahan stabilisasi dapat dipancarkan ke dalam tanah dalam bentuk tiang, kemudian digali bersama-sama dan dicampur atau bahan stabilisasi itu ditaburkan di atas tanah sehingga pada penggalian terjadi pencampuran.
- c. Metoda pencampuran di tempat pekerjaan.
Tanah dihamparkan di tempat pekerjaan, kemudian ditaburi bahan stabilisasi dan dicampur atau tanah yang akan distabilisasi itu digaruk dan dicampur dengan bahan stabilisasi.

1.2.7 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Tenriajeng (2002) menerangkan bahwa lapis perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan dinamakan lapis pondasi atas

(*base course*). Karena terletak tepat di bawah permukaan perkerasan, maka lapisan ini menerima pembebanan yang berat dan paling menderita akibat muatan, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas sangat tinggi dan pelaksanaan konstruksi harus dilakukan dengan cermat. Secara umum *base course* mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Sebagaimana disebutkan di depan bahwasanya material yang digunakan untuk lapis pondasi atas (*base course*) adalah material yang cukup kuat. Untuk lapis pondasi atas tanpa bahan pengikat umumnya menggunakan material dengan CBR>50% Plastisitas Indeks (PI)<4%. Bahan-bahan alam seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilitas tanah dengan semen dan kapur dapat digunakan sebagai *base course*.

Sukirman (2010) menjelaskan bahwa berbagai jenis lapis pondasi yang umum digunakan di Indonesia adalah :

1. Laston Lapis Pondasi (Asphalt Concrete Base = AC-Base), adalah laston yang digunakan untuk lapis pondasi, tebal nominal minimum 60 mm dengan tebal toleransi ± 5 mm. Agregat yang digunakan berukuran maksimum 37,5 mm (1,5 inci).
2. Lasbutag Lapis Pondasi adalah campuran antara agregat asbuton dan peremaja yang dicampur, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Lapis Lasbutag Lapis Pondasi bertebal nominal minimum 50 mm dengan ukuran agregat maksimum adalah 25 mm (1 inci).
3. Lapis Penetrasi Macadam (Lapen) seperti yang diuraikan pada Bab 2.1 dapat pula digunakan sebagai lapis pondasi, hanya saja tidak menggunakan agregat penutup.
4. Lapis Pondasi Agregat adalah Lapis pondasi dari butir agregat. Berdasarkan gradasinya lapis pondasi agregat dibedakan atas agregat Kelas A dan agregat Kelas B. Tebal minimum setiap lapis minimal 2 kali ukuran agregat maksimum.
5. Lapis Pondasi Tanah Semen adalah lapisan yang dibuat dengan menggunakan tanah pilihan yang diperoleh dari daerah setempat, yaitu tanah lempung dan tanah berbutir seperti pasir dan kerikil kepasiran dengan plastisitas rendah. Bahan dicampur dengan perban dingin semen dan air tertentu di lokasi atau terpusat hingga merata dan memiliki daya dukung yang cukup sebagai lapis pondasi.
6. Lapis Pondasi Agregat Semen (LFAS) adalah agregat kelas A, agregat kelas B, atau agregat kelas C yang diberi campuran semen dan berfungsi sebagai lapis pondasi. Lapis ini harus diletakkan di atas lapis pondasi bawah agregat Kelas C.

Seluruh Lapis Fondasi Agregat harus bebas dari bahan organik dan gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan pengayakan secara basah) yang diberikan dalam tabel 9 dan memenuhi sifat-sifat yang diberikan dalam tabel 10.

Tabel 9. Gradasi Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1½"	37,5	100	88 - 95	100	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

(Sumber : Bina Marga, 2018)

Tabel 10. Sifat-sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

Catatan :

- 1) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- 2) 55/50 menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- 3) 80/75 menunjukkan bahwa 80% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 75% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(Sumber : Bina Marga, 2018)

1.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 11. Penelitian Terdahulu Terkait Topik Penelitian

Penulis	Judul	Tujuan dan Hasil Penelitian Jurnal	Sumber
R. Maria, L.B. Suparma, S. Siswosukarto (2024)	Penerapan Metode Standard dan Modified Proctor dalam Pemanfaatan Pasir Zeolit sebagai Agregat Halus pada Lapis Pondasi Agregat Kelas A	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik Lapis Pondasi Agregat Kelas A menggunakan pasir zeolit dengan variasi yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% kemudian membandingkan pengaruh metode pemadatan standard dan modified proctor terhadap campuran Lapis Pondasi Agregat Kelas A. Hasilnya menunjukkan terjadi penurunan OMC dan peningkatan MDD pada <i>modified proctor test</i> terhadap <i>standard proctor test</i> .	Program Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Ronny S. Poyk, Tri M. W. Sir, dan Jusuf J. S. Pah (2025)	Pengaruh Jenis Energi Pemadatan Tanah di Laboratorium Terhadap Karakteristik Tanah Lempung dari Desa Pene dan Desa Konbaki Kabupaten TTS	Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh energi pemadatan di laboratorium terhadap kuat geser tanah. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa peningkatan energi pemadatan untuk kompaksi di laboratorium dari energi <i>standard Proctor</i> sebesar 6.068 kg/cm ² menjadi sebesar 14.063 kg/cm ² menaikkan kepadatan kering maksimum sebesar 59% untuk sampel tanah Desa Pene dan 62% untuk sampel tanah Desa Konbaki, namun pemadatan dengan energi berlebihan pada tanah jenis sampel dari kedua desa ini justru akan menurunkan nilai kepadatan keringnya seperti pada energi 27.277 kg/cm ² sebesar 23% untuk sampel tanah Desa Pene, dan 31% untuk sampel tanah Desa Konbaki.	e-Jurnal KONTEKS UNIBA

<p>Kartika Indah Sari dan Lungguk Tambunan (2020)</p>	<p>Studi Perbandingan Uji Pemadatan Standar dan Modified terhadap Tanah Dari Jalan Pertahanan - Petumbak yang dicampur Kapur</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil perbandingan nilai kepadatan kering maksimum dan nilai kadar air optimum dengan menggunakan metode <i>Standard Proctor</i> dan <i>Modified Proctor</i> terhadap tanah yang dicampur dengan kapur 2%, 5%, 8%, 11%, dan 14%. Dari hasil penelitian ini diperoleh kepadatan kering maksimum didapatkan pada campuran kapur 8%, dimana pengujian <i>standard Proctor</i> dengan persentase campuran kapur 8% menghasilkan berat kering maksimum ($\gamma_{dry\ max}$) sebesar 1,930 gr/cm³ dan kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 11,90%. Sedangkan untuk <i>modified Proctor</i> dengan persentase campuran kapur 8% menghasilkan berat kering maksimum ($\gamma_{dry\ max}$) sebesar 1,946 gr/cm³ dan kadar air optimum sebesar 12,10%.</p>	<p>e-Jurnal JCEBT UMA</p>
<p>Dian Hastari Agustina dan Yopi Latul (2019)</p>	<p>Pengaruh Energi Pemadatan Terhadap Nilai Kepadatan Tanah</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan energi pemadatan tanah metode <i>standard Proctor</i> dengan metode <i>modified Proctor</i>. Dari hasil pengujian <i>standard Proctor test</i> didapatkan nilai berat isi tanah kering maksimum sebesar 1.64 gram/cm³, yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengujian <i>modified Proctor test</i> sebesar 2.18 gr/cm³, atau naik 32.92% dari nilai kepadatan dengan <i>standard Proctor test</i>. Kadar air maksimum (w_{opt}) atau <i>Optimum Moisture Content</i> (OMC) modified proctor sebesar 13.8% lebih kecil dibanding w_{opt} <i>standard Proctor</i> dengan nilai kadar air sebesar 15%, atau turun 8%.</p>	<p>e-Jurnal UNRIKA</p>

Xinyu Liang, Wenhai Li, Guang Cheng, Zengbiao Wu, dan Ping Li (2025)	Research on the Compaction Characteristics of Cement-Stabilized Soil Under Different Compaction Energies	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan energi pemadatan terhadap kadar air optimum (OMC) dan kepadatan kering maksimum (MDD) pada tanah yang distabilisasi dengan semen 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, dan 10%. Hasil penelitian ini menunjukkan MDD tanah yang distabilisasi meningkat seiring dengan bertambahnya energi pemadatan, namun laju peningkatannya secara bertahap menurun. Sebaliknya, OMC menurun dengan meningkatnya energi pemadatan. Seiring bertambahnya kadar semen, terjadi kenaikan OMC dan MDD, namun peningkatan kadar semen pada energi pemadatan yang tinggi sebesar 829.1 kJ/m ³ menyebabkan pemadatan yang kurang efektif dengan menurunkan nilai MDD.	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
Herman dan Jon Edwar (2014)	Pengaruh Variasi Semen Terhadap Nilai CBR Base Perkerasan Lentur Tipe Cement Treated Base (CTB)	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh semen terhadap lapis pondasi (<i>base course</i>) kelas A dengan penambahan semen 0%, 3%, 5%, dan 7% dari berat kering campuran. Hasil penelitian menunjukan nilai kadar air optimum meningkat seiring dengan meningkatnya prosentase semen pada <i>base</i> , jika dibandingkan dengan nilai kadar air optimum <i>base</i> asli, pada campuran <i>base</i> +7% semen, terjadi peningkatan sebesar 0,65% atau 13% dari nilai kadar air optimum <i>base</i> asli, sedangkan nilai kepadatan maksimum, pada awalnya nilai ini cenderung meningkat, yaitu pada campuran <i>base</i> +3% semen, terjadi peningkatan sebesar 0,10 gr/cm ³ atau 4,65% dari nilai kepadatan maksimum <i>base</i> asli. Pada peningkatan prosentase semen selanjutnya nilai ini cenderung menurun. Pada campuran <i>base</i> +7% semen nilai peningkatan ini hanya 0,03 gr/cm ³ atau 1,395% dari nilai kepadatan <i>base</i> asli.	e-Jurnal JRS UNAND

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

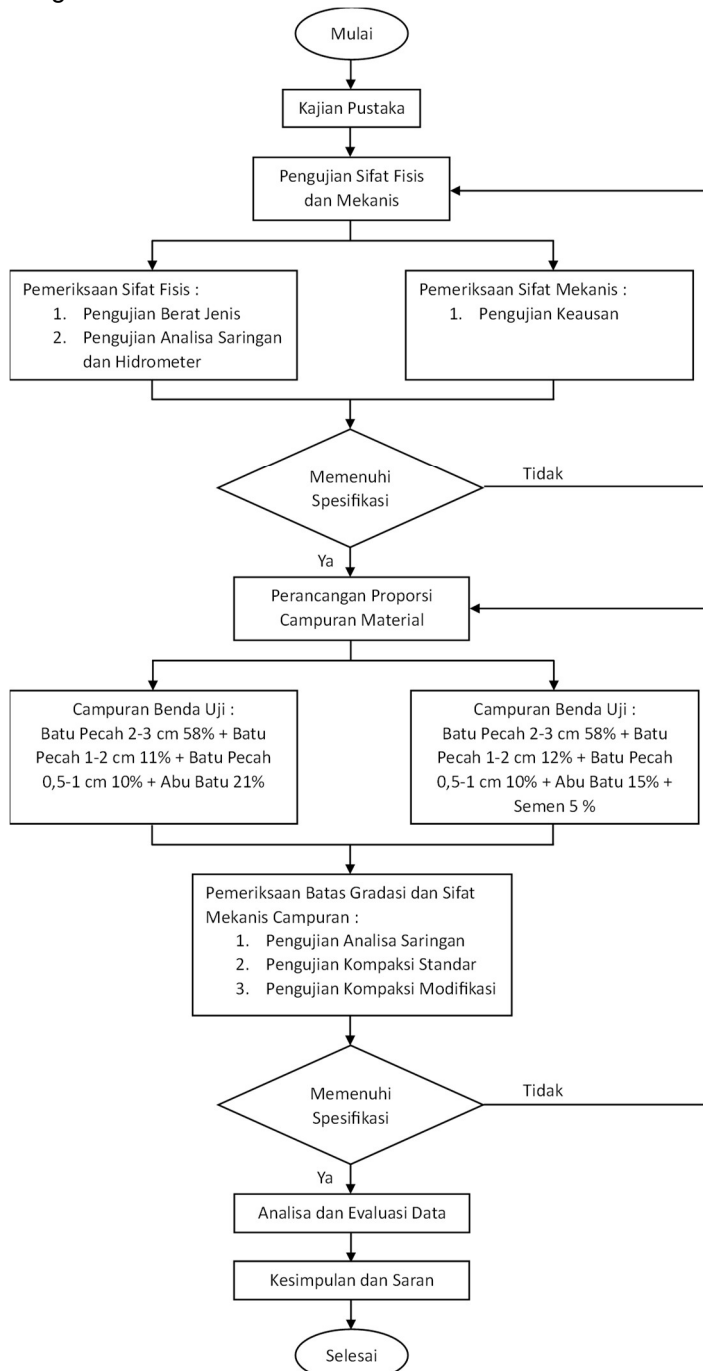
Pelaksanaan penelitian ini dilakukan sejak bulan September 2025 hingga Desember 2025 di Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimental di laboratorium berupa pengujian pemadatan tanah.

2.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada bahan-bahan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji. Langkah pertama adalah pemilihan bahan dengan memperhatikan karakteristiknya secara visual dengan melakukan pengujian pengujian karakteristik sifat fisis tanah yang digunakan dalam penelitian ini, meliputi pengujian berat jenis, analisa saringan, dan pengujian hidrometer. Selain pengujian karakteristik sifat fisis tanah, dilakukan juga pengujian sifat mekanis yaitu pengujian keausan dan pengujian pemadatan. Pengujian pemadatan dilakukan menggunakan metode *Proctor Standard Test* dan *Proctor Modified Test*. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan respons tanah terhadap variasi energi pemadatan tanah asli. Parameter yang diperoleh dari pengujian ini adalah hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Selanjutnya, sampel uji dicampur dengan semen sebagai bahan stabilisasi kemudian diuji menggunakan metode *Proctor Modified Test* untuk mengevaluasi pengaruh stabilisasi semen terhadap karakteristik pemadatan. Data karakteristik dari setiap bahan merupakan variabel-variabel yang akan dianalisis sebagai landasan untuk mengukur hasil penelitian berdasarkan data pengujian benda uji, kemudian dijadikan dasar dalam menarik kesimpulan.

2.3 Bagan Alir Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan langkah-langkah pelaksanaan alur kegiatan penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

2.4 Material

Berikut ini beberapa material bahan yang digunakan untuk mendukung penelitian yaitu :

2.4.1 Batu Pecah

Batu pecah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan material laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin. Dalam penelitian ini digunakan tiga fraksi ukuran, yaitu 0,5–1 cm, 1–2 cm, dan 2–3 cm.



Gambar 4. Batu pecah

2.4.2 Abu Batu

Abu batu yang digunakan dalam penelitian ini merupakan material laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin.



Gambar 5. Abu batu

2.4.3 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Semen Portland Komposit (PCC).



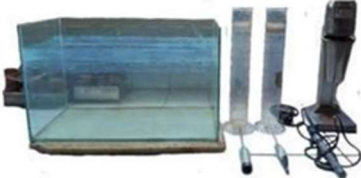


Gambar 6. Semen

2.5 Peralatan Laboratorium

Peralatan laboratorium yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan untuk pengujian sifat-sifat fisis dan mekanis material. Dapat dilihat penjelasan terkait alat-alat untuk pengujian sifat fisis pada tabel 12 dan penjelasan terkait alat-alat pengujian sifat mekanis pada tabel 13.

Tabel 12. Peralatan Pengujian Sifat Fisis

No.	Nama Pengujian	Gambar Alat
1	Pengujian berat jenis (<i>specific gravity</i>) agregat kasar	
2	Pengujian berat jenis (<i>specific gravity</i>) agregat halus	
3	Pengujian hidrometer (<i>hydrometer analysis</i>)	

4

Pengujian analisa saringan (*sieve analysis*)



Tabel 13. Peralatan Pengujian Sifat Mekanis

No.	Nama Pengujian	Gambar Alat
1	Pengujian keausan (<i>Los Angeles abrasion test</i>)	
2	Pengujian kompaksi standar (<i>standard proctor test</i>)	
3	Pengujian kompaksi modifikasi (<i>modified proctor test</i>)	

2.6 Standar Pengujian

Adapun standar pengujian sebagai acuan untuk nilai-nilai karakteristik dasar tanah dalam penelitian ini berpatokan pada standar yang dikeluarkan oleh ASTM (*American Standard Testing and Material*) dan SNI (Standar Nasional Indonesia).

Pada tabel 14 dapat dilihat acuan standar yang digunakan dalam pengujian sifat fisis dan pada tabel 15 acuan standar pada pengujian sifat mekanis.

Tabel 14. Acuan Standar Pengujian Sifat Fisis

Jenis Pengujian	Standard Pengujian	
	ASTM	SNI
Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>) Agregat Kasar	ASTM C 127-24	SNI 1969:2016
Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>) Agregat Halus	ASTM C 128-22	SNI 1970:2016
Analisa Saringan (<i>Sieve Analysis</i>)	ASTM D 6913-17	SNI 3423:2008

Tabel 15. Acuan Standar Pengujian Sifat Mekanis

Jenis Pengujian	Standard Pengujian	
	ASTM	SNI
Kompaksi Standar (<i>Standard Proctor Test</i>)	ASTM D 698-12	SNI 1742:2008
Kompaksi Modifikasi (<i>Modified Proctor Test</i>)	ASTM D 1557-12	SNI 1743:2008
Keausan (<i>Los Angeles Abrasion Test</i>)	ASTM C 131-06 ASTM C 535-16	SNI 2417:2008

2.7 Pengujian Karakteristik Tanah

Benda uji dibuat untuk masing-masing pengujian, yaitu pengujian sifat fisis dan pengujian sifat mekanis pada tanah ekspansif dan tanah pasir. Adapun jumlah sampel tanah yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian

No.	Pengujian	Jumlah Benda Uji
1	Berat Jenis	3
2	Analisa Saringan dan Hidrometer	1
3	Kompaksi	5
4	Keausan	2

2.8 Prosedur Pengujian Sampel

Ada dua jenis prosedur yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pertama prosedur pengujian sampel untuk sifat fisis dan prosedur kedua yaitu pengujian sampel untuk sifat mekanis.

2.8.1 Pengujian Sifat Fisis

Tujuan dari uji sifat fisis yaitu untuk mendapatkan indeks properties sampel. Indeks properties tersebut nantinya akan digunakan dalam mengklasifikasi dan mengidentifikasi jenis sampel, kemudian menjadi acuan dalam menentukan jenis bahan stabilisasi yang sesuai serta menentukan perkiraan awal jumlah kadar bahan stabilisasi yang perlu ditambahkan ke dalam sampel. Pengujian sifat fisis dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis dan pengujian analisa saringan.

1) Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Nilai berat jenis diperlukan dalam perhitungan sifat-sifat tanah seperti rasio rongga, derajat kejenuhan dan analisis ukuran partikel dengan uji hidrometer. Langkah pertama pengujian ini yaitu menyiapkan sampel yang tertahan saringan No. 4 dengan kondisi kering sebanyak 5000 gram. Tahap berikutnya yaitu merendam agregat dalam air selama ± 24 jam. Setelah perendaman selesai, agregat diangkat dan dikeringkan permukaannya menggunakan kain hingga mencapai kondisi jenuh-kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*) lalu ditimbang. Selanjutnya agregat dalam keadaan SSD dimasukkan ke dalam keranjang kawat yang digantung pada timbangan lalu dicelupkan ke dalam air kemudian ditimbang. Langkah terakhir yaitu mengeringkan sampel di dalam oven lalu ditimbang. Kemudian, dilakukan analisa data untuk mendapatkan nilai berat jenis dan klasifikasinya.

2) Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Prosedur pengujian berat jenis agregat halus berbeda dengan agregat kasar karena ukuran butir yang lebih kecil. Tahap awal dimulai dengan penyiapan sampel agregat halus yang telah dikeringkan sebanyak 1000 gram. Sampel direndam dalam air selama ± 24 jam. Setelah perendaman, sampel dikondisikan hingga mencapai keadaan jenuh-kering permukaan (SSD). Penentuan kondisi SSD pada agregat halus dilakukan dengan metode kerucut pasir. Sampel dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk kerucut lalu ditumbuk sebanyak 25 kali dengan tinggi jatuh 5 mm, kemudian cetakan diangkat perlahan. Apabila agregat runtuh secara perlahan namun masih mempertahankan bentuk awal sesaat sebelum runtuh, maka kondisi SSD telah tercapai. Pada kondisi ini, agregat ditimbang sebanyak 500 gram lalu dimasukkan ke dalam piknometer. Piknometer kemudian diisi air hingga tanda batas kalibrasi sambil menghilangkan gelembung udara di dalamnya dengan cara digoyang. Setelah itu piknometer ditimbang untuk mendapatkan berat gabungan agregat dan air. Sebagai pembanding, piknometer yang hanya berisi air hingga tanda batas kalibrasi juga ditimbang. Langkah terakhir yaitu mengeluarkan agregat halus dari dalam piknometer untuk dikeringkan di dalam oven lalu ditimbang. Kemudian, dilakukan analisa data untuk mendapatkan nilai berat jenis dan klasifikasinya.

3) Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200 dan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) tanah. Langkah pertama pada pengujian ini yaitu menyiapkan sampel sebanyak 15000 gram dalam kondisi kering oven. Kemudian siapkan satu set saringan dengan ukuran $1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{8}$ ", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200 dan pan. Masing-masing saringan ditimbang dan pan dalam keadaan kosong, lalu dicatat. Saringan disusun mulai dari dari urutan terkecil ke terbesar dari bawah ke atas dengan pan berada di bawah saringan No. 200. Kemudian sampel 15 kg yang telah disiapkan dimasukkan sedikit demi sedikit dari saringan paling atas kemudian ditutup. Satu set saringan yang telah disusun dimasukkan ke mesin pengguncang selama 15 menit. Setelah itu, masing-masing saringan ditimbang beserta benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan dan dicatat. Kemudian, dilakukan analisa perhitungan untuk distribusi partikel dan dilanjutkan dengan pengujian hidrometer pada fraksi yang lolos saringan No. 200 untuk mengetahui ukuran partikel dan persentase lanau dan lempung.

4) Pengujian Hidrometer

Pengujian hidrometer bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran butir tanah, khususnya lanau (silt) dan lempung (clay) pada benda uji yang lolos saringan no. 200. Pengujian diawali dengan pengambilan sampel uji yang telah dikeringkan kemudian disaring melalui saringan No. 200 hingga diperoleh tanah yang lolos sebanyak 50 gram. Campurkan sampel 50 gram dengan larutan calgon sebanyak 125 ml kemudian diaduk dan didiamkan selama 12 jam. Setelah didiamkan, campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam mangkok dispersi dan ditambahkan air suling sampai mengisi setengah mangkok, kemudian diaduk selama 5 menit. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam gelas ukur lalu ditambahkan air suling hingga mencapai 1000 ml. Campuran dikocok secara bolak balik selama 60 detik sambil menutup gelas ukur lalu menempatkan gelas ukur di dalam bak air. Pembacaan hidrometer dilakukan pada interval waktu 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 90, 120, 240, 1440, dan 2880 menit. Selama pengujian, dilakukan pembacaan suhu. Kemudian, dilakukan analisa perhitungan untuk distribusi partikel dan klasifikasi tanah.

2.8.2 Pengujian Sifat Mekanis

Pengujian sifat mekanis dalam penelitian ini meliputi pengujian kompaksi standar, pengujian kompaksi modifikasi, dan pengujian keausan.

1) Pengujian Keausan

Pengujian keausan agregat dilakukan untuk mengetahui nilai keausan agregat kasar. Pengujian diawali dengan menyiapkan sampel yang sudah dicuci bersih dan dikeringkan. Sampel kemudian disaring dan

ditimbang sesuai dengan gradasi yang telah ditentukan. Selanjutnya, sampel bersama sejumlah bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles. Setelah memastikan penutup tabung terkunci dengan baik, jumlah putaran mesin diatur sesuai dengan gradasi yang telah ditentukan, kemudian menjalankan mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm. Setelah putaran selesai, sampel dikeluarkan dari dalam mesin dan menyaringnya menggunakan saringan No. 12, butiran yang tertahan dicuci bersih lalu dikeringkan kemudian ditimbang. Kemudian, dilakukan analisa perhitungan nilai keausan agregat.

2) Pengujian Kompaksi Standar

Tujuan uji kompaksi adalah untuk mendapatkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum pada suatu proses pemadatan. Metode yang digunakan yaitu metode D. Adapun langkah-langkah dalam pengujian ini diawali dengan menyiapkan tanah kering yang lolos saringan 3/4 inci dengan syarat kadar air mula-mula telah diketahui atau menggunakan tanah kering oven. Timbang seberat 11 kg untuk satu kali pengujian, umumnya dilakukan pengujian kompaksi minimal 4 atau 5 kali pengujian. Kemudian dilakukan penambahan air sedikit demi sedikit dan masing-masing penambahan pada satu kali pengujian dicatat. Masuk ke dalam pengujian, terlebih dahulu *mould* dan *base plate* yang dalam keadaan kosong ditimbang dan dicatat. Kemudian dioleskan sedikit oli pada bagian dalam *mould* dan *base plate*. Tanah dimasukkan di dalam *mould* sebanyak 3 lapis. Untuk tiap lapisan dilakukan pemadatan dengan cara memasukkan *mould* + *collar* dan *base plate* ke dalam alat kompaksi dengan ketinggian jatuh 305 mm dan berat palu pemadat seberat 2,5 kg. Sampel tanah akan dipadatkan sebanyak 56 kali tumbukan untuk masing-masing lapisan. Setelah itu, permukaan tanah diratakan sesuai dengan ketinggian *mould*, kemudian *mould* dan *base plate* berisi tanah yang telah dipadatkan ditimbang dan dicatat nilainya. Kemudian, sampel tanah dikeluarkan dari dalam *mould* menggunakan *extruder* dan diambil sampel pada bagian tengah, atas, dan bawah *mould*. Sampel yang diambil akan dilakukan pencatatan kadar air sesuai dengan prosedur uji kadar air. Terakhir, dilakukan analisa data untuk mendapatkan berat isi maksimum dan kadar air optimum.

3) Pengujian Kompaksi Modifikasi

Metode yang digunakan adalah metode D sesuai dengan prosedur kompaksi modifikasi. Tahapan pengujian diawali dengan menyiapkan tanah kering yang lolos saringan 3/4 inci, dengan ketentuan kadar air awal telah diketahui atau menggunakan tanah dalam kondisi kering oven. Tanah ditimbang sebanyak 11 kg untuk satu kali pengujian, dan umumnya dilakukan minimal 4 hingga 5 variasi kadar air. Selanjutnya dilakukan penambahan air secara bertahap, di mana setiap penambahan air pada masing-masing pengujian dicatat secara sistematis. Sebelum proses pemadatan dimulai, *mould* dan *base plate* dalam kondisi kosong ditimbang dan dicatat beratnya. Bagian dalam *mould* dan *base plate* kemudian diolesi sedikit oli untuk memudahkan pelepasan sampel setelah pemadatan. Tanah dimasukkan ke dalam *mould* sebanyak 5 lapis. Pada setiap lapisan

dilakukan pemadatan dengan memasang *mould* beserta *collar* dan *base plate* ke dalam alat kompaksi. Pemadatan dilakukan menggunakan penumbuk bermassa 4,54 kg dengan tinggi jatuh 457 mm. Setiap lapisan dipadatkan sebanyak 56 kali tumbukan secara merata di seluruh permukaan. Setelah seluruh lapisan selesai dipadatkan, permukaan tanah diratakan hingga sejajar dengan tinggi *mould*. *Mould* beserta *base plate* yang telah berisi tanah padat kemudian ditimbang dan dicatat beratnya. Selanjutnya, sampel tanah dikeluarkan dari *mould* menggunakan *extruder*, kemudian diambil contoh tanah dari bagian atas, tengah, dan bawah untuk pengujian kadar air. Tahap akhir adalah melakukan analisis data untuk menghitung berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dari kurva hubungan kadar air terhadap berat isi kering.