

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian pertama yang dijadikan referensi yaitu Korelasi CBR Dengan Indeks Plastisitas Pada Tanah Universitas Kristen Maranatha (Tarigan, Salmon Atmaja, 2005). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, semakin tinggi nilai plastisitas suatu tanah maka semakin kecil nilai CBR nya, dan semakin tinggi nilai kadar air optimum suatu tanah maka semakin kecil nilai CBR nya.

Penelitian kedua yang dijadikan referensi yaitu Pengaruh Kadar Lempung Dan Kadar Air Pada Sisi Basah Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lempung Kepasiran (*Sandy Clay*) (Iqbal et al., 2014). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, kadar lempung menyebabkan peningkatan penyerapan air, sehingga kepadatan dan kekuatan tanah akan berkurang, berkurangnya kepadatan dan kekuatan ini akan menyebabkan penurunan nilai CBR. Perendaman akan mengakibatkan menurunnya nilai CBR tanah.

Penelitian ketiga yang dijadikan referensi yaitu Ratio Nilai *Soaked* dan *Unsoaked CBR Subgrade* Terhadap Tebal Perkerasan *Runway* Bandara Malikussaleh Lhokseumawe (Akbar, 2016). Dari hasil penelitian diperoleh ratio nilai CBR subgrade soaked dan nilai CBR subgrade unsoaked adalah 5,64, yang berarti besarnya nilai CBR unsoaked 5,64 kali nilai CBR soaked. Tebal perkerasan total dengan menggunakan nilai CBR soaked adalah 412 mm, sedangkan nilai CBR unsoaked adalah 247 mm. Ternyata nilai CBR subgrade pada sebuah runway harus memiliki nilai kualitas yang tinggi dan sesuai dengan beban (pesawat) yang dilayani pada bandara tersebut.

Penelitian keempat yang dijadikan referensi yaitu Nilai *Plasticity Index* Material Plastis terhadap *California Bearing Ratio* Lapis Pondasi Agregat Kelas-S (Marpaung et al., 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa, sirtu dan batu pecah adalah material nonplastis. Sedangkan tanah memiliki PI (*Plasticity Index*) = 14,50%. Hasil penelitian terhadap komposisi campuran menunjukkan bahwa

semakin banyak persentase tanah dalam komposisi akan menyebabkan nilai PI semakin besar. Semakin besar nilai PI akan menyebabkan semakin rendahnya nilai CBR. Ketiga komposisi campuran masih memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2010 (revisi 3).

Penelitian kelima yang dijadikan referensi yaitu Pengaruh Variasi Nilai Index Plastisitas Dari Agregat Halus Terhadap Daya Dukung Lapis Pondasi Agregat Kelas-A (Adelina A.R Runtuwene et al., 2021). Nilai index plastisitas mempengaruhi nilai CBR. Kenaikkan nilai index plastisitas sebesar 1.2% dapat menurunkan nilai CBR sebesar 11%. Untuk material pada penelitian ini penambahan tanah dapat dilakukan sebesar 3%. Disarankan walau nilai index plastisitas diperbolehkan hingga 6% dalam pelaksanaannya sebaiknya material untuk Lapis Pondasi Agregat kelas-A memiliki nilai index plastisitas sekecil mungkin. Seperti hasil penelitian ini, meningkatnya nilai index plastisitas menyebabkan daya dukung Lapis Pondasi Agregat kelas-A mengalami penurunan.

2.2 Pengertian Jalan

Jalan raya adalah suatu lintasan yang bertujuan untuk melewati lalu lintas dari suatu tempat ke tempat lain. Lintasan tersebut menyangkut jalur tanah yang diperkuat (diperkeras) dan jalur tanah tanpa perkerasan.

Adapun definisi jalan menurut beberapa para ahli sebagai berikut:

1. Silvia Sukirman (1994), menyebutkan bahwa jalan adalah jalur yang diatas permukaan bumi yang dengan sengaja dibuat oleh manusia dengan berbagai bentuk, ukuran dan konstruksinya untuk dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang-barang dari tempat yang satu ke tempat yang lainnya dengan cepat dan mudah.
2. Hendarsin (2000), menyebutkan bahwa perkerasan jalan adalah serangkaian konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar untuk menopang jalur lalu lintas. Perkerasan jalan memungkinkan permukaan jalan lebih awet dan tahan terhadap perubahan cuaca dibandingkan jalan tanpa perkerasan.

3. Oglesby (1999), menyebutkan bahwa jalan raya adalah jalur–jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran–ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat.

4. Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) (1997), menyebutkan bahwa jalan merupakan bagian dari jalur gerak, median dan pemisah luar.

2.3 Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2003) menjelaskan bahwa, perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti.

2.3.1 Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, yang sifatnya lentur terutama pada saat panas, dan lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas dari atas ke tanah dasar. Pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan yang melayani beban lalu lintas ringan sampai sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas terletak di bawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap. Perkerasan lentur merupakan struktur perkerasan yang sangat banyak digunakan dibandingkan dengan struktur perkerasan kaku. Struktur perkerasan lentur di konstruksi baik untuk jalan, maupun untuk konstruksi landasan pacu.

Ciri-ciri konstruksi perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

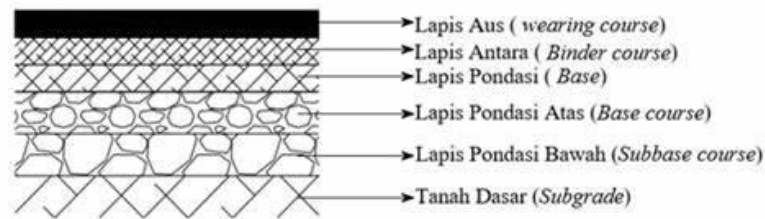
1. Menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
2. Pengaruh repetisi beban terhadap perkerasan lentur adalah timbulnya *rutting* (lendutan pada jalur roda).
3. Sifat dari perkerasan lentur ini adalah memikul serta menyebarkan beban lalu lintas dari atas ke tanah dasar.
4. Penurunan tanah dasar pada perkerasan lentur yaitu jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar).
5. Perubahan temperatur pada perkerasan lentur yaitu modulus kekakuan berubah serta timbul tegangan dalam yang kecil.

Keuntungan menggunakan perkerasan lentur antara lain:

1. Dapat digunakan pada daerah dengan perbedaan penurunan (*differential settlement*) terbatas.
2. Mudah diperbaiki.
3. Tambahan lapisan perkerasan dapat dilakukan kapan saja.
4. Memiliki tahanan geser yang baik.
5. Warna perkerasan memberi kesan tidak silau bagi pemakai jasa.
6. Dapat dilakukan bertahap, terutama pada kondisi biaya pembangunan terbatas atau kurangnya data untuk perencanaan.

Kerugian menggunakan perkerasan lentur antara lain:

1. Tebal total struktur perkerasan lebih tebal dibandingkan perkerasan kaku.
2. Kelenturan dan sifat kohesi berkurang selama masa pelayanan.
3. Tidak baik digunakan jika sering digenangi air.
4. Menggunakan agregat lebih banyak



Gambar 2.1 Susunan Lapis Perkerasan Jalan

2.3.2 Komponen perkerasan lentur

Struktur perkerasan jalan dibuat secara berlapis dan terdiri atas lapisan permukaan (*surface course*) yaitu lapisan aus dan lapis antara. Lapisan dibawahnya ialah lapisan pondasi yang terdiri dari lapisan pondasi atas (*base course*) dan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan ini diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan (*subgrade*).

1. Lapis Tanah Dasar (*subgrade*)

Lapis tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakkan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan diatasnya. Menurut spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR).

Lapis tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dan lain-lain.

Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas:

- Lapisan tanah dasar, tanah galian.
- Lapisan tanah dasar, tanah urugan.
- Lapisan tanah dasar, tanah asli.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

- Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
- Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air.
- Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksanaan misalnya kepadatan yang kurang baik.

2. Lapis Pondasi Bawah (*subbase course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapis perkerasan yang terletak di atas lapis tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai:

- Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
- Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan.
- Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari pengaruh cuaca terutama hujan.

3. Lapis Pondasi Atas (*base course*)

Lapis pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapis pondasi atas ini berfungsi sebagai:

- Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Dalam penentuan bahan lapis pondasi ini perlu dipertimbangkan beberapa hal antar lain, kecukupan bahan setempat, harga, volume pekerjaan jarak angkut bahan ke lapangan.

4. Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapis permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapis permukaan ini berfungsi sebagai:

- Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.
- Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (*lapis aus*).
- Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.

Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya. Apabila diperlukan, dapat juga dipasang suatu lapis penutup/lapis aus (*wearing course*) di atas lapis permukaan tersebut. Fungsi lain lapis aus ini adalah sebagai lapisan pelindung bagi lapis permukaan untuk mencegah masuknya air dan untuk memberikan kekesatan (*skid resistance*) permukaan jalan. Lapis aus tidak diperhitungkan ikut memikul beban lalu lintas.

Tabel 2. 1 Persen Berat Agregat yang Lolos Lapis Pondasi Agregat dan Lapis Drainase

Ukuran Ayakan		Persen Berat Agregat Yang Lolos			
ASTM	(mm)	Lapis Pondasi Agregat			Lapis Drainase
		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 : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

Tabel 2.2 Sifat-sifat Gradasi Lapis Pondasi Agregat dan Lapis Drainase

Sifat-sifat	Lapis Pondasi 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	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0-6	4-10	4-15	-
Hasil Kali Indeks 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 1744:20212)	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

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2)

Catatan :

- 1) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat 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 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 mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.4 Agregat

2.4.1 Pengertian agregat

Agregat artinya sekumpulan buah/butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa akibat alam ataupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang digunakan bersama-sama menggunakan suatu media pengikat buat membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan.

Agregat digunakan sebagai material penyusun lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis permukaan, bahu jalan yang diperkeras/berpenutup, konstruksi pelebaran jalan. Agregat adalah material perkerasan jalan yang mempunyai persentase dominasi sebesar 75% sampai 85% dari total volume komposisi perkerasan. Sehingga otomatis agregat menjadi faktor kekuatan utama dalam konstruksi perkerasan jalan. Agregat halus yang berfungsi untuk menstabilkan mekanis agar mempunyai suatu kekuatan untuk menghindarkan terjadinya kerusakan akibat beban lalu lintas.

Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah melalui proses pelapukan dan abrasi yang berlangsung lama. Atau agregat dapat juga diperoleh dengan memecah batuan induk yang lebih besar.

2.4.2 Sifat-sifat fisik dan mekanik agregat

Adapun sifat-sifat fisik agregat adalah sebagai berikut :

1. Berat Jenis (*Spesific Gravity*)

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat agregat di udara dari suatu unit volume terhadap berat air dengan volume yang sama. Pengukuran berat jenis dapat dilakukan pada 3 kondisi:

- a. *Apparent Specific Gravity* (berat jenis absolut) yaitu perbandingan berat agregat tanpa pori di udara dengan volumenya.
- b. *Bulk Specific Gravity (saturated surface dry)* yaitu perbandingan berat agregat, termasuk berat air dalam pori dengan volumenya

c. *Bulk Specific Gravity (dry)* yaitu perbandingan berat agregat, termasuk pori di udara dengan volumenya. *Apparent specific gravity* berkisar antara 2,5 - 2,7.

2. Berat Volume (*Bulk Density*)

Berat volume adalah berat aktual yang akan mengisi suatu penampung/wadah dengan volume satuan. Berat volume diukur dalam kondisi padat dan gembur.

3. Porositas dan Absorpsi

Porositas dan absorpsi mempengaruhi daya lekat antara agregat dengan pasta, daya tahan terhadap abrasi, dan mempengaruhi nilai *specific gravity*. Absorpsi agregat ditentukan dengan pengurangan berat dari kondisi SSD ke kondisi kering oven. Absorpsi adalah perbandingan antara pengurangan tersebut terhadap berat kering dalam persen.

4. Kadar Air

Berbeda dengan absorpsi yang nilainya tetap sedangkan kadar air nilainya berubah ubah sesuai dengan kondisi cuaca. Kadar air ditentukan dengan pengurangan berat agregat dari kondisi tertentu ke kondisi kering oven. Kadar air adalah perbandingan antara pengurangan berat tersebut terhadap berat kering dalam persen. Pengukuran kadar air sangat diperlukan pada pelaksanaan pencampuran beton sehingga kelecikan dan faktor air semen adukan beton tetap seperti yang direncanakan semula.

Adapun sifat-sifat mekanik agregat adalah sebagai berikut :

1. Daya Lekat

Ukuran agregat sangat mempengaruhi kekuatan beton yang diinginkan atau direncanakan. Tekstur yang lebih kasar akan menyebabkan daya lekat lebih besar. Daya lekat baik ditandai dengan banyaknya partikel agregat yang pecah pada beton dalam hal ini lapis pondasi atas akibat pengujian kuat tekan. Tetapi terlalu banyak partikel agregat yang pecah menandakan bahwa agregat terlalu lemah.

2. Kekuatan

Kekuatan yang dibutuhkan pada agregat lebih tinggi dari pada kekuatan beton karena tegangan sebenarnya yang terjadi pada masing- masing partikel lebih tinggi dari pada tegangan nominal yang diberikan

3. Kekerasan

Kekerasan agregat sangat diperlukan khususnya pada beton untuk struktur jalan atau pada lantai beton yang memikul beban lalu lintas yang berat. Kekerasan agregat dapat diukur dengan Bejana *Rudolf*.

2.4.3 Jenis-jenis agregat

Menurut Bina Marga 2002 agregat dibagi menjadi 3 jenis dalam perkerasan jalan berdasarkan ukuran butirannya yaitu:

1. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butirannya lebih besar dari saringan no. 4 (4,75 mm).
2. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butirannya lebih halus dari saringan no. 4 (4,75 mm).
3. Bahan Pengisi (*filler*) adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan no.200 (0,075 mm).

Sedangkan menurut *The Asphalt Institut* dan Depkimpraswil, 2002 membedakan agregat menjadi 3 jenis yaitu:

1. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan no. 8 (2,36 mm).
2. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan no.8 (2.36 mm).
3. Bahan Pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan no. 30 (0,60 mm).

A. Agregat Halus

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. agregat halus dari sumber bahan manapun harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan no.200 (0,075 mm) serta harus merupakan bahan yang bersih, keras, dan bebas dari lempung.

Fungsi agregat halus adalah sebagai berikut:

1. Menambah nilai stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat kasar dan juga untuk mengurangi rongga udara agregat kasar.
2. Agregat halus pada saringan no.8 sampai saringan no.30 penting dalam memberikan kekasaran yang baik untuk kendaraan pada permukaan aspal.
3. Agregat halus pada saringan no.30 sampai saringan no.200 penting untuk menaikkan kadar aspal, akibatnya campuran akan lebih awet.
4. Semakin kasar tekstur permukaan agregat halus akan menambah stabilitas campuran dan menambahkan kekasaran permukaan.
5. Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus sangat penting untuk memperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan agar efisiensi.

B. Agregat Kasar

Fraaksi agregat kasar untuk rancangan campuran perkerasan adalah agregat yang tertahan ayakan/saringan No.4 (4,75 mm) dimana kondisi agregat harus bersih, keras, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya serta memenuhi ketentuan yaitu mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar agregat dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik dengan material yang lain. Agregat kasar adalah salah satu material yang digunakan untuk pembuatan lapis pondasi pada struktur perkerasan jalan. Agregat kasar terdiri dari agregat kelas A dan agregat kelas B. Kelas ini menunjukkan kualitas serta besar butiran dari agregat tersebut juga kelas agregat menentukan pemakaian material ini pada lapis perkerasan jalan.

Fungsi agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. Memberikan stabilitas campuran dengan kondisi saling mengunci (*interlocking*) masing-masing agregat kasar, serta memiliki tahanan gesek terhadap suatu fraksi perpindahan.
2. Nilai stabilitas campuran aspal ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat yang digunakan.

Bentuk permukaan konstruksi agregat pada lapis pondasi atas tidak boleh memiliki kerusakan yang bisa membuat agregat tidak bisa menahan kelembaban dari semua lapis perkerasan.

C. Bahan Tambah (*Filler*)

Bahan pengisi dapat terdiri atas debu batu kapur, debu dolomite, semen Portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi yang merupakan mikro agregat ini harus lolos saringan No.200 (0,075 mm). Dari sekian banyak jenis bahan pengisi maka kapur padam banyak digunakan dari pada semen Portland. Semen Portland mudah diperoleh dan mempunyai grading butiran yang bagus namun demikian harganya sangat mahal.

Fungsi dari bahan pengisi (*filler*) ini adalah:

1. Sebagai pengisi rongga antara partikel yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butiran yang tinggi, dengan meningkatkan stabilitas campuran.
2. Jika ditambahkan ke dalam aspal, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan aspal mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, aspal menjadi lebih kental dan campuran agregat menjadi bertambah kekuatannya.

2.5 Tanah

Menurut Suyono Sasrodarsono (1984), tanah didefinisikan sebagai partikel-partikel mineral yang tersemen maupun yang lepas sebagai hasil pelapukan dari batuan, dimana rongga pori antar partikel terisi oleh udara dan atau air.

Proses pelapukan yang membentuk tanah dapat berasal dari batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi. Pembentukan tanah yang berasal dari pelapukan batuan terjadi secara fisik maupun kimia. Proses pelapukan secara fisik didasari oleh adanya pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau akibat perubahan suhu serta cuaca yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya, sedangkan pelapukan secara kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lainnya (Hardiyatmo, 2002).

2.6 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokkan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya. (Das, 1995).

Klasifikasi tanah berdasarkan hasil percobaan laboratorium dapat dilakukan menggunakan 2 sistem yang ada, yaitu :

1. Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS).
2. Sistem Klasifikasi AASHTO (*The American Association of State Highway and Transportation Officials*).

2.6.1 Sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS).

Casagrande adalah orang yang pertama kali mengajukan sistem klasifikasi USCS pada tahun 1942 yang kemudian mendapat revisian dari pihak USBR (*United Bureau of Reclamation*) dan USACE (*United State Army Corps of Engineer*). Sistem USCS mengklasifikasikan apabila pada saringan No.200 tanah tertahan sebanyak 50%, maka tanah tersebut termasuk kategori tanah berbutir kasar, dan apabila pada saringan No.200 tanah lolos sebanyak 50%, maka tanah tersebut termasuk kategori tanah berbutir halus (Hardiyatmo,2010).

Sistem USCS membagi tanah ke dalam dua kategori utama, yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir dengan persentase kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No.200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok tanah berbutir kasar diawali dengan huruf G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) dan S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) dengan persentase lebih dari 50% tanah lolos saringan No.200 ($F_{200} > 50$). Simbol kelompok tanah berbutir halus diawali huruf C untuk lempung (*anorganic clay*), M untuk lanau (*anorganic silt*), O untuk lanau atau lempung organik, dan Pt untuk tanah gambut atau tanah organik tinggi (*peat*). Kategori-kategori tersebut selanjutnya diberi kode berupa huruf W untuk tanah dengan gradasi baik (*well-graded*), P untuk gradasi buruk (*poorly graded*), H untuk tanah dengan plastisitas tinggi (*high-plasticity*), dan L untuk tanah dengan plastisitas rendah (*low-plasticity*).

Tabel klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) dapat dilihat pada tabel 2.3

2.6.2 Sistem klasifikasi tanah AASHTO

Sistem klasifikasi tanah ASHTO membagi tanah menjadi 8 kelompok, yaitu A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Setiap kelompok tanah dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang didapat dari perhitungan rumus empiris.

Sistem ini digunakan untuk pengujian analisis saringan dan batas konsistensi tanah (*Atterberg Limits*) (Hardiyatmo,2010). Sistem klasifikasi tanah AASTHO dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System (USCS)*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran terahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar terahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil dengan Butiran halus	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lotos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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 $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
		Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	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 $\geq 50\%$	MH		Lanau anorganik atau pasir halus diatomac, atau lanau diatomac, 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 : Mekanika Tanah 1 Edisi keenam Hary Christady Hardiyatmo, 2014)

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau-lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 batas cair (LL)	---	---	≤ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Indeks elastisitas (PI)	≤ 6	NP	≤ 10	≥ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Buruk sekali sampai baik							sedang sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$
 ** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

(Sumber : Mekanika Tanah 1 Edisi keenam Hary Christady Hardiyatmo, 2014)

Tanah dalam tiap kelompok akan dievaluasi lebih lanjut dengan indeks kelompok (*Group Index*) (GI), semakin tinggi indeks kelompok (GI) suatu tanah, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah yang kurang dari 35% lolos saringan No.200 maka diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 adalah tanah granular yang bergradasi baik, tanah A-2 termasuk tanah granular yang mengandung lanau dan lempung, sedangkan A-3 merupakan pasir bersih bergradasi buruk. Tanah yang lebih dari 35% lolos saringan No.200 diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau.

Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diklasifikasikan ke dalam kelompok atau *Group Indeks* (GI) ditentukan dengan menggunakan persamaan di 2.1

$$GI = (F-35) [0.2+0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (PI-10).....(2.1)$$

Keterangan :

GI : indeks kelompok (*group index*)

F : persen butiran lolos saringan No.200 (0,075 mm)

LL : batas cair

PI : indeks plastisitas

Nilai GI biasanya dituliskan pada bagian belakang dengan tanda kurung.

Terdapat beberapa aturan untuk menggunakan nilai GI, yaitu :

1. Bila $GI < 0$, maka dianggap $GI = 0$
2. Nilai GI yang dihitung dari persamaan (2.1), dibulatkan pada angka terdekat.
3. Nilai GI untuk kelompok tanah A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu 0.
4. Untuk kelompok tanah A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari persamaan indeks kelompok yang digunakan, $GI=0.001 (F-15) (PI-10)$.
5. Tidak ada batas atas nilai GI, GI maksimum 20.

Terdapat beberapa kriteria penting yang harus diperhatikan terkait klasifikasi tanah dengan sistem AASHTO, kriteria tersebut diantaranya adalah :

1. Ukuran butiran
 - a. Kerikil adalah bagian tanah yang tertahan pada ayakan No.4 (4,75 mm).
 - b. Pasir adalah fraksi tanah yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm) dan yang tertahan ayakan No.200 (0,075 mm).
 - c. Lanau adalah fraksi tanah yang berukuran 0,002 mm – 0,0075 mm.
 - d. Lempung adalah fraksi tanah yang diameternya $< 0,002$ mm.
2. Apabila terdapat batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah maka batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu dan persentase batuan tersebut dicatat.

2.7 Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953).

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 1999) adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,005 mm.
2. Permeabilitas rendah.
3. Kenaikan air kapiler tinggi.
4. Bersifat sangat kohesif.
5. Kadar kembang susut yang tinggi.
6. Proses konsolidasi lambat.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembangan. Karakteristik pengembangan hanya dapat diperkirakan dengan menggunakan indeks plastisitas (Holtz dan Gibbs, 1962).

Sifat plastis dari suatu tanah adalah disebabkan oleh air yang terserap di sekeliling permukaan partikel lempung, maka dapat diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang dikandung didalam suatu tanah akan mempengaruhi batas plastis dan batas cair tanah yang bersangkutan.

2.8 Pengujian Laboratorium

2.8.1 Pengujian sifat fisik material dan campuran

2.8.1.1 Kadar air

Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat keseluruhan sampel tanah yang dinyatakan dalam persen. Kadar air tanah merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kolerasi antara perilaku tanah dengan sifat fisik tanah. Pemeriksa kadar air dilakukan menggunakan metode kering oven (*oven drying method*), dimana benda uji dipanaskan selama 16 sampai 24 jam pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Pada keadaan khusus, benda uji yang tanah lempung yang terdiri dari mineral *monorilinite/holosite*, *gypsum*, ataupun bahan-bahan organik (seperti tanah gambut), maka suhu pengering dalam oven maksimum adalah 60°C . Dengan waktu pengeringan yang lebih lama. Penentuan kadar air termasuk pengujian yang rutin dilaksanakan pada pengujian tanah.

2.8.1.2 Analisa saringan

Analisa saringan adalah analisis yang dilakukan untuk menentukan gradasi butir (distribusi ukuran butir), yaitu dengan menggetarkan sampel melalui saringan ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kebawah makin kecil secara berurutan. Analisa saringan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu analisa ayakan dan analisa hidrometer.

Analisa saringan adalah suatu kegiatan untuk mengetahui distribusi ukuran agregat halus dengan menggunakan ukuran-ukuran saringan standart tertentu yang ditunjukkan dengan lubang saringan (mm).

Analisa saringan merupakan metode yang dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir tanah yang mempunyai ukuran lebih besar dari 0,075 mm. Ukuran ayakan yang umum digunakan untuk mengetahui distribusi butiran tanah berdasarkan *American Society for testing And Materials* (ASTM, 1981), *British Standard* (BS 410:BS 1377,1975) dan *American Association of State Highway and transportation Officials* (AASHTO) dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Diameter Lubang Ayakan beberapa Standar

<i>American society for Testing and Materials (ASTM)</i>		AASHTO	British Standard	
Nomor Ayakan	Ukuran Lubang	Ukuran Lubang (mm)	Nomor Ayakan	Ukuran Lubang (mm)
No. 4	4,76	4,75	-	-
No. 6	3,35	-	-	-
No. 8	2,36	2,36	No. 8	2,057
No. 10	2,00	-	-	-
No.16	1,18	1,18	No. 16	1,003
No. 20	0,841	-	No. 30	-
No. 30	0,595	0,600	No. 36	0,50
No. 40	0,425	-	-	-
No. 50	0,300	0,300	No. 52	0,295
No. 60	0,250	-	No. 60	0,251
No. 80	0,180	-	No. 85	0,178
No. 100	0,150	0,150	No.150	0,152
No. 140	0,106	-	-	-
No. 170	0,088	0,090	-	-
No.200	0,075	0,075	No. 200	0,076

(Sumber: Pengujian Tanah di Laboratorium G. Budi, 2011)

Analisa saringan dapat dilakukan dengan dua macam cara yaitu dengan cara kering (*dry method*) dan cara basah (*wet method*). Analisa saringan cara kering dilakukan apabila tanah yang akan ditentukan distribusi butirannya cukup bersih dan hanya sedikit mengandung butiran halus yang mempunyai diameter kurang dari 0,075 mm untuk material yang non kohesif dan bersih dari tempelan lempung serta lanau, sedangkan cara basah dilakukan dengan mencuci tanah dengan air sampai menjadi lumpur encer dan dibasuh seluruhnya melewati saringan apabila tanah mengandung cukup banyak partikel halus dengan diameter kurang dari 0,075 mm atau terdapat indikasi campuran tanah lempung serta lanau pada tanah non-kohesif, sehingga terdapat kemungkinan tanah lempung dan lanau tersebut menempel pada butiran tanah yang tidak akan lepas meskipun telah dikeringkan.

2.8.1.3 Batas-batas atterberg

Batas-batas Atterberg sangat berguna untuk identifikasi dan klasifikasi tanah. Batas-batas Atterberg diciptakan oleh Albert Atterberg seorang kimiawan Swedia dan kemudian diperbaharui oleh Arthut Casagrande. Atterberg mengembangkan metode untuk menjelaskan sifat konsisten tanah butir halus pada kadar air yang bervariasi dan membuat batasan-batasan dari keadaan yang dapat terjadi pada partikel tanah yang terdiri atas batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air yang terkandung di dalam tanah pada perbatasan antara fase cair dan fase plastis. Pengujian batas cair dilakukan menggunakan alat Cassagrande yang dimaksudkan untuk menentukan besarnya jumlah kadar air di dalam contoh tanah pada saat fase tanah akan berubah dari air menjadi plastis atau sebaliknya. *Liquid limit* didapat dengan membaca grafik *flow curve* pada ketukan ke-25.

Batas susut (SL) adalah batasan kadar air dimana tidak akan terjadi perubahan volume pada massa tanah, apabila kadar airnya dikurangi karena suatu contoh tanah akan menyusut sebanding dengan volume air di dalam pori tanah yang menguap.

Indeks Plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai nilai PI tinggi, maka dapat diambil kesimpulan tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika nilai PI tanah rendah, seperti lanau, dengan adanya sedikit pengurangan kadar air akan mengakibatkan tanah menjadi kering. Indeks plastisitas didapat dengan mencari selisih dari batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

PI : indeks plastisitas

LL : batas cair

PL : batas plastis

2.8.1.4 Abrasi dari agregat

Abrasi atau keausan agregat adalah proses penghancuran atau pecahnya agregat, dalam hal ini agregat kasar akibat proses mekanis seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan pembuatan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, kepanasan, dan perubahan suhu sepanjang hari.

2.8.1.5 Gumpalan lempung

Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat adalah butir-butir agregat yang mudah pecah dengan cara ditekan di antara Ibu jari dan jari telunjuk, setelah agregat tersebut direndam dalam air suling selama (24 ± 4) jam.

2.8.1.6 Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Berat jenis tanah adalah massa tanah kering yang mengisi ruangan di dalam lapisan tanah. Berat jenis partikel tanah-tanah mineral umumnya berkisar antara 2,60 sampai dengan 2,70 gr/cm^3 , sedangkan berat jenis partikel bahan organik tanah, berkisar antara 1,30 sampai dengan 1,50 gr/cm^3 . Berat jenis atau berat spesifik (*specific gravity*) (Gs) adalah angka perbandingan (rasio) antara berat isi butiran tanah dan berat isi air suling (*distilled water*). Berat jenis tanah (Gs) adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air pada volume yang sama dan suhu tertentu.

Berat jenis tanah digunakan untuk menghitung *index properties* tanah seperti angka pori, berat isi tanah, derajat kejenuhan, dan karakteristik pemampatan serta sifat-sifat penting tanah lainnya. Nilai berat jenis berbagai jenis tanah berbeda satu sama lain sesuai jenis material tanah yang terkandung di dalamnya. Nilai nilai berat jenis tanah untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Berat Jenis Tanah (*specific gravity*)

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
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 – 1,80

(Sumber: Hary Chirstady hardiyatmo, 2014)

2.8.2 Pengujian Sifat Mekanis

2.8.2.1 Pemasatan

Pemasatan merupakan suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel atau suatu proses dimana partikel-partikel tanah diatur kembali dan dikemas menjadi bentuk yang padat dengan bantuan peralatan mekanik dan bertujuan untuk mengurangi porositas tanah sehingga memperbesar berat isi kering (*dry density*) tanah tersebut (Theodosius dkk, 2002). Percobaan pemasatan di laboratorium dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam yaitu:

a) Percobaan pemasatan standard (*Standard Proctor Test*).

Pemasatan ini dikembangkan oleh R.R Proctor ketika sedang membangun bendungan untuk Los Angeles Water District di California pada akhir tahun 1920-an (Bowles. 1991).Percobaan ini dilakukan dengan memasatkan tanah di dalam suatu cetakan (*mold*) dengan volume 1/30 ft³ dengan menggunakan palu pematat yang beratnya 5,5 Lb (2,5 kg) dan ketinggian jatuh palu 12 inch (30,5 cm). Cetakan diisi dengan tanah yang terdiri dari 3 (tiga) lapis, masing-masing lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali tumbukan dengan syarat tanah yang digunakan harus lolos saringan No. 4.

b) Percobaan pemadatan modified (*Modified Proctor Test*).

Cara melakukan percobaan ini kurang lebih sama dengan cara melakukan percobaan pemadatan standard. Ukuran cetakan dan jumlah tumbukan pada setiap lapisan sama dengan percobaan pemadatan standard, yang berbeda hanyalah berat palu pemadat yaitu 10 Lb (5 kg), tinggi jatuh palu 18 inch (45 cm) dan jumlah lapisan tanah yang dipadatkan adalah 3 (tiga) lapisan.

Prinsip pengujian *proctor* yaitu suatu penumbukan dari ketinggian tertentu akan ditumbukkan beberapa kali pada sejumlah lapisan tanah di dalam suatu cetakan (*mold*) untuk menghasilkan suatu sampel dengan volume tertentu. Pemadatan *proctor* standar dan pengujian pemadatan *proctor* modifikasi telah dispesifikasikan dalam pengujian standar oleh ASTM dan AASHTO terkait ukuran penumbuk, jumlah jatuhnya, jumlah lapisan, dan volume cetakan. Spesifikasi ini dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Spesifikasi Pengujian Pemadatan Proctor

Pengujian		Proctor Standar	Proctor Modifikasi
Nomor ASTM		D 698-70	D 1557-70
Nomor AASHTO		T-99	T-180
Volume Cetakan	(m^3)	945×10^{-6}	945×10^{-6}
	(ft^3)	0,033	0,033
Penumbuk	Masa (kg)	2,5	4,5
	Berat (lb)	5,5	10
Tinggi Jatuh	(m)	0,3	0,46
	(ft)	1	1,5
Usaha Pemadatan (Tenaga)		25 tumbukan /lapis	26 tumbukan /lapis
		3 lapisan	5 lapisan
		590 kJ/m^3 atau 12375 fb lb/ft^3	2700 kJ/m^3 atau 56250 fb lb/ft^3

(Sumber: Bowles, *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*, 1984)

Pengujian pemadatan *proctor* dilakukan pengulangan paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan (Hardiyatmo, 2002). Dalam pengujian pemadatan *proctor* apabila diketahui berat tanah basah di dalam cetakan yang volumenya, maka berat isi basah dapat langsung dihitung dengan persamaan (2.3) dan (2.4)

$$\gamma_{\text{basah}} = \frac{\text{Berat tanah basah di dalam cetakan}}{\text{Volume cetakan}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Berat isi dapat langsung dihitung dengan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

γ_d = berat isi kering

W = berat total tanah kompaksi bahan dalam mold

V = volume mold

w = kadar air tanah kompaksi

Nilai puncak dari berat isi kering disebut kerapatan kering maksimum (kerapatan *Proctor*). Kadar air pada kerapatan kering maksimum disebut kadar air optimum atau *optimum moisture content* (OMC). Garis *Zero Air Voids* (ZAV) menunjukkan kerapatan kering pada saat kejenuhan (*saturation*) 100%, dan langsung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{G_s \times \gamma_w}{(1 + \frac{w \times G_s}{S_r})} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

G_s = Berat Jenis Tanah

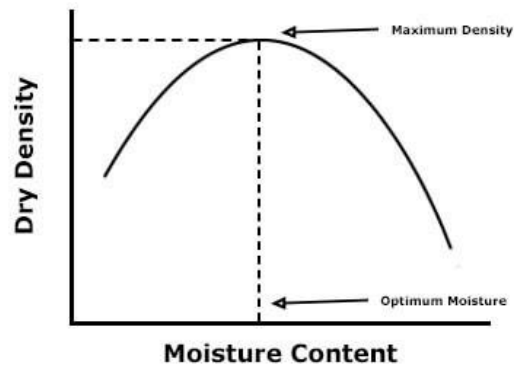
γ_d = Berat Volume Air

W = Kadar Air

S_r = Derajat Kejenuhan

Pengujian pemadatan *procotor* digambarkan dalam grafik hubungan kadar air (*moisture content*) dan berat volume keringnya (*dry density*) seperti pada gambar 2.2

Proctor Curve (Moisture Density Curve)



Gambar 2.2 Grafik Pengujian Pemadatan *Proctor*

Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air terbaik (W_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Tipe tanah dan gradasi akan mempengaruhi kurva pemadatan. Umumnya tanah yang dominan berbutir halus atau *fine grain* akan membutuhkan kadar air lebih untuk mencapai pemadatan optimum, sebaliknya tanah dominan berbutir kasar atau *coarse grain* membutuhkan sedikit kadar air untuk mencapai kadar air pemadatan optimum. Hal ini juga terkait pada sifat plastisitasnya dimana tanah berbutir atau *fine grain* seperti lempung kelanauan memiliki sifat plastis dibanding tanah berbutir kasar seperti pasir kelanauan yang memiliki indeks plastisitas rendah.

2.8.2.2 CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dan dinyatakan dalam persentase.

Nilai yang tertera pada CBR dipakai sebagai dasar perencanaan perkerasan yang terdapat pada timbunan jalan, jumlahnya tergantung pada berapa kelas jalan yang diinginkan. Kondisi tanah dasarnya akan semakin baik, apabila jumlah nilai CBRnya pun semakin tinggi. Namun jika jumlah nilai CBR aslinya rendah maka konstruksi yang ada di jalanan pun akan menjadi lebih mudah rusak. Nilai CBR ini bisa dinaikkan atau ditingkatkan dengan melakukan pemadatan, tetapi di dalam

pelaksanaannya akan mengacu pada nilai yang tertera pada kadar air secara optimum serta berat isi kering secara maksimum.

CBR dapat dibagi menjadi:

1. CBR lapangan (CBR *in place* atau *field CBR*) Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan) atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi.
2. CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*) Digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swell*) yang maksimum.
3. CBR laboratorium/CBR rencana titik (*laboratory CBR/ design CBR*) Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Berarti nilai CBRnya adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuatkan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan, CBR ini disebut CBR laboratorium karena disiapkan di laboratorium atau disebut juga CBR rencana titik. CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 (dua) macam:
 - 1) CBR laboratorium rendaman (*soaked laboratory CBR/soaked design CBR*);
 - 2) CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked laboratory CBR/unsoaked design CBR*).

Nilai CBR diperoleh dengan membagi nilai beban terkoreksi pada penetrasi 0,01 inci (2,54 mm) dan 0,02 inci (5,08mm) dengan berat standar secara berurutan sebesar 13 KN (3000 lbs) dan 20 KN (6000 lbs) lalu dikalikan 100. Nilai CBR dinyatakan dalam persen (%) dengan persamaan sebagai berikut:

$$CBR = \frac{\text{Beban Terkoreksi}}{\text{Beban Standar}} \times 100 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana beban terkoreksi dan beban standar adalah beban-beban untuk penetrasi 0,1” dan 0,2” dalam satuan lbs.

Dari kedua nilai diatas diambil nilai yang terbesar.

Berdasarkan SNI 1744:2012 tentang Metode Uji CBR Laboratorium, nilai CBR yang umumnya digunakan adalah nilai CBR pada penetrasi 0,01 inci (2,54 mm). Apabila nilai CBR yang diperoleh pada penetrasi 5 mm lebih besar dari nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm, maka pengujian harus diulangi. Namun bila hasil pengujian ulangan tetap diperoleh nilai CBR pada penetrasi 5 mm lebih besar dari nilai CBR pada penetrasi 2,5 mm, maka yang diambil sebagai nilai CBR laboratorium adalah nilai CBR pada penetrasi 5 mm.