

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

1. Yuda purnama, (2021) Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah tersebut. Contohnya adalah tanah di Daerah Lakarsantri Surabaya. Tanah ekspansif pada umumnya akan mengembang dan menyusut apabila terjadi perubahan kadar air dan berakibat pada bangunan di atasnya. Penelitian ini menggunakan stabilisasi tanah secara kimiawi dengan penambahan abu dasar dari PT. Wilmar Nabati Indonesia di Gresik. Abu dasar mempunyai beberapa kandungan kimia positif berupa Al, Si, Ti, Ca, dan Fe yang diantaranya dibutuhkan untuk mengikat partikel pada tanah lempung, dengan tujuan untuk memberi pengaruh pada nilai daya dukung pondasi dangkal. Variasi penambahan abu dasar sebanyak: 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, dan 62,5%. Untuk pengujian tanah yang dilakukan meliputi uji konsistensi tanah, uji berat jenis tanah, uji pemadatan dengan standart protor proctor, dan terakhir uji kuat tekan bebas setelah itu dilakukan perhitungan daya dukung pondasi dangkal. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh penambahan abu dasar sebesar 0%, 12,5%, 25%, 37,5%, 50%, dan 62,5% pada tanah

lempung ekspansif terhadap nilai daya dukung pondasi dangkal adalah 25,864 t/m², 42,159 t/m², 45,121 t/m², 49,575t/m², 39,366 t/m², dan 29,666 t/m

2. Tri Harianto (2019) terkait metode waktu pemeraman, salah satu cara stabilisasi menggunakan limbah aspal butom meningkatkan nilai mekanis, sehingga mendukung konstruksi di atasnya penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah aspal buton (Lab) stabilisasi pada tanah lempung. Pencampuran di dasarkan pada berat tanah kering dengan presentase lab sebesar 3, 5, 7 dan 9 pada kadar air optimum. 7, 14, 28 hari. Hasil pengujian menunjukan bahwa nilai kuat tekan bebas tanah lempung yang di stabilisasi dengan lab. Menunjukan peningkatan sebesar 40 kali hingga 64 kali di bandingkan dengan tanah tanpa stabilisasi. Secara umum, pada umur pemeraman 2 minggu merupakan massa peningkatan kekuatan yang kemudian diikuti peningkatan bertahap dari sampel 7 hari hingga 28 hari dari waktu yang di amati. Nilai kuat tekan pada pemeraman 7 hari, lebih besar 4 kali sebagai LPB dan 1,2 kali untuk LPA terhadap nilai yang di syaratkan dalam SNI sementara untuk pemeraman 28 hari kuat tekan lebih besar melampaui nilai minimal yang disyaratkan dalam FHWA.
3. Woelandari Fathonah dkk, (2022) Tanah merupakan bagian terpenting untuk mendukung semua beban lalu lintas atau beban konstruksi yang diletakkan di atasnya. Tanah-tanah yang daya dukungnya rendah, seperti lempung, memerlukan teknik stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Salah satu teknik stabilisasi adalah dengan mencampurkan tanah dengan fly ash dan bottom ash. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh Fly ash dan Bottom ash terhadap sifat fisik tanah dan nilai uji kuat tekan bebas. Variasi Fly ash dan Bottom ash yang digunakan adalah Fly ash 0% dan 20% serta variasi Bottom ash 0%, 10%, 20% dan 30% dengan waktu pemeraman 0, 7, 14 dan 28 hari. Tanah diklasifikasikan menurut metode Unified Soil Classification System (USCS). Hasil penelitian menunjukkan klasifikasi tanah tergolong OH yaitu lempung organik dengan plastisitas tinggi sebesar 21,08%. Hasil pengujian kuat tekan bebas

menunjukkan bahwa penambahan fly ash dan bottom ash meningkatkan nilai qu pada tanah lempung. Nilai qu optimum diperoleh pada variasi B (Bottom ash 10% dan Fly ash 20%) dengan waktu pemeraman 28 hari sebesar 2.994 kg/cm². Penurunan nilai qu terjadi pada variasi C (Bottom ash 20% dan Fly ash 20%) dan variasi D (Bottom ash 30% dan Fly ash 30%). Tanah dengan penambahan Fly ash dan Bottom ash 0% dan 20% pada variasi 0%, 10%, 20% dan 30% menunjukkan penurunan nilai indeks plastisitas tanah dari 21,083% menjadi 7,511%.

2.2 Tanah

Tanah merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Tanah memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Dokuchaev (1870) dalam Fauizek dkk (2018), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan. Menurut Das (1995) dalam pengertian teknik secara umum, 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 ruangruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Menurut Hardiyatmo (1992) dalam Apriliyandi (2017), tanah adalah ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya. Menurut Bowles (1989) dalam Fauizek dkk (2018), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (boulders), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250

mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (cobble).

2. Kerikil (gravel), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (sand), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (silt), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (clay), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif. f. Koloid (colloids), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Tanah lempung dan mineral lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu, permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi and Peck, 1967). Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sedangkan daya dukung yang rendah, kemampuan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil. Kondisi tanah seperti itu akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi di atasnya.

2.3 Material Penyusun Tanah

Material Penyusun Tanah bersifat Heterogen dan Non Heterogen. Ada tiga Material utama Penyusun Tanah yaitu:

1. Fase Padat, yaitu bahan organik dan mineral
2. Fase cair, yaitu berupa air tanah
3. Fase gas yaitu berupa udara tanah

Tanah juga dapat dibedakan menjadi 2 kategori besar yaitu terdiri dari hasil pelapukan (Weathering) secara fisis dan kimia serta berasal dari bahan organik. Tanah sisa (Residual) ada apabila hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya. Sedangkan tanah angkutan (Transported Soil) terjadi apabila telah berpindah dari tempat tersebut tanpa mempersoalkan pelaku angkutan tersebut. Tanah residual juga ada di daerah iklim sedang atau sedang kering. Tanah yang berada di daerah ini bersifat kaku dan stabil serta tidak meluas kebagian tanah yang lebih dalam. Akan tetapi apabila terjadi di iklim lembab dan panas serta mendapat penyinaran matahari yang cukup lama tanah residual dapat meluas sampai kedalaman berapa meter. Tanah residual dapat menjadi tanah yang stabil dan kuat tetapi dapat pula mengandung bahan yang sangat kompresibel yang terdapat di sekitar bongkahan-bongkahan batuan yang belum terlapuk. Sehingga pada kondisi seperti ini tanah dapat menyebabkan sulitnya untuk melakukan pekerjaan pondasi maupun konstruksi-konstruksi lainnya.

2.4 Abu Dasar (Bottom Ash)

Bottom Ash batu bara merupakan bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada Fly Ash, sehingga Bottom Ash akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (Boiler) dan terkumpul pada penampung debu (Ash Hopper) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan. Sifat dari Bottom Ash sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya.

Tabel 2. 1 Neraca Limbah Fly ash dan bottom ash PLTU Holtekamp

Bulan	FlyAsh (ton)	Bottom Ash (ton)	Rata-rata Perhari FABA (ton)
Januari	60.18	419.76	15.48

Februari	23.37	101.56	4.46
Maret	69.39	147.26	6.99
April	303.55	641.50	31.50
Mei	111.06	509.47	20.47
Juni	352.00	572.66	30.82
Juli	275.13	209.88	16.14
Agustus	202.30	209.88	16.14

Sumber: PLTU Holtekamp

2.4.1 Sifat Fisik Dan Kimia dari Bottom Ash

Sifat fisik Bottom Ash berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, specific gravity, dry unit weight dan penyerapan dari wet dan dry Bottom Ash dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 2 Sifat fisik khas Bottom ash

Sifat Fisik Bottom Ash	Wet	Dry
Bentuk	Anggular/Bersiku	Berbutir kecil/granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras mengkilap	Seperti pasir halus sangat berpori
Ukuran	No.4 (90-100%)	1,5 s/d ¾ in (100%)
(% lolos ayak)	No.10 (40-60%)	No 4 (50-90%)
	No.40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No.200 (5%)	No. 40 (0-10%)
Spesific gravity	2,3-2,9	2,1-2,7
Dry unit weight	960-1440 kg/m ³	720-1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3-1,1%	0,8-2,0%

Sumber: Achmad subki Arimata, et.al, 2013



Gambar 2. 1 Bottom Ash kering

Sumber: Achmad subki Arimata, et.al, 2013

Pemanfaatan Bottom Ash batu bara terhitung minim karena kebanyakan masih sebagai bahan tambahan pada agregat buatan pada pembuatan beton dan maksimum 2,4%. Sehingga pemanfaatan tergolong masih belum maksimal. Hal ini dipertegas Dirjen Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 yang mengatakan dampak Bottom Ash tergolong berbahaya karena bila terhirup secara berkala dapat menyebabkan masalah pernapasan serius. Bila dilewati hujan, air rembesan akan mencemari lingkungan karena bersifat asam dan merusak kesuburan tanah (Vega pratiwi,2016). Secara umum ukuran Fly Ash dan Bottom Ash dapat langsung dimanfaatkan di pabrik semen sebagai substitusi batuan trass dengan memasukkannya pada cement mill menggunakan udara tekan (Pneumatic System). Selain dimanfaatkan di industri semen, fly/bottom ash dapat juga dimanfaatkan menjadi campuran aspal (Ready Mix), campuran beton (Concerete) dan dicetak menjadi paving block/batako. (Arinata, 2013)

2.5 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi Tanah Sebagai salah satu hal penting dalam mendukung sebuah konstruksi tetap aman, tanah sebagai penahan beban haruslah memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban dari konstruksi. Stabilisasi tanah adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan atau memodifikasi struktur lapisan tanah agar dapat menaikkan daya dukung tanah,

mempertahankan kekuatan geser dan mengurangi terjadinya deformasi tanah. Menurut Bowles (1991) dalam Jatmiko (2014), beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang terjadi.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi atau fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk

Umumnya stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi.

2.5.1 Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk dan menggantinya dengan material tanah ditempat lain. Menurut Zambe (1962) dalam buku Hardiyatmo (2010) yang berjudul *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah, yaitu sebagai berikut.

1. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
2. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah.

2.5.2 Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara penambahan bahan tambah atau bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat kurang menguntungkan dari tanah.

Bahan tambah (Additive) adalah bahan hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah seperti: kekuatan, tekstur, kemudahan pengerjaan (Workability) dan plastisitas. Bahan tambah yang banyak digunakan di antaranya seperti semen portland, kapur, abu batubara (Fly Ash), aspal (Bitumen), dan lain-lain. Metode ini biasanya digunakan pada tanah berbutir halus.

2.6 Jenis-Jenis Tanah

Tanah merupakan salah satu material yang didalamnya mengandung butiran mineral padat yang tersedimentasi dan berasal dari pelapukan bahan organik serta berisi zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang pada partikel padat. Secara umum, tanah terbagi atas dua bagian yaitu, tanah berkohefif dan tidak berkohefif. Tanah berkohefif contohnya adalah tanah lempung, sedangkan tanah tak berkohefif adalah tanah berpasir.

2.6.1 Tanah Lempung

Tanah lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis dan kohefif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang sangat besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Lapisan lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban.

Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kristisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

2.6.2 Tanah Berpasir

Tanah pasir adalah tanah dengan partikel berukuran besar. Tanah ini terbentuk dari batuan-batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butiran besar dan kasar atau yang sering disebut dengan kerikil. Tanah pasir memiliki kapasitas serat air yang rendah karena sebagian besar tersusun atas partikel berukuran 0,02 sampai 2 mm. Tanah pasir pada umumnya belum membentuk agregat sehingga peka terhadap erosi.

Tanah pasir tidak memiliki kandungan air mineral, dan unsur hara karena tekstur pada tanah pasir yang sangat lemah. Terdapat ruang pori-pori yang besar diantara butiran-butirannya sehingga kondisi tanah ini menjadi struktur lepas dan gembur. Dengan kondisi yang seperti itu menjadikan tanah pasir ini memiliki kemampuan yang rendah untuk dapat mengikat air.

2.7 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan sub-sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das,1993). Hardiyatmo (1992) menjelaskan, bahwa keseluruhan klasifikasi tanah secara keseluruhan didasarkan pada ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saringan dan plastisitas.

2.7.1 Sistem Klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System)

Klasifikasi ini pada awalnya diperkenalkan oleh Casagrande selama perang dunia ke II untuk kesatuan Engineering Angkatan darat amerika. pada tahun 1969 sistem ini di adopsi oleh America Society For Testing And Material (ASTM) sebagai metode standar klasifikasi tanah (ASTM D 2487).

Menurut system USCS tanah di bagi menjadi tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar ke dalam kerikil, dinotasikan sebagai G (dari kata gravel), dan pasir (S=Sand). Setiap grup tanah ini di bagi ke dalam empat golongan, yaitu:

1. Bergradasi baik dan cukup dan bersih artinya hanya sedikit kandungan material berbutir halus, dinotasikan W (well-graded)
2. Bergradasi buruk dan cukup, di notasikan P (poorly graded)
3. Bergradasi baik dengan lempung sebagai pengikat, dinotasikan C (clay)
4. Berbutir kasar dan mengandung tanah berbutir halus, dinotasikan M (silt)

Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi tanah USCS (unified Soil classification sistem)

Jenis Tanah	Prefix	Sub kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
Pasir	S	Gradasi buruk	P
Lanau	M	Berlanau	M
Lempung	C	Berlempung	C
Organic	O	WL>50 persen	L
Gambut	Pt	WL>50persen	H

Sumber: Bowles, 1991 dalam Hardiyatmo, 2007

Tanah berbutir halus di bagi ke dalam:

1. Tanah lanau organik (tidak mengandung material organik) dan tanah yang mengandung pasir yang berbutir sangat halus, dinotasikan dengan M (silt)
2. Tanah lempung anorganik, dinotasikan C (clay)
3. Tanah lanau dan lempung organik, dinotasikan O (organic)
4. Tanah lanau dan lempung organik sangat tinggi, dinotasikan Pt (peat)

Keempat golongan tanah berbutir halus itu dibagi lagi kedalam beberapa golongan berdasarkan batas cair, yaitu:

- a. Batas cair $< 50\%$ di golongkan ke dalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas rendah hingga sedang, dinotasikan L (low compressibility)
- b. Batas cair $>50\%$ digolongkan ke dalam tanah berbutir halus dengan kompresibilitas tinggi dinotasikan H (high compressibility) Untuk penentuan golongan tanah berbutir halus ini Casagrande menggunakan diagram plastisitas seperti ditunjukkan dalam gambar menunjukkan pengolongan system USCS ini. Dalam klasifikasi USCS ini diagram plastisitas di bagi dalam dua golongan batas cair, yaitu: tinggi dan rendah (high dan low) dalam standart Inggris (British standart) diagram plastisitas dibagi dalam lima golongan batas 11 cair: yaitu extremely high (E), very high (V), high (H), intermediate (I), dan low (2).

Simbol - symbol ini lain dapat dipergunakan untuk klasifikasi tanah adalah

1. G =kerikil (gravel)
2. S =Pasir (sand)
3. C =Lempung (clay)
4. M =Lanau (silt)
5. O =Lanau atau lempung organik (organic silt or clay)
6. Pt =Tanah gambut dan organik tinggi
7. W =gradasi baik (well-graded)
8. P =Gradasi buruk (poorly-graded)
9. H =Plastisitas tinggi (High – plasticity) ($22 > 50$)
10. L =Plastisitas rendah (Low – plasticity) ($22 < 50$)

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS dapat dilihat pada table dibawah ini:

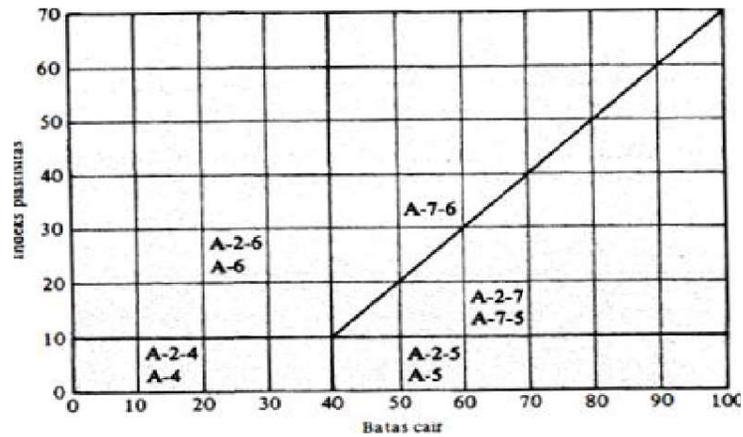
subgrade dalam pembanguna jalan raya. Tanah di golongan ke dalam tujuh golongan utama yang di notasikan dari A-1 hingga A-7.

Dalam kondisi perbedaan pembebanan normal setiap golongan mempunyai daya dukung dan perilaku yang hampir sama, secara umum dapat dikatakan kualitas tanah untuk digunakan sebagai material subgrade semakin lemah dengan meningkatnya angka di blakang huruf A. tanah dalam golongan A-1 hingga A-3 dalam keadaan padat merupakan packing efektif (ikatan yang berupa gesekan antar butir) antara butiran pasir dengan butiran-butiran yang lebih besar golongan A-4 hingga A-7 tidak mempunyai ikatan gesekan antar butir dan perilakunya terutama ditemukan oleh kadar air komponen lanau dan lempungnya empat kelompok dari A 2-7, angka terakhir menunjukan jenis tanah yang lolos saringan nomor 200.

Tabel 2. 5 Sistem Klasifikasi Tanah 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	A-2-7
Analisis Ayakan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat Frasaksi yang lolos ayakan No.40							
Batas Cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe Material yang paling dominan	Batu Pecah, kerikil dan pasi		Pasir hahs	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)						
	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 Frasaksi yang lolos ayakan No. 40.							
Batas Cair (LL)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41			
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11			
Tipe Material yang paling dominan	Tanah Berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa Sampai Jelek						

Sumber: (Das 1985)



Gambar 2. 2 Grafik Rentang dari batas cair (LL) dan indeks Plastisitas (PI)

Sumber: (Craig, 1991)

Klasifikasi AASHTO ini didasarkan atas hasil Analisa tapis saringan nomor 10, 40, dan 200 dengan pengujian batas-batas Atterberg tanah yang di ambil dari contoh tanah yang lolos saringan nomor 40. Perbedaan kualifikasi tanah yang jatuh dalam satu kelompok tertentu dilakukan dengan perhitungan indeks Grup GI sebagai berikut:

$$GI = (F-35) \left[0,2 + 0,005 (LL-40) \right] + 0,01 (F-15) (PI-10) \dots \dots \dots 2.1$$

Dengan: F =Presentase yang lolos saringan no.200

LL =Batas Cair (dalam%)

PI =indeks Plastisitas (dalam%)

Indeks group ini biasanya dinyatakan dalam kurung di belakang symbol kelompok tanah contoh: A-6(7). Berdasarkan nilai grup index ini tanah subgrade di kategorikan seperti di tunjukan dalam table berikut:

Tabel 2. 6 Kelas subgrade (AASHTO)

Kelas Subgrade	Nilai Indeks Group
Sangat baik	Tanah A-1-a (0)
Baik	0 - 1
Sedang	2 - 4
Buruk	5 - 9
Sangat buruk	10 - 20

Sumber : Buku Mekanika Tanah I, 2007

Tabel 2. 7 Klasifikasi tanah untuk Jalan Raya (Sistem ASHTO)

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- 36 min	- 36 min	- 36 min	- 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	- -	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (G)	0	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks		
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

Sumber: Hardiyatmo, 2002 Mekanika Tanah Jilid 1

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6

NP = Non Plastis

2.8 Sifat Fisik Tanah

Sifat Fisik Tanah adalah suatu keadaan suatu kondisi tanah dalam keadaan asli dimana bisa digunakan untuk menentukan jenis-jenis tanah

2.8.1 Kadar air

Hakam 2010 Menjelaskan nilai kadar air sangat berguna bagi praktisi dalam menentukan keputusan terhadap situasi yang ada. Nilai kadar air menjadi patokan dalam menentukan kekuatan kadar air, terdapat berbagai metode yang dapat dilaksanakan dilaboratorium yang paling akurat. Dengan mengambil beberapa sampel tanah yang di letakan dalam cawan kemudian di oven dalam keadaan suhu 105°C - 110°C selama 24 jam supaya tanah menjadi kering sempurna. Suhu lebih dari 110°C mungkin dapat menghancurkan kristalisasi struktur partikel lempung ikatan kimia (IS: 2720 Paet II – 1969)

Kadar air (W) adalah perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat kering tanah yang dinyatakan dalam bentuk persen. Kadar air (w) dapat di cari dengan menggunakan rumus:

$$W = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.2$$

Dengan W = Kadar air dinyatakan dalam persen

W1 = Berat cawan kosong

W2 = Berat Cawan + berat tanah basah

W3 = berat cawan + Berat tanah kering

2.8.2 Berat jenis Tanah (Gs)

memiliki diameter lebih besar dari 0,075

Untuk mendistribusikan ukuran-ukuran butir tanah yang beragam dilakukan dengan cara menyaring. Berat tanah yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang kemudian presentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Langkah-langkah yang digunakan untuk perhitungan sebagai berikut:

Berat sampel semula =A gram

Berat sampel sesudah dicuci =B gram

Berat lumpur =berat sampel lolos saringan no.200

=A - B

Presentase tanah yang tertinggal

$\frac{\text{berat tanah yang tertinggal}}{A} \times 100\% \dots\dots\dots 2.4$

Kumulatif Tanah yang Tertinggal

=jumlah + presentase tanah di atasnya

Present Finer =(100% - kumulatif persen)

2.8.4 Batas–Batas Atterberg

Plastisitas tanah adalah kemampuan tanah dalam penyesuaian perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa adanya retakan- retakan pada tanah. Plastisitas terjadi karena didalamnya terdapat kandungan partikel-partikel mineral lempung. Atterbeg (1911) membagi tingkat plastisitas tanah menjadi 4 tingkatan berdasarkan nilai indeks plastisitasnya antara 0% sampai 17%. Batasan ini bisa dilihat dalam di bawah ini

Atterberg (1911), menjelaskan cara untuk menggambarkan batas konsistensi dari jenis tanah berbutir halus dengan pertimbangan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut yaitu batas cair (Liquid Limit), batas plastis (Plastic Limit) dan batas susut (Shrinkage Limit).

a. Batas cair (liquid limit LL)

Kadar air dapat dinyatakan dalam bentuk persen (%) dari tanah yang dibutuhkan untuk menutup goresan dengan jarak 0,5 inc (12,7 mm) sepanjang dasar contoh di dalam mangkok. Setelah dilakukan 25 kali

ketukan didefinisikan sebagai batas cair (liquid limit). Pada uji batas cair, diperlukan beberapa kali percobaan dengan kandungan air yang berbeda-beda untuk mengatur kadar air dalam tanah dengan jumlah ketukan berkisar 15 - 35 kali.

b. Batas plastis (plastis limit PL).

Batas plastis adalah batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air dinyatakan dalam bentuk persen (%). Uji plastisitas dapat dilakukan dengan cara menggulung sampel tanah hingga mencapai ukuran dengan diameter 1/8 inc (3,2 mm) sampai timbul retakan

c. Indeks Plastis

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau $I_p = LL - PL$. Indeks plastisitas berfungsi untuk mengidentifikasi sifat plastis tanah. Tanah yang banyak mengandung butiran lempung adalah tanah yang memiliki PI tinggi. Sebaliknya, PI rendah dimiliki oleh tanah jenis lanau yang sedikit terjadi pengurangan kadar air sehingga menyebabkan tanah menjadi kering dengan:

IP =indek plastis

LL =batas cair

PL =batas plastis

Tabel 2. 9 Nilai Indeks Plantisitas Dan Macam Tanah

PI	Sifat	Jenis Tanah
0	Non Plastis	Pasir
<7	Plastisitas Rendah	Lanau
7-17	Plastisitas Sedang	Lempung belanau
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung

Sumber: Atterberg1911, dalam hardiyatmo, 1999

2.9 Pematatan Tanah

Pematatan tanah adalah proses menjejal tanah menggunakan energy mekanik agar partikel tanah lebih rapat dan menjadi padat sehingga berat jenis tanah pasti akan naik. Tingkat kepadatan tanah dapat diukur dari berat volume kering yang telah dipadatkan. Partikel-partikel tanah dapat dibasahi atau dilumasi dengan cara penambahan air pada tanah yang sedang dipadatkan. Hal ini menyebabkan partikel-partikel tanah menjadi lebih mudah bergerak sehingga membentuk kedudukan yang lebih rapat. Menurut Hardiyatmo, 2002 terdapat 4 tujuan dari pematatan tanah, yaitu:

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume akibat perubahan kadar air, dll.

Didalam pematatan tanah ada empat factor yang berpengaruh terhadap kontrol pematatan yaitu (Hardiyatmo, 2002)

1. Energi pematatan
2. Tipe tanah dan gradasi
3. Kadar air
4. Unit berat kering

Kepadatan tanah dapat diperoleh dari pengujian standar laboratorium yaitu dengan uji proctor. Uji proctor dibagi menjadi 2 macam yaitu standard proctor dan modified proctor.

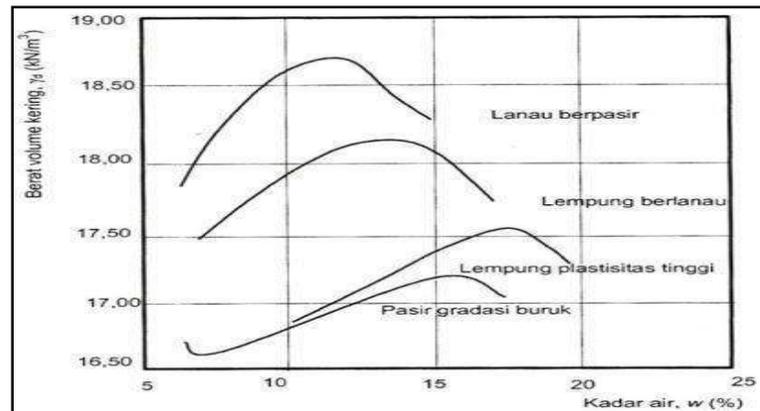
Alat yang digunakan berupa silinder mould. Pada uji standard proctor, sampel tanah yang telah dimasukkan ke dalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dan tinggi jatuh 30,5 cm. Sampel tanah yang akan dipadatkan dibagi menjadi 3 lapisan. Tiap-tiap lapisan tanah ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan. Sedangkan pada uji modified proctor, mould yang digunakan masih sama hanya berat penumbuknya diganti sebesar 4,54 kg dan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah terbagi menjadi 5 lapisan dengan masing-masing lapisan 25 kali pukulan. Alat yang digunakan dalam uji proctor dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 3 Pengujian Pematatan Proctor Standart

Sumber: Hardiyatmo, 2002 Mekanika Tanah 1

Dalam uji pematatan tanah percobaan diulang sedikitnya 5 kali dengan kadar air di setiap percobaan yang bervariasi. Kemudian angka yang diperoleh digambar pada sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volum kering. Grafik tersebut bisa dilihat pada gambar dibawah ini



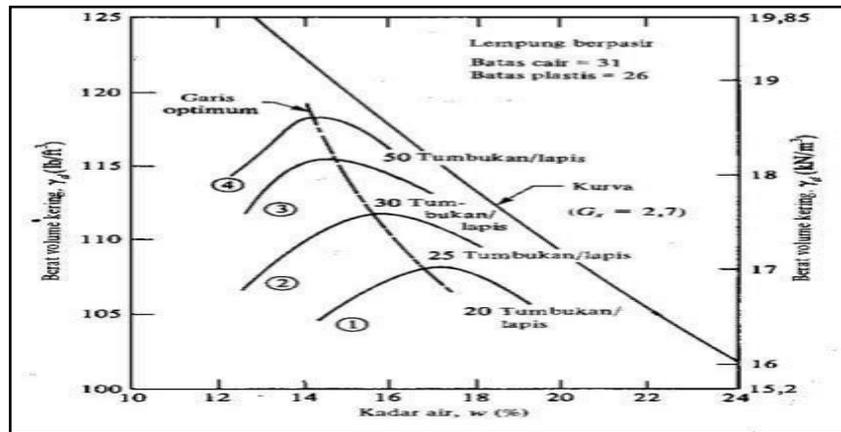
Gambar 2. 4 Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering

Sumber: (Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah 1)

2.9.1 Pengaruh Usaha Pemasadatan

Jika usaha pepadatan per volume satuan (E) berubah, maka bentuk kurva hubungan kadar air terhadap berat volume kering juga berubah. Pada, Gambar 2.6 diperlihatkan hasil uji pepadatan tanah lempung berpasir dengan modul dari standart Proctor. Jumlah lapisan pada saat pepadatan dalam mould sama yaitu 3 lapisan, akan tetapi jumlah pukulan ada pada setiap lapisan dibedakan, yaitu 20 sampai 50 kali pukulan.

Berpasir (ASTM D-698)



Gambar 2. 5 Pengaruh energi pepadatan pada hasil pepadatan lempung
Sumber: Hardiyatmo, 2007

Tabel 2. 10 Hitungan energi pepadatan

Nomor Kurva	Jumlah Pukulan	Energi Pepadatan
Pada Gambar 2.4	Perlapisan (Nb)	(ft-lb/)ft ³
1	20	9900
2	25	12375
3	30	14850
4	50	24750

(Sumber: Hardiyatmo, 2002, Mekanika Tanah 1)

$$= 1 \text{ ft} - \frac{1b}{\text{ft}^3} = 47,99 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \dots \dots \dots 2.5$$

Berdasarkan dari Tabel 2.10 dan Gambar 2.6 dapat disimpulkan bahwa:

1. Jika energi pemadatan ditambah, berat volume kering tanah juga bertambah
2. Jika energi pemadatan ditambah, kadar air optimum berkurang.

Kedua hal tersebut berlaku untuk hampir semua jenis tanah. Namun harus diperhatikan bahwa derajat kepadatan tidak secara langsung proporsional dengan energi pemadatan.

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Terlihat pada Gambar 2.6 kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan kadar air yang terbaik (W_{opt}) untuk mencapai berat volume terbesar atau kepadatan maksimum.

Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila udara didalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan maksimum. Akan tetapi, dalam praktek kondisi ini sulit dicapai.

Kemungkinan berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering saat tanah menjadi jenuh (γ_{zav}). Dapat dihitung dari persamaan:

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + W_{GS}} \dots \dots \dots 2.6$$

Karena saat tanah jenuh ($S=1$) dan $e = wG_s$, maka

Berat volume kering (γ_d) setelah pemadatan pada kadar air w dengan kadar udara (air content). dapat dihitung dengan persamaan:

$$A = \frac{V_a}{V} = \text{Volume udara} / \text{volume total} \dots \dots \dots 2.7$$

Selain kadar air, faktor yang sangat mempengaruhi kepadatan adalah ancaman tanah dan energi pemadatan (energi per volume)

2.10 Proses Pemeraman

Proses pemeraman sampel tanah dilakukan di laboratorium mekanika tanah universitas cenderawasi jayapura papua tanah lempung yang di campurkan dengan mererial Bottom Ash di aduk sampai merata dengan menggunakan tangan kemudian di masukan kedalam plastik dan di ikat agar udara tidak masuk hal ini di lakukan dengan variasi waktu hari pemeraman yaitu 7, 14, 21, dan 28 hari dengan memperhatikan waktu, tempratur dan kadar air. Beberapa departemen menyarankan bila tempratur pemeraman tinggi, durasinya lebih pendek dari pada tempratur ruangan. Hardiyatmo (2007) siklus pemeraman lembab yang di ikuti oleh siklus pengeringan dan pembahasan secara kapiler.

Penelitian dilakukan oleh Tri Harianto (2019) terkait metode waktu pemeraman, salah satu cara stabilisasi menggunakan limba aspal butom meningkatkan nilai mekanis, sehingga mendukung konstruksi diatasnya penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah aspal buton (Lab) stabilisasi pada tanah lempung. Pencampuran di dasarkan pada berat tanah kering dengan presentase lab sebesar 3, 5, 7 dan 9 pada kadar air optimum. 7, 14, 28 hari. Hasil pengujian menunjukan bahwa nilai kuat tekan bebas tanah lempung yang di stabilisasi dengan lab. Menunjukan peningkatan sebesar 40 kali hingga 64 kali di bandingkan dengan tanah tanpa stabilisasi. Secara umum, pada umur pemeraman 2 minggu merupakan massa peningkatan kekuatan yang kemudian diikuti peningkatan bertahap dari sampel 7 hari hingga 28 hari dari waktu yang di amati. Nilai kuat tekan pada pemeraman 7 hari, lebih besar 4 kali sebagai LPB dan 1,2 kali untuk LPA terhadap nilai yang di syartkan dalam SNI sementara untuk pemeraman 28 hari kuat tekan lebih besar melampaui nilai minimal yang disyaratkan dalam FHWA