

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Munirwan, Munirwansyah, Marwan, (2019) dengan Penelitian Penambahan Serbuk Cangkang Telur sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung bahwa tanah di daerah Cot Bagie, Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh menurut AASHTO termasuk ke dalam kategori A-7-5 (21) dan menurut USCS tanah adalah jenis OH (*Organic High*). Persentase penambahan *Egg Shell Powder* (ESP) pada penelitian ini bervariasi yaitu sebesar 0%, 3%, 6% dan 9% terhadap berat kering tanah untuk pengujian laboratorium. Berdasarkan pengujian pemadatan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa berat volume kering terbesar sebesar $1,502 \text{ gr/cm}^3$ dengan komposisi 3% serbuk cangkang telur dan berat volume kering terkecil sebesar $1,367 \text{ gr/cm}^3$ dengan komposisi 0% serbuk cangkang telur.

Aziudin (2019) dengan Penelitian tentang Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Kerang untuk Meningkatkan Stabilitas Tanah Lempung Ekspansif terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal menyatakan bahwa salah satu upaya untuk mengatasi problema tanah ekspansif kembang susut yaitu dengan stabilisasi tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menaikkan nilai kuat tekan bebas (q_u) tanah lempung di daerah Panempan, Madura. Adapun penelitian ini dilakukan dengan cara menambahkan serbuk cangkang kerang sebagai bahan stabilisasi. Dalam penelitian ini dilakukan berbagai macam uji antara lain, uji Konsistensi Tanah, uji *Specific Gravity* (Gs), uji Standar Proktor, dan uji Kuat Tekan Bebas (q_u) dengan masing-masing variasi penambahan serbuk cangkang kerang 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25% serbuk cangkang kerang menyebabkan nilai kuat tekan bebas menjadi lebih besar berturut-turut $1,045 \text{ kg/cm}^2$, $1,855 \text{ kg/cm}^2$, $2,482 \text{ kg/cm}^2$, $2,865 \text{ kg/cm}^2$, dan $3,435 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan untuk penambahan 30% serbuk cangkang kerang menyebabkan penurunan terhadap nilai kuat tekan bebas menjadi

3,171 kg/cm². Penambahan 25% serbuk cangkang kerang merupakan persentase yang paling efektif sehingga meningkatkan nilai maksimum kuat tekan bebas.

Penelitian lain tentang Pengaruh Abu Ampas Tebu dan Abu Cangkang Kerang sebagai Bahan Tambah Stabilisasi Tanah Lempung oleh Radjah (2019) menyatakan bahwa stabilisasi tanah lempung dapat menggunakan campuran abu ampas tebu dengan variasi komposisi 5%, 10 %, 15%, dan 20% yang dicampur abu cangkang kerang dengan variasi konstan 8%. Kedua bahan campuran tersebut akan dicampur dengan sampel tanah yang kemudian akan dicari kadar air optimum yang sesuai pada setiap pengujian untuk digunakan bahan tambah stabilisasi tanah lempung. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa pada komposisi 10% abu ampas tebu dan 8% abu cangkang kerang meningkatkan sudut geser dalam tanah lempung dari 15,39° menjadi 23,22°. Sehingga, hal ini juga yang menyebabkan kohesi pada tanah lempung meningkat dari 0,3 kg/cm² mejadi 0,43 kg/cm².

Menurut Adheosi (2018) dengan penelitian Analisis Perbaikan Tanah Lempung dengan Menggunakan Bubuk Cangkang Telur dan Abu Sekam Padi menyatakan bahwa variasi kadar campuran abu sekam padi sebesar 3,5%, 4%, 4,5%, 5%, dan 5,5% dan bubuk cangkang telur sebesar 4%, untuk mencari kadar optimumnya sebagai bahan tambah untuk perbaikan tanah. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa kadar yang paling optimum adalah pada campuran 5% abu sekam padi dan 4% bubuk cangkang telur dengan nilai kohesi bertambah dari 0,36 kg/cm² menjadi 0,62 kg/cm², sudut geser dalam bertambah dari 23,28° menjadi 33,53°.

Ismida, Bahri, (2015) dengan Penelitian tentang Pengaruh Campuran Limbah Cangkang Kerang Terhadap Daya Dukung Tanah Desa Buket Pala Kecamatan Idi Rayeuk menyatakan bahwa tanah tersebut masuk pada golongan jenis A-7-5 yaitu jenis tanah lempung. Penelitian ini menggunakan serbuk cangkang telur dengan variasi 4%, 8%, dan 12%. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai berat kering tanah meningkat setiap pertambahan komposisi. Nilai berat kering tanah lempung asli sebesar 1,601 gr/cm³, sedangkan nilai berat kering tanah setelah di campur dengan serbuk cangkang kerang secara berturut-turut adalah sebesar 1,623 gr/cm³, 1,676 gr/cm³, 1,680 gr/cm³.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah 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 antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Menurut Hardiyatmo (2002), tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, endapan-endapan yang relatif (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang antara partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya.

Adapun pengertian tanah menurut Craig (1991) adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Di antara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan/atau udara.

Menurut Hendarsin (2000), tanah (*soil*) didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses biologi yang dapat digali tanpa peledakkan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pengeboran.

2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah secara umum adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Klasifikasi adalah pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Namun, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979). Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas

ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan dan plastisitas. (Hardiyatmo, 2002).

Sistem klasifikasi tanah 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 batas plastisitas. Namun pada penelitian ini hanya menggunakan sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*). Sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan sistem klasifikasi tanah yang diajukan pertama kali oleh Arthur Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE), kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Sistem USCS juga banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik baik itu berdasarkan penyelidikan visual saja maupun hasil pengujian laboratorium.

Menurut Hardiyatmo (2002) Sistem *Unified* mengklasifikasikan tanah kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan No.200 dan tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan No.200. Berikut adalah simbol-simbol yang digunakan pada sistem *unified*.

- G = kerikil (*gravel*)
- S = pasir (*sand*)
- C = lempung (*clay*)
- M = lanau (*silt*)
- O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = tanah gambut dan organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = gradasi baik (*well-graded*)
- P = gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Adapun sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar no. 200 (0,075 mm) lebih	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar ter-tahan seringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Bila batas Atterberg berada di bawah garis A atau $P_L < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
Kerikil banyak kandungan butiran halus	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar ter-tahan seringan no. 4 (4,75 mm)	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Bila batas Atterberg berada di daerah arsis dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kriteria untuk SW Bila batas Atterberg berada di bawah garis A atau $P_L < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Pasir banyak kandungan butiran halus	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	Bila batas Atterberg berada di daerah arsis dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terdandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar, Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berada di bagian klasifikasinya menggunakan dua simbol Batas Cair LL (%) Garis A : $P_L = 0,73 (LL - 20)$
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P _I	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Hardiyatmo, 2002

2.2.3 Tanah Lempung

Das (1995) menjelaskan bahwa lempung (*clays*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral (*clay mineral*) dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Adapun menurut Hardiyatmo (2002) mengatakan mineral lempung adalah pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm. Tanah lempung yang berbutir halus akan banyak dipengaruhi oleh air. Luas permukaan spesifik tanah berbutir halus menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah.

Terzaghi dan Peck (1987) juga menyatakan bahwa lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopis dan submikroskopis yang berasal dari pembusukkan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas.

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

1. Ukuran butir halus kurang dari 0,002 mm
2. Permeabilitas rendah
3. Bersifat sangat kohesif
4. Kadar kembang susut yang tinggi
5. Proses konsolidasi lambat

Tanah lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil ($< 0,002$ mm) dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian butiran melekat satu sama lain, sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu berubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah (Wesley, 1977). Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak diantara tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampaui berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat.

2.2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, yang dilakukan dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khusus terhadap lapisan tanah tersebut (Panguriseng, 2001).

Adapun menurut Hardiyatmo (2002), stabilisasi tanah adalah proses pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang digunakan, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik dari pada sebelumnya.

Beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut :

1. Menambah bahan yang menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi atau fisis pada tanah.
2. Mengganti tanah yang buruk.
3. Meningkatkan kerapatan tanah.
4. Menurunkan muka air tanah.
5. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan kekuatan geser yang timbul.

Menurut Ingles dan Metcalf (1972), stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan beberapa metode, yakni :

1. Stabilisasi Mekanis

Perbaikan tanah dengan menggunakan cara mekanis yaitu perbaikan tanah tanpa penambahan bahan-bahan lainnya. Stabilisasi mekanis biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis dan sebagainya. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik dengan cara mengurangi volume pori sehingga menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum.

2. Stabilisasi Fisik

Stabilisasi fisik dilakukan dengan mengubah karakteristik tanah secara teknik yang memenuhi syarat dalam pelaksanaan sebuah konstruksi. Perbaikan tanah dengan cara fisik yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang

terjadi seperti hidrasi, penyerapan air, pemanasan, pendinginan, dan menggunakan arus listrik.

3. Stabilisasi Kimia

Perbaikan tanah dengan cara kimiawi adalah perbaikan tanah dengan melakukan penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus. Campuran bahan yang biasa digunakan pada metode stabilisasi kimia adalah semen, kapur, abu batubara dan sebagainya.

2.2.5 Pengertian Serbuk

Serbuk secara umum diartikan sebagai partikel-partikel halus yang merupakan hasil pengecilan ukuran partikel dari suatu bahan kering. Serbuk memiliki derajat kehalusan tertentu. Derajat kehalusan serbuk dinyatakan dengan nomor saringan. Saringan dan derajat kehalusan serbuk dinyatakan dalam uraian yang dikaitkan dengan nomor saringan seperti Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Derajat Kehalusan Serbuk Pada Nomor Saringan

Kategori Serbuk	Nomor Saringan Terendah	Nomor Saringan Tertinggi
Sangat Kasar	5	8
Kasar	10	40
Cukup Kasar	22	60
Cukup Halus	44	85
Halus	85	-
Sangat Halus	120	-
Sangat Halus Sekali	200	300

Sumber : Wingsudirman, 2015

2.2.6 Kandungan Senyawa Bahan Campuran Tanah Lempung

1. Kandungan Senyawa Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Kerang adalah salah satu komoditi perikanan yang telah dibudidayakan sebagai usaha penghasilan tambahan masyarakat pesisir. Salah satu jenis kerang

yang mempunyai nilai ekonomis yang penting dan disukai masyarakat adalah kerang darah (*Anadara granosa*) (Moeljanto dan Heruwati, 1975).

Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan jenis biota laut yang termasuk kedalam Kelas *Bivalvia* yang telah banyak dijual di ruKLMah makan dan pedagang kaki lima. Kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki beberapa kegunaan, salah satunya adalah diolah sebagai bahan makanan, sehingga cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) yang merupakan bahan sisa produksi makanan dapat menimbulkan limbah yang cukup banyak. Saat ini, cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) baru dimanfaatkan sebagai bahan baku *souvenir* dan pembuatan kapur sirih.

Cangkang kerah darah (*Anadara granosa*) memiliki kandungan senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kandungan Senyawa Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

No	Kandungan Senyawa	Kadar Berat (%)
1	CaO (Kalsium Oksida)	66,70
2	SiO ₂ (Silikat)	7,88
3	Fe ₂ O ₃ (Besi Trioksida)	0,03
4	MgO (Magnesium Oksida)	22,28
5	Al ₂ O ₃ (Alumunium Oksida)	1,25

Sumber : Siregar, 2009

2. Kandungan Senyawa Cangkang Telur Ayam

Menurut Wirakusumah (2011), cangkang telur merupakan lapisan luar dari telur yang berfungsi melindungi semua bagian dari luka atau kerusakan. Cangkang telur ayam yang membungkus telur umumnya memiliki berat 9% - 12% dari berat telur total. Warna kulit telur ayam bervariasi, mulai dari putih kekuningan sampai coklat. Warna cangkang luar telur ayam ada yang putih dan ada yang coklat. Cangkang telur ayam yang berwarna coklat lebih tebal dibandingkan dengan cangkang telur ayam yang berwarna putih.

Cangkang telur tersusun atas 3 lapisan yakni lapisan kutikula, lapisan *sponge* (busa) dan lapisan lamellar. Lapisan katikula merupakan protein transparan yang melapisi permukaan cangkang telur, lapisan *sponge* (busa) membentuk matriks

yang tersusun oleh serat-serat protein yang terikat dengan kristal kalsium karbonat (CaCO_3), sedangkan lapisan lamellar merupakan lapisan ketiga dari cangkang telur yang terdiri dari lapisan yang berbentuk kerucut dengan penampang bulat atau lonjong (Rivera, 1999).

Adapun kandungan senyawa dalam cangkang telur ayam dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kandungan Senyawa Cangkang Telur Ayam

No	Kandungan Senyawa	Kadar Berat (%)
1	Kalsium Karbonat (CaCO_3)	94
2	Kalsium Fosfat	1
3	Bahan-Bahan Organik	4
4	Magnesium Karbonat	1

Sumber : Rivera, 1999

Beberapa kandungan senyawa yang terdapat di dalam cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dan cangkang telur ayam merupakan senyawa yang juga terdapat di dalam semen. Kandungan senyawa yang terdapat di dalam semen dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kandungan Senyawa Semen

No	Kandungan Senyawa	Kadar Berat (%)
1	Kapur, CaO	60-65
2	Silika, SiO_2	17-25
3	Alumina, Al_2O_3	3-8
4	Besi, Fe_2O_3	0,5-6
5	Magnesia, MgO	0,5-4
6	Sulfur, So_3	1-2
7	Soda/potash, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0,5-1

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

Menurut Priambodo (2016), sumber utama oksida kalsium (CaO) adalah kalsium karbonat (CaCO_3) yang terdapat dalam batu kapur. Dalam proses semen, oksida kalsium (CaO) merupakan oksida terpenting karena paling banyak memiliki

senyawa yang kemudian digunakan untuk bereaksi dengan senyawa-senyawa silikat, aluminat dan besi membentuk senyawa potensial penyusun senyawa semen.

2.2.7 Kadar Air

Tanah terdiri dari tiga unsur yakni butiran tanah atau partikel padat (*solid*), air (*water*), dan udara (*air*). Kandungan air dan udara yang terdapat di dalam tanah yang menempati rongga (*void*) yang terdapat di antara butiran tanah disebut pori tanah. Bila volume pori di dalam tanah terpenuhi oleh air, maka tanah dinyatakan dalam kondisi jenuh. Sebaliknya bila di dalam pori tanah tidak berisi air sama sekali, maka tanah dalam kondisi kering.

Derajat kejenuhan (*degree of saturation*) adalah besarnya volume air yang terkandung di dalam pori tanah dibanding dengan volume pori tanah yang ditempati oleh air dan udara.

Kadar air disebut *water content* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki (Das, 1995). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar air asli lapangan maupun kadar air contoh tanah terganggu. Tahapan-tahapan untuk proses pemeriksaan kadar air terdapat di SNI 1965:2008.

Rumus yang digunakan dalam perhitungan pengujian kadar air adalah sebagai berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

w = Kadar Air (%)

W_w = Berat Air (gr)

W_s = Berat Butiran Padat (gr)

2.2.8 Analisis Saringan (Gradasi Tanah)

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran adalah penentuan persentase berat butiran pada satu set saringan dengan diameter lubang yang berbeda-beda.

Analisis saringan dilakukan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tahapan-tahapan dalam pengujian analisis saringan butiran tanah terdapat di SNI 3423:2008.

Menurut Wesley (2012) menyatakan bahwa analisis saringan merupakan analisis yang dilakukan untuk menentukan gradasi butir (distribusi ukuran butir), yaitu dengan cara menggetarkan tanah kering melalui satu set saringan sesuai dengan diameter ukuran saringan yang semakin kebawah semakin kecil.

Distribusi ukuran butiran untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tertinggal di masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. (Hardiyatmo, 2002). Adapun ukuran saringan yang digunakan pada proses pengujian analisis butiran tanah dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Ukuran Saringan

Standar Ukuran (mm)	Alternatif Satuan
4,75	No. 4
2,36	No. 8
2,00	No. 10
1,18	No. 16
0,60	No. 30
0,425	No. 40
0,30	No. 50
0,15	No. 100
0,075	No. 200

Sumber : SNI 3423:2008

Adapun rumus yang digunakan untuk melakukan perhitungan dari hasil pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut :

$$JK = W_{\text{sekarang}} + JK_{\text{sebelum}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\% W_{\text{tertinggal}} = JK/W_d \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\% \text{ Lolos} = 100\% - \% W_{\text{sekarang}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

JK = Jumlah kumulatif (gr)

W_{sekarang} = Berat tanah tertinggal sekarang (gr)

JK_{sebelum} = Jumlah kumulatif sebelumnya (gr)

$\% W_{\text{sekarang}}$ = Persen berat tanah tertinggal (%)

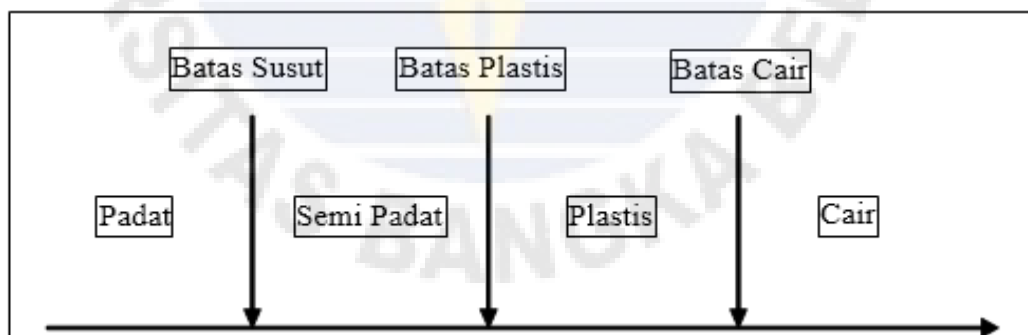
$\% \text{ Lolos}$ = Persen tanah lolos (%)

W_d = Berat kering tanah (gr)

2.2.9 Batas Atterberg

Sifat plastisitas adalah suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk.

Penambahan kadar air tanah dapat mengubah bentuk tanah menjadi cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Adapun batas-batas *Atterberg* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Sumber : Hardiyatmo, 2002

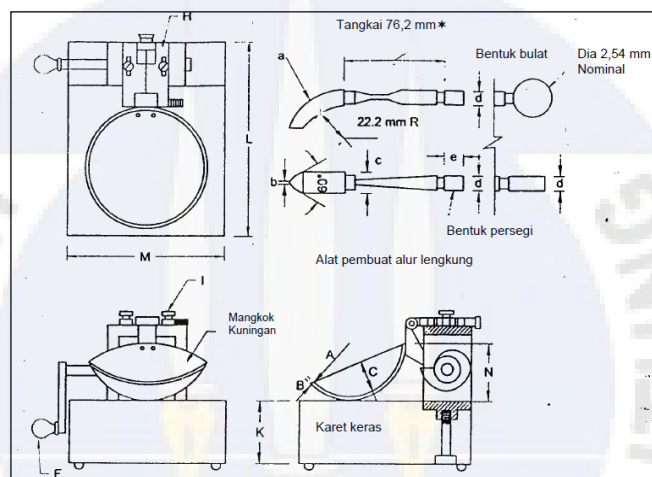
Gambar 2.1 Batas-Batas *Atterberg*

Kedudukan fisik tanah lempung pada kadar air tertentu menjadi 4 kondisi yaitu pada kondisi padat, semi padat, plastis, dan cair (Atterberg, 1911 dalam Hardiyatmo, 2002). Atterberg memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar

air tanah. Namun, pada penelitian ini batas *Atterberg* yang digunakan adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), yang kemudian digunakan untuk menghitung indeks plastisitas.

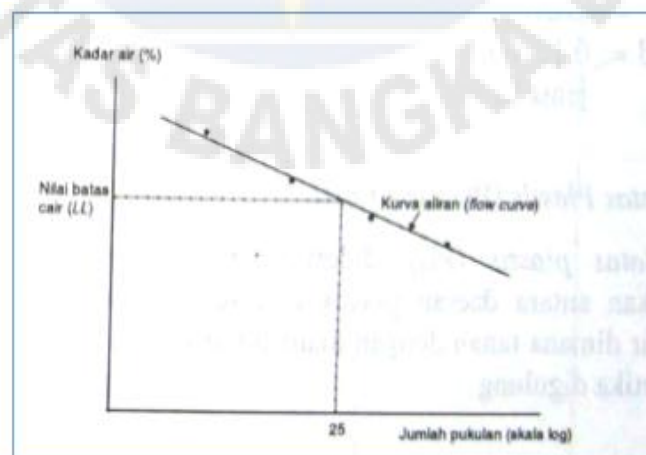
1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Menurut Hardiyatmo (2002), batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian Casagrande 1948. Adapun gambar skema alat pengujian batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan kurva penentuan batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Sumber : SNI 1967:2008

Gambar 2.2 Skema Alat Pengujian Batas Cair



Sumber : Hardiyatmo, 2002

Gambar 2.3 Kurva Penentuan Batas Cair

Berdasarkan Gambar 2.2 dijelaskan berbagai tahapan-tahapan untuk melakukan proses pengujian batas cair. Contoh tanah dimasukkan ke dalam cawan. Tinggi contoh tanah dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikeruk tepat ditengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian dengan alat getar, cawan diketuk-ketukkan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan. Pada pengujian batas cair diketahui bahwa untuk mendapatkan 25 kali pukulan sulit, maka percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dan dengan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 pukulan sampai 35 pukulan, lalu setelah itu hubungan kadar air dan jumlah pukulan dapat diplot ke Gambar 2.3 untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan. Tahapan-tahapan untuk melakukan pengujian batas cair terdapat di SNI 1967:2008.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis juga didefinisikan sebagai kadar air dimana selapis tanah yang digulung sampai berdiameter 3 mm akan putus atau terpisah. Tahapan-tahapan untuk melakukan pengujian batas plastis terdapat di SNI 1966:2008.

3. Indeks Plastisitas (PI)

Indeks plastisitas (PI) didefinisikan sebagai jumlah air yang terkandung dalam tanah, pada keadaan tanah antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas juga diartikan sebagai interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika indeks plastisitas rendah seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering.

Adapun rumus untuk menghitung Indeks Plastisitas (PI) yaitu :

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis

Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Nilai Indeks Plastisitas dan Sifat Tanah

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

Sumber : Hardiyatmo, 2002

2.2.10 Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air suling pada temperatur volume yang sama. Ruang lingkup dari pengujian berat jenis tanah adalah untuk menentukan berat jenis lolos saringan ukuran 4,750 mm (No. 4) dengan menggunakan piknometer. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah. Oleh karena itu, diperlukan untuk perhitungan-perhitungan parameter indeks tanah. Tahapan-tahapan dalam pengujian berat jenis terdapat di SNI 1964:2008. Nilai berat jenis dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

No	Macam Tanah	Berat Jenis
1	Kerikil	2,65 – 2,68
2	Pasir	2,65 – 2,68
3	Lanau anorganik	2,62 – 2,68
4	Lempung organik	2,58 – 2,65
5	Lempung anorganik	2,68 – 2,75
6	Humus	1,37
7	Gambut	1,25 – 1,80

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Rumus yang digunakan pada perhitungan berat jenis tanah berdasarkan SNI 1964:2008 adalah sebagai berikut :

$$G_s = \frac{W_t}{W_5 - W_3} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

G_s = Berat jenis tanah

W_t = Berat tanah (gr)

W_5 = Berat tanah + (berat piknometer+air 20°C) (gr)

W_3 = Berat piknometer + air + tanah pada temperatur 20°C (gr)

2.2.11 Pemadatan

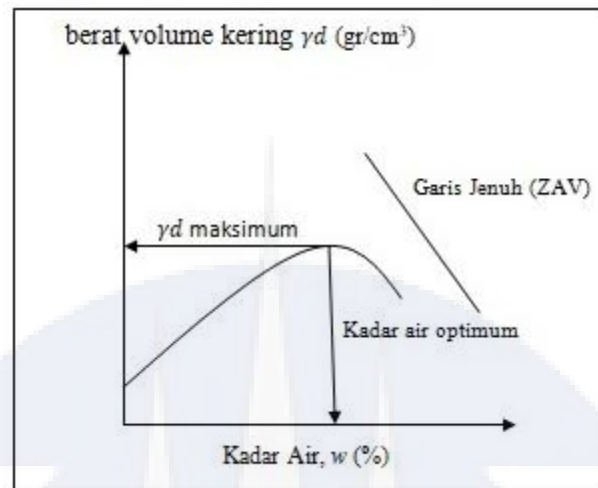
Selain berfungsi sebagai pendukung fondasi bangunan, tanah juga digunakan sebagai bahan timbunan seperti tanggul, bendungan, dan jalan. Jika tanah di lapangan membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya atau akan digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering dilakukan. (Hardiyatmo, 2002).

Maksud dari pemadatan tanah adalah :

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.

Pemadatan berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung fondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan (*embankments*) (Das, 1995). Pemadatan terbagi atas dua macam, yakni dengan cara pemadatan standar dan pemadatan *modified*. Dalam pengujian ini dilakukan dengan cara pemadatan *modified*. Sampel tanah yang digunakan adalah sampel tanah kering sebanyak 6 kg. Tanah dipadatkan didalam suatu cetakan dan banyaknya pukulan pada setiap lapisan sebanyak 56 kali per lapisan, berat alat pemukul lebih bedar yaitu 10 pound dan tinggi jatuhnya 18 inch. Tanah dipadatkan terbagi menjadi 5 lapisan. Setelah pengujian pemadatan telah

dilakukan di laboratorium, maka selanjutnya adalah menentukan kadar air optimum. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Sumber : Hardiyatmo, 2002

Gambar 2.4 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering

Selain hubungan kadar air dengan berat volume kering, Gambar 2.5 menjelaskan tentang garis ZAV (*Zero Acid Void*) yaitu garis hubungan antara berat isi kering dengan kadar air bila derajat kejenuhan 100%, yakni bila pori tanah sama sekali tidak mengandung udara. Gambar 2.5 berfungsi sebagai petunjuk pada waktu menggambarkan grafik kepadatan tersebut selalu berada dibawah ZAV biasanya tidak lurus tetapi agak cengkung ke atas.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada saat pengujian pemadatan dapat dilihat di SNI 1743:2008. Rumus yang digunakan dalam perhitungan pengujian pemadatan tanah antara lain adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Kepadatan Basah

$$\rho = \frac{(B_2 - B_1)}{V} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

ρ = Kepadatan basah (gram/cm³)

B_1 = massa cetakan dan keping alas (gram)

B_2 = massa cetakan, keping alas, dan benda uji (gram)

V = Volume benda uji atau volume cetakan (cm³)

2. Perhitungan Kadar Air Benda Uji

$$w = \frac{(A-B)}{(B-C)} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

w = Kadar air (%)

A = Massa cawan dan benda uji basah (gram)

B = Massa cawan dan benda uji kering (gram)

C = Massa cawan (gram)

3. Perhitungan Kepadatan (Berat Isi) Kering

$$\rho_d = \frac{\rho}{(100+w)} \times 100\% \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

 ρ_d = Kepadatan kering (gram/cm³) ρ = Kepadatan basah (gram/cm³)

w = Kadar air (%)

4. Perhitungan Kepadatan (Berat Isi) Kering untuk Derajat Kejenuhan 100%

$$\rho_d = \frac{(G_s \times \rho_w)}{(100 + G_s \cdot w)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

 ρ_d = Kepadatan kering (gram/cm³) G_s = Berat jenis tanah ρ_w = Kepadatan air (gram/cm³)

w = Kadar air (%)

2.2.12 Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2002), kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Berdasarkan penelitian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung pada tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Dalam SNI 3420:2016 menjelaskan bahwa pengujian *Direct Shear* untuk memperoleh parameter kuat geser tanah terganggu atau tanah tidak terganggu yang terkonsolidasi, dan uji geser dengan diberi kesempatan terdrainase dan kecepatan, pergeseran/deformasi tetap.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung hasil dari pengujian *direct shear* oleh Mohr Coulomb 1773 (dalam Bowles, 1984) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

1. Perhitungan Tegangan Normal

$$\sigma = \frac{P_v}{A_o} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

σ = Tegangan normal (kN/m²)

P_v = Beban normal (kN/m²)

A_o = Luas penampang contoh tanah (m)

2. Perhitungan Tegangan Geser

$$\tau = \frac{P_h}{A_o} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

τ = Tegangan geser (kN/m²)

P_h = Gaya horizontal (kN/m²)

A_o = Luas penampang contoh tanah (m)

3. Perhitungan Kekuatan Geser Tanah

$$s = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

s = Kekuatan geser tanah (kN/m²)

c = kohesi atau pengaruh tarikan antar partikel, hampir tidak tergantung pada tegangan normal pada bidang (kN/m²)

σ = Tegangan normal (kN/m²)

ϕ = Sudut geser

Berdasarkan hasil perhitungan dari rumus 2.11 dan rumus 2.12, langkah selanjutnya adalah menghubungkan tegangan normal dan tegangan geser pada grafik untuk memperoleh parameter kohesi (c) dan sudut geser (ϕ).

Parameter kuat geser tanah adalah suatu parameter mekanika tanah yang sering dijadikan acuan dalam menganalisis daya dukung tanah, tegangan tanah terhadap dinding penahan dan kestabilan lerang. Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam tanah yang dinyatakan dalam suatu berat per satuan luas. Salah satu aspek yang mempengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga benda yang berbentuk padat memiliki nilai kohesi lebih besar daripada benda yang berbentuk cair.

