

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Banyak jenis pengujian yang dilakukan untuk perbaikan tanah, dan bertujuan untuk memberikan inovasi maupun ide-ide baru yang hasilnya nanti diharapkan bisa saja digunakan dan memberikan nilai-nilai positif untuk kedepannya. Inovasi ini dikembangkan dengan beberapa pengujian dengan mengganti ataupun menjadi bahan tambah pada suatu penelitian. Menurut beberapa pengujian salah satunya menurut Bachtiar (2018) dalam penelitiannya tentang Nilai Kuat Geser Tanah Lempung Bayat Klaten yang Distabilisasi dengan Kapur dan Bubuk Arang Tempurung Kelapa. Penelitian ini mengambil sampel tanah lempung di daerah Bayat yang mengalami kerusakan dan banyak tanah berlubang, bergelombang serta ambles. Sampel tanah ini akan distabilisasi dengan menambahkan bahan campuran kapur sebesar 5% dan arang tempurung kelapa dengan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%. Penelitiannya mengatakan, uji DST menunjukkan penambahan persentase 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% arang dan 5% kapur bahwa nilai kohesi dan sudut gesek dalam cenderung naik. Nilai kohesi terbesar adalah 1,236 kg/cm² dan nilai sudut gesek dalam terbesar adalah 21,10°. Nilai tegangan normal 4,47 kg/cm² dan tegangan geser cenderung mengalami kenaikan. Nilai tegangan geser terbesar 2,957 kg/cm² pada tanah dengan campuran arang 10% dan kapur 5% dan nilai tegangan geser terkecil 1,848 kg/cm² pada tanah asli.

Fitranto (2017) dalam penelitiannya yang berjudul Studi Laboratorium Perubahan Nilai CBR Tanah Lempung Lunak Gede Bage Bandung Pada Penambahan 0,4% Serat Karung Plastik dan 10% Kapur Padam dengan Variasi Masa Curing menyebutkan penelitian ini untuk menganalisa perubahan nilai CBR tanah lempung lunak dengan penambahan bahan serat karung plastic dan kapur. Dalam penelitian ini digunakan persentase serat karung plastik 0,4% dan kapur 10% dari berat tanah kering lempung lunak dengan variasi masa curing 3,7,14,

dan 21 hari. Serta karung plastik diurai dan dipotong-potong dengan ukuran 1-2 cm. pengujian ini meliputi sifat fisis tanah, pemadatan standar dan pengujian CBR dengan rendaman. Hasil pengujian CBR menunjukkan peningkatan dari curing 3 hari yaitu 6,9% sampai curing 21 hari yaitu 10,8%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat karung plastik dan kapur dengan perendaman mampu meningkatkan nilai daya dukung tanah.

Sengeoris (2016) dalam penelitiannya mengambil bubuk arang kayu sebagai bahan stabilisasi terhadap kuat dukung tanah lempung ini setelah diteliti hasil uji kepadatan tanah dengan bertambahnya persentase campuran dan lamanya perawatan nilai berat volume kering maksimum mengalami penurunan sedangkan nilai kadar air optimum mengalami kenaikan. Nilai berat volume kering maksimum terkecil dan kadar air optimum terbesar terdapat pada tanah persentase campuran 7,5% dengan lama perawatan 7 hari sebesar $1,213 \text{ gr/cm}^3$ dan 33,10%. Sedangkan nilai berat volume kering maksimum terbesar terdapat pada tanah asli sebesar $1,262 \text{ gr/cm}^3$. Hasil uji CBR menunjukkan kenaikan seiring bertambahnya persentase campuran dan lama perawatan. Nilai CBR terbesar terdapat pada tanah campuran 7,5% dengan lama perawatan 7 hari sebesar 27% sedangkan nilai CBR terkecil sebesar 12% pada tanah campuran 5% dengan lama perawatan 0 hari.

Menurut Ryan, dkk (2015) tentang Perubahan Nilai CBR Tanah Lempung Tanon yang ditambah Abu Ampas Tebu mengatakan tanah di Desa Jono, Kecamatan Tanon, Kabupaten Sragen merupakan tanah yang bermasalah, antara lain retak-retak, keras pada musim kemarau dan pada musim hujan tanah bersifat lembek, lengket dan daya dukungnya menjadi rendah yang mengakibatkan jalan bergelombang juga penurunan pada badan jalan. Sehingga perlu perbaikan untuk meningkatkan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) sebagai parameter dalam menentukan daya dukung tanah dasar untuk perencanaan konstruksi perkerasan jalan raya. Penelitian ini menggunakan abu ampas tebu (AAT) sebagai bahan stabilisasi dengan variasi campuran 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat kering tanah. Selanjutnya dilakukan pengujian tanah dengan standar ASTM (*American Society for Testing and Material*), dengan dua kriteria CBR yaitu tidak terendam (*unsoaked*) dan terendam (*soaked*). Dari pengujian yang telah dilakukan,

didapatkan hasil bahwa peningkatan nilai CBR *unsoaked* tanah lempung Tanon, hanya terjadi pada penambahan abu ampas tebu (AAT) 5% sebesar 28,18% sebelumnya dari tanah asli 26,23%. Peningkatan nilai CBR *soaked* tanah lempung Tanon hanya terjadi pada penambahan abu ampas tebu (AAT) 15% sebesar 2,24% sebelumnya dari tanah asli 1,42%. Dari hasil tersebut didapatkan selisih nilai penetrasi 0,1” dan nilai penetrasi 0,2” hanya terjadi pada penambahan abu ampas tebu (AAT) 10% dan 15%. Kesimpulan yang didapat dari pengujian yang telah dilakukan, penambahan abu ampas tebu (AAT) kurang berpengaruh terhadap nilai CBR tanah lempung Tanon.

Panjaitan (2014) dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Perendaman Terhadap Nilai CBR Tanah Mengembang yang Distabilisasi dengan Abu Cangkang Sawit. Penelitian ini dilakukan pada jenis tanah mengembang, dengan menggunakan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan stabilisasi. Dengan tujuan penambahan Abu Cangkang Kelapa Sawit pada tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR dan menurunkan nilai kembang susut yang digunakan sebagai bahan kontruksi. Pengujian dilakukan meliputi pengujian lanjutan yaitu batas plastis, cair dan susut. Pada pengujian tanah asli dengan menambah persentase campuran Abu Cangkang Kelapa Sawit 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dengan variasi perendaman 1, 4, 7, dan 14 hari, serta dapat dilihat besar pengembangannya dan nilai CBR rendam. Berdasarkan *Guide For Design Of Pavement Structures, AASHTO, The American Association of State Highway and Official, Washington, 1986*. Tanah lempung Tanjung Pura termasuk tanah yang memiliki daya dukung tanah yang jelek karena memiliki nilai CBR 2,58 % < 5%, dan pada campuran 9% termasuk tanah yang memiliki daya dukung tanah sedang karena mempunyai nilai CBR 7,56%, sedangkan campuran 3, 6, 12, dan 15 % ACKS termasuk dalam tanah yang memiliki daya dukung tanah jelek karena memiliki nilai CBR < 5%. Hasil perendaman menunjukkan bahwa lamanya perendaman akan mempengaruhi daya dukung tanah, dan semakin lama terjadi perendaman maka semakin kecil nilai CBR yang diperoleh.

Akbar dkk (2012) tentang Pengaruh Penambahan Rotec dan Bubuk Arang Kayu Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai CBR. Tanah merupakan dasar dari

suatu struktur atau konstruksi, baik itu konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan, yang sering menimbulkan masalah bila memiliki sifat-sifat yang buruk. Sifat-sifat tanah yang buruk dan kurang menguntungkan bila digunakan sebagai dasar suatu bangunan atau konstruksi, antara lain plastisitas yang tinggi, kekuatan geser yang rendah, kemampatan atau perubahan volume yang besar dan potensi kembang susut yang besar. Untuk itu diperlukan upaya stabilisasi tanah lempung sebelum membangun konstruksi di atas tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah. Penelitian ini menggunakan bahan tambah rotec dan bubuk arang kayu sebagai bahan campuran dalam menstabilisasi tanah. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, Pengaruh terbesar bahan tambah terhadap tanah asli pada nilai CBR yaitu penambahan tanah asli + 5% rotec + 1% bubuk arang kayu kondisi *unsoaked* dengan waktu pemeraman 1 hari dari yang semula 9,9% menjadi 17,08% dan penambahan tanah asli + 5% rotec + 1% bubuk arang kayu kondisi *soaked* dengan waktu perendaman 4 hari dari yang semula 1,42% menjadi 3,42%.

Widianti (2009) dalam penelitiannya yang berjudul Peningkatan Nilai CBR Laboratorium Rendaman Tanah dengan Campuran Kapur, Abu Sekam Padi dan Serat Karung Plastik, struktur pekerasan jalan antara lain berupa deformasi permanen akibat perubahan kadar air dan daya dukung tanah tidak merata. Penelitian ini mengkaji besarnya nilai *California Bearing Ratio* laboratorium rendaman (*soaked design CBR*) terhadap tanah yang distabilisasi dengan kapur abu sekam padi dan diperkuat dengan serat-serat plastic. Tanah dipadatkan hingga kepadatan maksimum direndam selama 4 hari untuk mensimulasikan genangan air akibat banjir. Dalam penelitian ini juga akan diperoleh nilai pengembangan (*swelling*). Penambahan serat kedalam tanah yang distabilisasi dengan kapur abu sekam padi mampu meningkatkan nilai CBR rendaman hingga 867% dari nilai CBR tanah asli. Nilai pengembangan dari tanah yang distabilisasi dengan kapur, abu sekam padi dan diperkuat dengan serat plastik mengalami penurunan sebesar 62% hingga 100% dari nilai pengembangan tanah asli. Kenaikan CBR rendaman paling besar terjadi pada variasi kadar serat sebesar 0,2% dari berat total campuran.

Penelitian lain seperti pada judul Stabilisasi Tanah Ekspansif dengan Penambahan Kapur (Lime): Aplikasi pada Pekerjaan Timbunan yang diteliti oleh Sutikno dan Damianto (2009). Pada penelitian ini tanah ekspansif akan ditambahkan beberapa persen kapur sebagai pengikat mineral pembentuk utamanya, yaitu montmorillonite. Sebagai aterial timbunan, bentuk uji stabilitas yang digunakan adalah CBR dan uji kuat geser tanah. Metode yang digunakan adalah uji coba di laboratorium menurut beberapa standar ASTM. Besarnya stabilitas CBR tanah ekspansif yang belum ditambah kapur padam namun telah melalui proses pemadatan *Standard Compaction* mempunyai nilai CBR sebesar 2,316%. Besarnya nilai CBR sebagai bentuk stabilitas dari tanah ekspansif yang ditambahkan apur padam dari 3%, 6%, 9%, dan 12% sebagai material timbunan, mendapatkan CBR maksimum sebesar 12,5% pada saat kapur optimum antara 4 – 6%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Tanah Dasar

Tanah dasar merupakan pondasi bagi suatu pembangunan maupun pekerasan jalan dengan kata lain tanah merupakan konstruksi terakhir yang menerima beban. Pada kasus yang sederhana, tanah dasar dapat terdiri dari tanah asli tanpa perlakuan sedangkan pada kasus lain yang lebih umum, tanah dasar terdiri dari tanah asli pada galian maupun timbunan. Untuk keperluan teknis, tanah dianggap merupakan suatu lapisan sedimen lepas seperti kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*) atau suatu campuran dari bahan-bahan tersebut. Tanah lapisan atas pada umumnya dibongkar sebelum suatu proyek teknis dikerjakan (Smith, 1992).

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan dan tanah yang didatangkan dari tempat lain seperti timbunan atau galian. Tanah dasar dalam keadaan asli merupakan bahan yang kompleks dan sangat bervariasi kandungan mineralnya. Pembangunan jalan raya tidak selalu berada diatas tanah dasar yang relatif baik, ada kemungkinan dibuat diatas tanah dasar yang kurang baik.

Akibatnya, tanah tersebut tidak dapat dipakai langsung sebagai lapisan dasar (*subgrade*). Oleh karena itu, untuk meningkatkan mutu dan kekuatan tanah dasar diperlukan perbaikan pada sifat-sifat tanah tersebut.

2.2.2 Tanah Lempung

Lempung terdiri atas butiran yang kecil dan memiliki sifat kohesi dan plastisitas. Sifat ini tidak ditemukan pada pasir dan kerikil. Sifat kohesi berarti butiran-butirannya saling menempel, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah dapat berubah bentuk tanpa mengubah volume dan tidak menyebabkan retak atau pecah (Wesley, 2013). Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak diantara sifat tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampaui berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat. Tanah lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Bowles, 1989). Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan pada ukurannya saja. Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung (*clay mineral*).

1. Kriteria Tanah Lempung

Suatu tanah dapat digolongkan sebagai tanah lempung jika suatu bahan hampir seluruhnya terdiri dari pasir tetapi ada yang mengandung sejumlah lempung, tanah lempung mempunyai beberapa jenis (Das, 1993) dijelaskan sebagai berikut.

a. Tanah Lempung Berlanau

Lanau adalah tanah atau butiran penyusun tanah/batuan yang berukuran di antara pasir dan lempung. Sebagian besar lanau tersusun dari butiran-butiran yang sangat halus dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika. Sifat yang dimiliki tanah lanau adalah sebagai berikut:

- i. Ukuran butiran halus, antara 0,002-0,05 mm
- ii. Bersifat kohesif

- iii. Kenaikan air kapiler yang cukup tinggi, antara 0,76-7,6 m.
- iv. Permeabilitas rendah
- v. Potensi kembang susut rendah sampai sedang
- vi. Proses penurunan lambat

Lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung. Tanah lempung berlanau merupakan tanah yang memiliki sifat plastisitas sedang dengan indeks plastisitas 7-17 dan kohesif.

b. Tanah Lempung Plastisitas Rendah

Plastisitas merupakan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak/remuk. Sifat dari plastisitas tanah lempung sangat dipengaruhi oleh besarnya kandungan air yang berada didalamnya dan juga disebabkan adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Sifat dari plastisitas tanah lempung sangat dipengaruhi oleh besarnya kandungan air yang berada didalamnya. Tanah dibedakan menjadi 4 (empat) keadaan dasar yaitu padat, semi padat, plastis, dan cair. Lempung plastisitas rendah memiliki nilai indeks plastisitas (PI) $<7\%$ dan memiliki sifat kohesi sebagian yang disebabkan oleh mineral yang terkandung didalamnya. Dalam sistem klasifikasi unified (Das,1993) tanah lempung plastisitas rendah memiliki simbol kelompok CL yaitu tanah berbutir halus 50% atau lebih, lolos ayakan No. 200 dan memiliki batas cair (LL) $\leq 50\%$.

c. Tanah Lempung Berpasir

Pasir merupakan partikel penyusun tanah yang sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*. Sifat-sifat yang dimiliki tanah pasir adalah sebagai berikut (Das,1991).

- i. Ukuran butiran antara 2 mm – 0,075 mm.
- ii. Bersifat non kohesif.
- iii. Kenaikan air kapiler yang rendah, antara 0,12-1,2 m.
- iv. Memiliki nilai koefisien permeabilitas antara 1 – 0,001 cm/det.
- v. Proses penurunan sedang sampai cepat.

Klasifikasi tanah tergantung pada analisis ukuran butiran, distribusi ukuran butiran, dan batas konsistensi tanah. Perubahan klasifikasi utama dengan

penambahan ataupun pengurangan persentase yang lolos saringan no. 4 atau no.200 adalah alasan diperlukannya mengikut sertakan deskripsi verbal beserta simbol-simbolnya, seperti pasir berlempung, lempung berlanau, lempung berpasir dan sebagainya. Pada tanah lempung berpasir persentase didominasi oleh partikel lempung dan pasir walaupun terkadang juga terdapat sedikit kandungan kerikil ataupun lanau. Identifikasi tanah lempung berpasir dapat ditinjau dari ukuran butiran, distribusi ukuran butiran dan observasi secara visual, sedangkan untuk batas konsistensi tanah digunakan sebagai data pendukung identifikasi karena batas konsistensi tanah lempung berpasir disuatu daerah dengan daerah lainnya akan berbeda tergantung jenis dan jumlah mineral lempung yang terkandung didalamnya.

Suatu tanah dapat dikatakan lempung berpasir bila lebih dari 50% mengandung butiran lebih kecil dari 0,002 mm dan sebagian besar lainnya mengandung butiran antara 2 – 0,075 mm. Pada sistem klasifikasi *Unified* (ASTMD 2487-66T) tanah lempung berpasir digolongkan pada tanah dengan simbol CL yang artinya tanah lempung berpasir memiliki sifat kohesi sebagian karena nilai plastisitasnya rendah ($PI < 7$). Untuk tanah urugan dan tanah pondasi, sistem klasifikasi *Unified*, mengklasifikasikan tanah lempung berpasir sebagai berikut (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1983).

- i. Stabil atau cocok untuk inti dan selimut kedap air
- ii. Memiliki koefisien permeabilitas
- iii. Efektif menggunakan penggilas kaki domba dan penggilas dengan dan bertekanan untuk pemadatan di lapangan
- iv. Berat volume kering 1,52-1,92t/m³
- v. Daya dukung tanah baik sampai buruk.

2.2.3 Mineral Tanah Lempung

Mineral lempung merupakan suatu jenis butir tertentu, yang menghasilkan sifat khusus pada tanah lempung. Jenis mineral ini yang paling terkenal adalah *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*. Struktur mineral ini disebut kristalin, yaitu molekulnya tersusun sehingga mempunyai bentuk tertentu, seperti lapisan. Kesatuan ini tersusun sehingga merupakan butir sangat kecil dengan bentuk

seperti piring. Struktur khusus ini berarti bahwa butir lempung sangat berbeda dengan butir pasir atau kerikil. Butir pasir dan kerikil terdiri atas bahan yang tetap keras dan mati, yaitu selalu kaku dengan sifat yang tidak berubah (Wesley, 2017).

Aktivitas ketiga jenis mineral lempung adalah *montmorillonite* (tinggi), *illite* (sedang), *kaolinite* (rendah). Lempung yang mengandung *montmorillonite* bersifat teknik yang buruk, khususnya sering menyebabkan kerusakan pada fondasi gedung akibat pengembangan dan penyusutan. Sebaliknya, lempung yang mengandung *kaolinite* jarang menyebabkan kesulitan karena aktivitasnya sangat rendah. Walaupun aktivitas tinggi berarti sifat teknik yang buruk masih ada keadaan memerlukan tanah dengan aktivitas tinggi. Misalnya, bangunan untuk menahan air seperti bendungan tanah, memerlukan tanah dengan permeabilitas yang rendah. Apalagi, seandainya terdapat pada daerah yang kena gempa bumi, diperlukan tanah yang plastis sehingga dapat menahan deformasi akibat gerakan tanah (Wesley, 2017).

Selain ketiga jenis mineral lempung yang biasa ini, ada dua jenis lagi yang sering terdapat pada lempung yang berasal dari bahan vulkanis. Nama mineral ini adalah *halloysite* dan *allophane*. Walaupun jenis tersendiri, *halloysite* dan *allophane* biasanya terdapat berdampingan. Mineral ini terbentuk akibat pelapukan pada abu vulkanis, yaitu bahan yang dikeluarkan oleh letusan gunung berapi, seperti umumnya terdapat pada Pulau Jawa dan Sumatera. Abu ini terdiri atas butir sebesar lanau dan pasir halus.

2.2.4 Sifat-sifat Tanah

Tanah mempunyai beberapa karakteristik yang terbagi dalam tiga kelompok diantaranya adalah sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi. Sifat fisik tanah antara lain adalah tekstur, permeabilitas, infiltrasi, dll. Setiap jenis tanah memiliki sifat fisik yang berbeda, usaha untuk memperbaiki tanah tidak hanya terhadap perbaikan sifat kimia dan biologi tanah tetapi juga perbaikan sifat fisik tanah. Perbaikan keadaan fisik tanah dapat dilakukan dengan perbaikan struktur tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik tanah, retensi air, drainase, dan

nutrisi tanaman. Sifat fisik tanah juga mempengaruhi sifat kimia dan biologi tanah, berikut ini terdapat beberapa sifat fisik tanah antara lain:

1. Bahan Induk Tanah

Bahan induk tanah merupakan materi utama dari tanah yang dibentuk oleh berbagai faktor melalui proses kimiawi, biologi dan fisik. Bahan induk tanah secara umum adalah Quartz (SiO_2), kalsit (CaCO_3), feldspar dan biotit.

2. Tekstur Tanah

Komponen mineral dari tanah adalah pasir, lumpur dan tanah liat, proporsi dari kombinasi ketiga bahan tersebut akan menentukan tekstur tanah (menyerupai kombinasi antara tepung, air dan telur). Hal yang dipengaruhi oleh tekstur tanah mencakup porositas, permeabilitas (kemampuan menyerap), infiltrasi, dan kapasitas kandungan air. Tanah, pasir dan lumpur merupakan produk dari material induk yang mengalami proses fisika dan kimiawi. Tanah liat merupakan produk dari pengendapan material induk yang larut sebagai material sekunder.

3. Kepadatan Tanah

Tingkat kepadatan tanah umumnya berkisar antara 2,6 hingga 2,75 gr per cm^3 dan biasanya tidak dapat berubah. Kepadatan partikel tanah yang banyak mengandung material organik lebih rendah dari pada tanah yang sedikit mengandung material organik. Tanah dengan kepadatan rendah dapat menyimpan air lebih baik namun bukan berarti cocok untuk pertumbuhan tanaman. Tanah dengan kepadatan tinggi menunjukkan tingkat kandungan pasir yang tinggi.

4. Porositas Tanah

Porositas mirip seperti kepadatan, hanya saja porositas berarti ruang kosong (pori-pori) diantara tekstur tanah yang tidak terisi dengan mineral atau bahan organik namun terisi oleh gas atau air. Semakin tinggi kepadatan tanah maka semakin rendah porositasnya dan sebaliknya semakin rendah kepadatan semakin rendah porositasnya. Idealnya, total porositas dari tanah adalah sekitar 50% dari total volume tanah. Ruang untuk gas dibutuhkan tanah untuk menyediakan oksigen yang berguna untuk organisme dalam menguraikan material organik, humus dan akar tanaman. Porositas juga mendukung pergerakan serta penyimpanan air serta nutrisi. Tingkat porositas tanah dibagi menjadi 4 (empat) kategori yaitu sangat

baik dengan tingkat porositas kurang dari 2 mikrometer, baik dengan tingkat porositas 2-20 mikrometer, sedang dengan tingkat porositas 20-200 mikrometer dan kasar dengan porositas 200 mikrometer hingga 2 mm.

5. Temperatur Tanah

Tanah memiliki temperatur yang bervariasi mulai dari tingkat dingin ekstrim -20 derajat celsius hingga tingkat panas ekstrim mencapai 60 derajat celsius. Temperatur tanah penting bagi germinasi biji tanaman, pertumbuhan akar tanaman serta menyediakan nutrisi bagi tanaman tersebut. Tanah yang berada 50 cm dibawah permukaan cenderung memiliki temperature yang lebih tinggi sekitar 1,8 derajat celsius.

6. Warna Tanah

Warna tanah seringkali menjadi faktor paling dasar bagi kita untuk membedakan jenis tanah. Umumnya, warna tanah ditentukan oleh kandungan mineral organik, kondisi drainase, mineralogi tanah dan tingkat oksidasi. Pengembangan dan distribusi warna tanah berasal dari proses kimiawi dan tingkat pelapukan material organik. Ketika mineral primer dalam bahan induk lapuk, elemen tanah akan dikombinasikan pada senyawa dan warna yang baru. Mineral besi merupakan mineral sekunder yang menghasilkan warna kuning datau kemerahan pada tanah, material organik akan menghasilkan warna hitam kecoklatan atau coklat (warna subur). Mangan, sulfur dan nitrogen akan menghasilkan warna hitam.

7. Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah berarti kemampuan tanah untuk menempel pada objek lain dan kemampuan tanah untuk menghindari deformasi atau berpisah. Konsistensi diukur dengan 3 kondisi kelembaban, yaitu: kering, lembap dan basah. Konsistensi tanah bergantung pada tingkat banyaknya tanah liat.

2.2.5 Klasifikasi Tanah

Pada umumnya tanah dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan

ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (*soil-separate-size limits*) (Das, 1993).

Klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, 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).

Tanah merupakan material yang sangat bervariasi sifat-sifat teknisnya. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) serta plastisitas. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. Sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas (Hardiyatmo, 2017). Dalam penelitian yang dilakukan kali ini digunakan klasifikasi tanah sistem *Unified Soil Classification System (USCS)*.

Sistem klasifikasi tanah yang sering dipakai di dunia adalah USCS atau sistem klasifikasi kesatuan. Sistem ini dibuat oleh Arthur Casagrande dimana berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan maupun bangunan lainnya. Awalnya digunakan oleh US Army untuk landasan terbang pada Perang Dunia II. Sistem ini boleh dipakai berdasarkan penyelidikan visual saja, atau pada hasil pengujian di laboratorium. Kaidah pembedanya adalah besaran butiran tanah sehingga langkah pertama adalah menempatkan tanah pada kelompok tanah berbutir kasar dan halus. Tanah yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 0,06 mm (saringan No.200) sebanyak lebih 50% termasuk dalam kelompok tanah berbutir halus, sedangkan tanah yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 0,06 mm sebanyak kurang dari 50% termasuk dalam kelompok butiran kasar (Wesley, 2017). Sistem klasifikasi tanah menurut *USCS* terdapat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi USCS

Detail Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tebal lebih besar 50% atau lebih Tebal lebih besar 50% atau lebih Tebal lebih besar 50% atau lebih	Keril lebih banyak mengandung butiran halus	GW	Keril gradasi baik dan campuran pasir - keril, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{60} \times D_{10}} \text{ antara } 1 \text{ dan } 3$ Tidak memenuhi kriteria untuk GW Bisa-biasa Atterberg berada di bawah garis A atau $P_L < 4$ Bisa-biasa Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{60} \times D_{10}} \text{ antara } 1 \text{ dan } 3$
		GP	Keril gradasi buruk dan campuran pasir - keril, atau tidak mengandung butiran halus	
Keril lebih banyak mengandung butiran halus	Keril lebih banyak mengandung butiran halus	GM	Keril berlekas, campuran keril pasir-lempung	Tidak memenuhi kriteria untuk SW Bisa-biasa Atterberg di bawah garis A atau $P_L < 4$ Bisa-biasa Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$
		GC	Keril berlekas, campuran keril pasir-lempung	
Keril lebih banyak mengandung butiran halus	Keril lebih banyak mengandung butiran halus	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkeril, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^3}{D_{60} \times D_{10}} \text{ antara } 1 \text{ dan } 3$ Tidak memenuhi kriteria untuk SW Bisa-biasa Atterberg berada di bawah garis A atau $P_L < 4$ Bisa-biasa Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkeril, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Keril lebih banyak mengandung butiran halus	Keril lebih banyak mengandung butiran halus	SM	Pasir berlekas, campuran pasir - lekas	Tidak memenuhi kriteria untuk SW Bisa-biasa Atterberg berada di bawah garis A atau $P_L < 4$ Bisa-biasa Atterberg di atas garis A atau $P_L > 7$
		SC	Pasir berlekas, campuran pasir - lempung	
Lempung dan lempung lebih dari 50% atau lebih	Lempung dan lempung lebih dari 50% atau lebih	ML	Lempung tak organik dan pasir sangat halus, serbuk halus atau pasir halus sebagian atau lempung	Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi lekas lunak (lekas yang berlekas lebih lemah) berdasar nilai dan bentuk bujur sangkar (luas Atterberg yang berlekas) dalam daerah yang berlekas lunak (kemungkinan mengorganisir) dan serbuk
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkeril, lempung berpasir, lempung berlekas, lempung kasar ("lean clay")	
Lempung dan lempung lebih dari 50% atau lebih	Lempung dan lempung lebih dari 50% atau lebih	OL	Lempung organik dan lempung berlekas organik dengan plastisitas rendah	Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi lekas lunak (lekas yang berlekas lebih lemah) berdasar nilai dan bentuk bujur sangkar (luas Atterberg yang berlekas) dalam daerah yang berlekas lunak (kemungkinan mengorganisir) dan serbuk
		MH	Lempung tak organik atau pasir halus dominan, lekas elastis	
Lempung dan lempung lebih dari 50% atau lebih	Lempung dan lempung lebih dari 50% atau lebih	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (lempung lekas ["fat clay"])	Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi lekas lunak (lekas yang berlekas lebih lemah) berdasar nilai dan bentuk bujur sangkar (luas Atterberg yang berlekas) dalam daerah yang berlekas lunak (kemungkinan mengorganisir) dan serbuk
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tebal dengan kadar organik tinggi	Tebal dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

Sumber: Hardiyatmo, 2012

2.2.6 Kadar Air Tanah (w)

Secara umum tanah terdiri dari tiga unsur yaitu butiran tanah atau partikel padat (*soil*), air (*water*), dan udara. Kandungan air dan udara yang terdapat di antara butiran yang disebut pori tanah. Bila volume pori didalam tanah dipenuhi oleh air, maka tanah dinyatakan dalam kondisi jenuh. Sebaliknya bila didalam pori tanah tidak berisi air sama sekali, maka tanah dalam kondisi kering. Besarnya volume air yang terkandung didalam pori tanah dibanding dengan volume pori tanah yang ditempati oleh air dan udara disebut derajat kejenuhan (*degree of saturation*) yang dinotasikan dengan S, besarnya kandungan air yang terdapat didalam suatu contoh tanah disebut kadar air, w (*water content*) yang dinyatakan dalam persentase terhadap berat tanah dalam keadaan kering (Taufik dkk, 2011).

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

keterangan,

w	= Kadar air (%)
w _w	= Berat air
w _s	= Berat butiran padat

berdasarkan SNI 1965:2008 mengenai cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium, menjelaskan bahwa kadar air merupakan perbandingan berat air yang mengisi rongga pori material tanah atau material batuan terhadap berat partikel padatnya, yang dinyatakan dalam persen. Adapun prosedur pengujian kadar air dilakukan berdasarkan SNI 1965:2008, dan perhitungan kadar air mineral dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$w = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_3} \times 100\% \quad (2.2)$$

keterangan,

w	= Kadar air (%)	n	= Jumlah <i>sample</i>
w ₁	= Berat cawan dan tanah basah (gr)		
w ₂	= Berat cawan dan tanah basah (gr)		
w ₃	= Berat cawan kosong (gr)		
(w ₁ -w ₂)	= Berat air (gr)		
(w ₂ -w ₃)	= Berat tanah kering/berat butiran (gr)		

2.2.7 Berat Jenis (*Specific Gravity*) (G_s)

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4 derajat celcius (Hardiyatmo, 2017). Berdasarkan SNI 1964:2008, berat jenis adalah perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air suling pada temperatur dan volume yang sama. Prosedur uji berat jenis ditentukan dengan SNI 1964:2008.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.3)$$

G_s tidak berdimensi, secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkoheesi atau tanah granuler, sedang untuk tanah-tanah kohesif tidak berkoheesi atau tanah granuler, sedangkan untuk tanah-tanah kohesif tidak mengandung bahan organik G_s berkisar antara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Berat jenis tanah (*specific gravity*)

No	Macam tanah	Berat jenis (G_s)
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, 2017

Nilai-nilai kerapatan relatif air pada temperature 18-30° C diberikan pada Tabel 2.3 seperti dibawah ini.

Tabel 2.3 Hubungan antara kerapatan relatif air dan faktor konversi k dalam temperatur

No.	Temperatur, derajat celcius	Hubungan Kerapatan Relatif Air	Faktor Koreksi
1.	18	0,9986244	1,0004
2.	19	0,9984347	1,0002
3.	20	0,9982343	1,0000
4.	21	0,9980233	0,9998
5.	22	0,9978019	0,9996
6.	23	0,9975702	0,9993
7.	24	0,9973286	0,9991
8.	25	0,9970770	0,9989
9.	26	0,9968156	0,9986
10.	27	0,9965451	0,9983
11.	28	0,9962652	0,9980
12.	29	0,9939761	0,9977
13.	30	0,9956780	0,9974

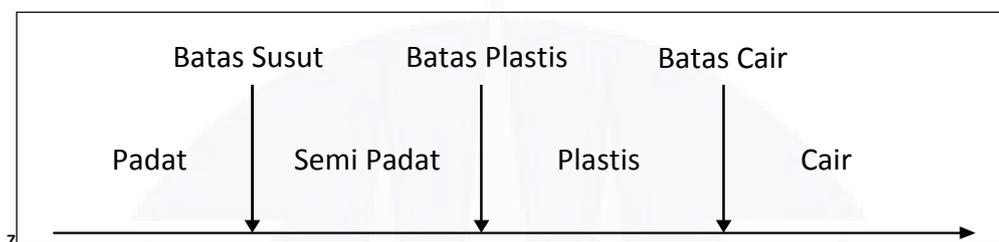
Sumber: SNI 1964-2008

2.2.8 Batas-batas *Atterberg*

Sifat istimewa dari lempung adalah plastisitas, sehingga cara pengujian yang mengukur sifat ini merupakan petunjuk yang berguna tentang perilaku tanah tersebut. Uji yang digunakan selama bertahun-tahun pada mekanika tanah adalah bata *Atterberg*, yang menjadi petunjuk berharga untuk sifat lempung untuk lanau. Nilai batas *Atterberg* adalah kadar air pada batas keadaan plastis tanah. Jika pada awalnya kadar air rendah, yaitu dalam keadaan kering, lempung tersebut adalah keras dan memiliki sifat seperti benda padat. Jika kadar airnya bertambah, lempung akan menjadi lebih lunak dan memasuki tahap yang disebut semiplastis. Dengan terus menambah kadar airnya, lempung akan bertambah lunak sampai plastis. Pada tahapan plastis lempung dapat mengalami perubahan bentuk tanpa

terjadi retak dan tanpa mengubah volumenya. Jika kadar airnya terus ditambah, maka lempung tersebut akan menjadi sangat lunak sehingga lebih berupa cair daripada benda plastis (Wesley, 2012).

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam Gambar 2.1 (Hardiyatmo, 2012).



Sumber: Hardiyatmo, 2012

Gambar 2.1 Batas-batas Atterberg

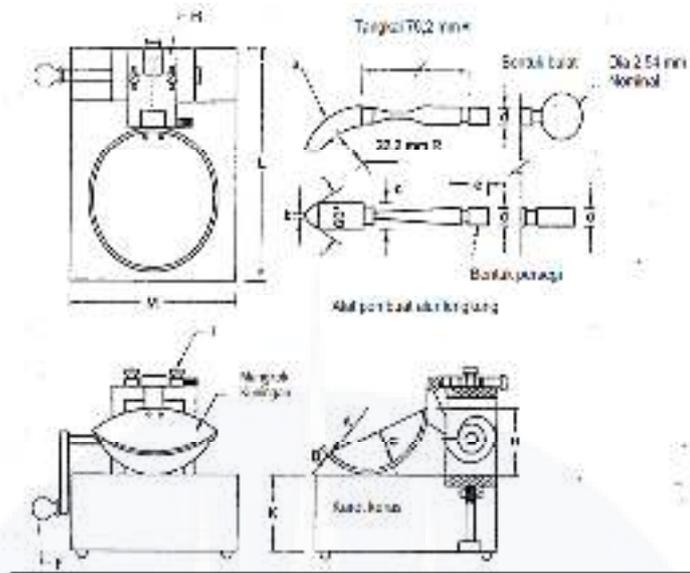
1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*LL*), adalah kadar air apabila galur bertaut sepanjang 13 mm dengan 25 putaran (Wesley, 2012). Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948). Gambar skematis alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.2. contoh tanah dimasukkan dalam cawan, tinggi cawan dalam contoh kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat ditengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm.

Menurut SNI 1967:2008 penentuan nilai batas cair diperoleh dari kadar air yang menggambarkan perpotongan antara kurva alir dan garis melalui 25 pukulan pada ordinat diambil sebagai nilai batas cair tanah dan dilaporkan nilai ini sebagai bilangan bulat. Untuk pelaksanaan pengujian dan perhitungan batas cair prosedur pengerjaannya dilakukan berdasarkan SNI 1967:2008. Kandungan air dalam tanah harus dinyatakan sebagai kadar air dalam persen dari berat tanah kering oven dan harus dihitung sebagai berikut:

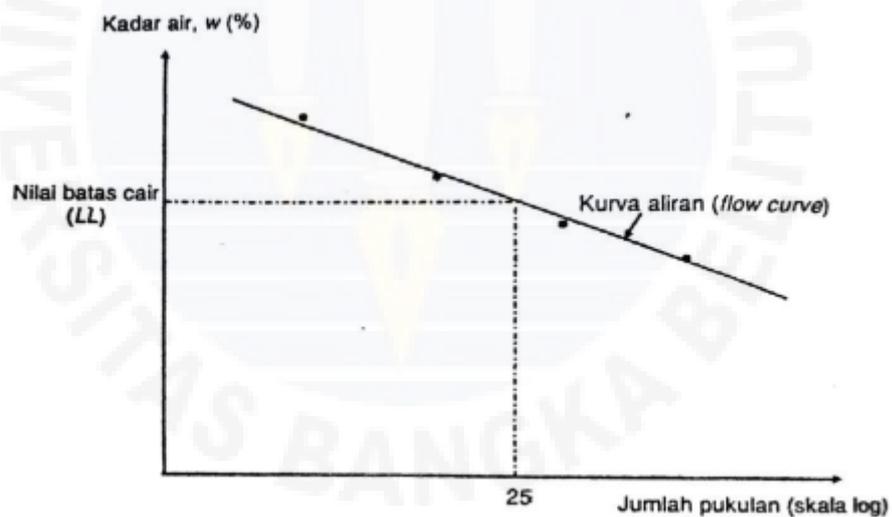
$$\text{persentase kadar air} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering oven}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Persentase kadar air dibulatkan ke nilai yang terdekat.



Sumber: Standar Nasional Indonesia 1967:2008

Gambar 2.2 Peralatan Pengujian Batas Cair



Sumber: Hardiyatmo, 2012

Gambar 2.3 Kurva Untuk Penentuan Batas Cair Lempung

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*PL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2012).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 1966:2008, nilai batas plastis dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$PL = \frac{\text{berat massa air}}{\text{berat massa tanah kering}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Prosedur pelaksanaan pengujian batas plastis dilaksanakan berdasarkan SNI 1966:2008.

3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* tinggi maka, tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika *PI* rendah, seperti lanau sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 2.5 (Hardiyatmo, 2012). Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian indeks plastisitas adalah sebagai berikut (SNI, 1966:2008):

$$PI = LL - PL \quad (2.6)$$

Keterangan:

PI = Indeks plastisitas (*plasticity index*)

LL = Batas cair (*liquid limit*)

PL = Batas plastis (*plastic limit*)

Tabel 2.4 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah (Jumikis, 1962)

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, 2012

2.2.9 Gradasi atau Analisis Ukuran Butiran

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran dengan ukuran diameter lubang tertentu

(Hardiyatmo, 2012). Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan untuk mendapatkan nilai gradasi tanah. Berikut ini terdapat penjelasan tentang tanah berbutir kasar dan halus yang dijelaskan seperti dibawah ini.

1. Tanah Berbutir Kasar

Tanah berbutir kasar dibagi menjadi pasir atau kerikil berdasarkan distribusi ukuran butirannya. Distribusi ukuran butir tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah disaring lewat satu unit sarigan standar, berat tanah yang tertinggal pada masing-masing sarigan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Keterangan tanah berbutir kasar dijelaskan sebagai berikut (Wesley, 2017).

- a. Ukuran butiran maksimum,
- b. Gradasi, yaitu apakah bahan tersebut bergradasi baik, buruk atau seragam,
- c. Kekerasan butiran,
- d. Bentuk butiran, yaitu apakah bulat, bersudut, memanjang atau sebagainya,
- e. Kadar butiran halus, apakah termasuk lanau atau lempung,
- f. Mineral yang dominan atau jenis batuan (jika diketahui).

USCS menggunakan huruf dibawah ini untuk tanah berbutir kasar: *S (Sand)* – pasir, *G (Gravel)* – kerikil, *W (Well)* – bergradasi baik, *P (Poor)* – bergradasi buruk.

2. Tanah Berbutir Halus

Tanah diperiksa termasuk jenis lanau atau lempung. Cara terbaik untuk membedakan secara visual antara lanau dan lempung adalah dengan uji dilantasi. Tanah lunak (cukup basah sehingga hampir lengket) diletakkan pada telapak tangan dan digoyangkan atau digetarkan secara horizontal. Jika tanah tersebut termasuk lanau, maka air akan muncul dipermukaan dan akan hilang jika diremas. Selama digetarkan, tanah tersebut cenderung runtuh dan air muncul ke permukaan. Pada lempung, kelakuan ini tidak ditemukan. Pembagian kedalam lanau atau lempung boleh juga dibuat berdasarkan letak batas *Atterberg* pada diagram plastisitas (Wesley, 2017). *USCS* menggunakan huruf seperti berikut ini

untuk tanah berbutir halus: *C (Clay)* – lempung, *M (Silt)* – lanau, *H (High)* – batas cair tinggi, *L (Low)* – batas cair rendah.

Menurut SNI 3423:2008, analisis saringan adalah suatu usaha untuk mendapatkan distribusi ukuran butir tanah dengan menggunakan analisis saringan. Mengenai tahapan, alat dan perhitungan dilakukan berdasarkan SNI tersebut. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan analisis saringan:

$$\% \text{berat tanah tertahan saringan} = \frac{\text{berat tanah tertahan saringan}}{w} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\% \text{berat komulatif tanah tertahan saringan} = \text{penjumlahan} \% \text{berat tertahan} \quad (2.8)$$

$$\% \text{tanah lolos saringan} = 100 - \% \text{komulatif tanah tertahan} \quad (2.9)$$

Keterangan:

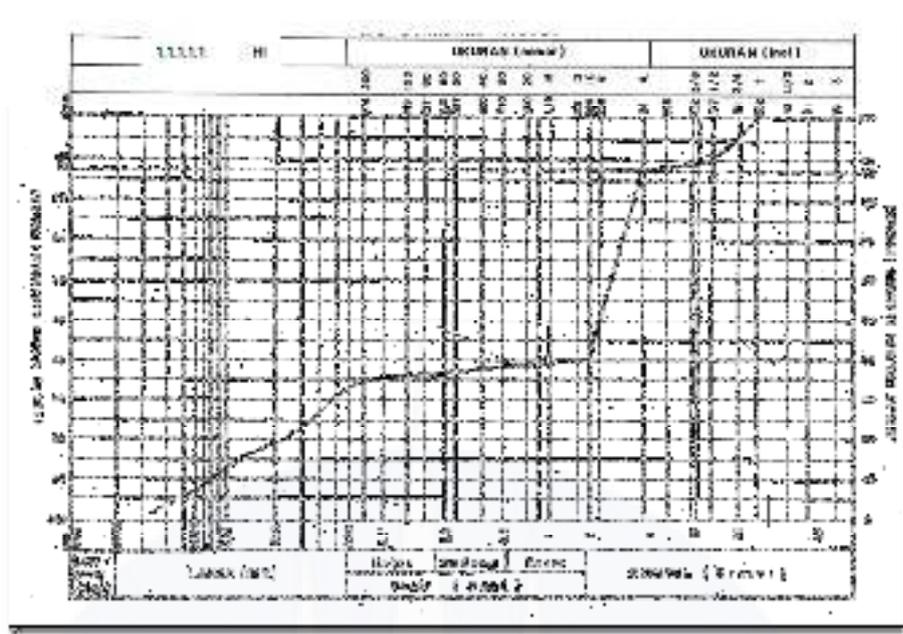
w = berat tanah kering yang diuji (gr)

Adapun standar ukuran saringan dalam pengujian analisis ukuran butiran tanah ini dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Gambar 2.4.

Tabel 2.5 Standar Ukuran Saringan

No.	Standar Ukuran (mm)	Alternatif Satuan (inci)
1.	4,75	No.4
2.	2,36	No.8
3.	2,00	No.10
4.	1,18	No.16
5.	0,60	No.30
6.	0,425	No.40
7.	0,30	No.50
8.	0,15	No.100
9.	0,075	No.200

Sumber: SNI 3423:2008



Sumber: SNI 3423:2008

Gambar 2.4 Kurva Akumulasi Ukuran Butir Tanah

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan pengujian analisis saringan adalah sebagai berikut:

$$JK = W_{\text{sekarang}} + JK_{\text{sebelum}} \quad (2.10)$$

$$\% W_{\text{tertinggal}} = \frac{\% \text{lolos}}{w_d} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$\% \text{Lolos} = 100 - \% W_{\text{tertinggal}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

JK = Jumlah kumulatif (gr)

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

JK_{sebelum} = Jumlah kumulatif sebelumnya (gr)

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

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

w_d = Berat kering tanah (gr)

2.2.10 Uji Pemadatan (*Compaction*)

Menurut Wesley (2017), tanah yang dipakai untuk pembuatan tanggul, bendungan tanah atau jalan harus dipadatkan untuk menaikkan kekuatannya, memperkecil kompresibilitasnya dan daya rembesan air, serta memperkecil

pengaruh air terhadap tanah tersebut. Pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis. Pemadatan berlainan dengan proses konsolidasi dan kedua istilah tidak boleh dicampur aduk. Cara mekanis yang dipakai untuk memadatkan tanah dapat bermacam-macam. Dilapangan biasanya dipakai cara menggilas, sedangkan di laboratorium dipakai cara memukul. Untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang dicapai bergantung pada banyaknya air di dalam tanah tersebut, yaitu pada kadar airnya.

Pada kadar air yang lebih tinggi, kepadatan akan mencapai nilai terbesar kemudian menurun. Ini terjadi karena pori-pori tanah menjadi penuh air yang tidak dapat dikeluarkan dengan proses pemadatan. Kepadatan tanah biasanya diukur dengan menentukan isi berat kering, bukan dengan menentukan angka porinya. Tentu, lebih tinggi berat isi kering, berarti lebih kecil angka pori dan lebih tinggi derajat kepadatannya. Jadi untuk menentukan kadar air optimum, biasanya dibuat grafik berat satuan kering terhadap kadar air. Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Proctor (1933) mengamati bahwa ada hubungan pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (2.13)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut Uji *Proctor*, dan Uji *Proctor* yang dimodifikasi (*Modified Proctor*). Pada Pengujian *Proctor* di modifikasi, alat pemadat yang digunakan berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Tanah didalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. tanah dipadatkan dalam 5 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan (Hardiyatmo, 2012).

Berdasarkan SNI 1743:2008 mengenai cara uji kepadatan berat untuk tanah, menjelaskan bahwa kepadatan tanah basah adalah perbandingan antara massa benda uji basah dan volume. Kepadatan kering yaitu perbandingan antara massa benda uji kering dan volume. Sedangkan kepadatan kering jenuh adalah perbandingan massa kering tanah dan volume total pada kondisi jenuh air (rongga berisi udara nol. Untuk kepadatan maksimum adalah kepadatan kering yang paling besar diperoleh dari kurva pemadatan. Adapun mengenai tahapan-tahapan pengujian pemadatan dilakukan berdasarkan SNI 1743:2008, sedangkan persamaan yang digunakan dalam perhitungan kepadatan tanah adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Kepadatan Basah

$$\rho = \frac{(B_2 - B_1)}{V} \quad (2.14)$$

Keterangan,

ρ = Kepadatan basah (gr/cm^3)

B_1 = Massa cetakan dan keping alas (gr)

B_2 = Massa cetakan, keping alas dan benda uji (gr)

V = Volume benda uji atau volume cetakan (cm^3)

2. Perhitungan Kadar Air Benda Uji

$$w = \frac{(A - B)}{(B - C)} \times 100\% \quad (2.15)$$

Keterangan,

w = kadar air (%)

A = Massa cawan dan benda uji basah (gr)

B = Massa cawan dan benda uji kering (gr)

C = Massa cawan (gr)

3. Perhitungan Kepadatan (Berat Isi) Kering

$$\rho_d = \frac{\rho}{(100 + w)} \times 100\% \quad (2.16)$$

Keterangan,

ρ_d = Kepadatan kering (gr/cm^3)

ρ = Kepadatan basah (gr/cm^3)

w = Kadar air (%)

4. Perhitungan Zero Air Void Curve (ZAV), hubungan antara berat isi kering dengan kadar air bila terjadi derajat kejenuhan 100%

$$\rho_d = \frac{(G_s - \rho_w)}{(100 + G_s \cdot w)} \times 100\% \quad (2.17)$$

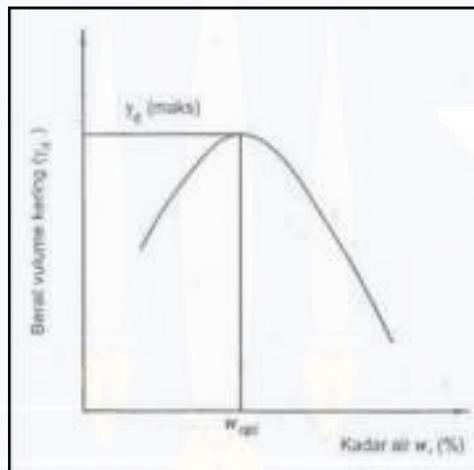
Keterangan,

ρ_d = Kepadatan kering (gr/cm^3)

G_s = Berat jenis tanah

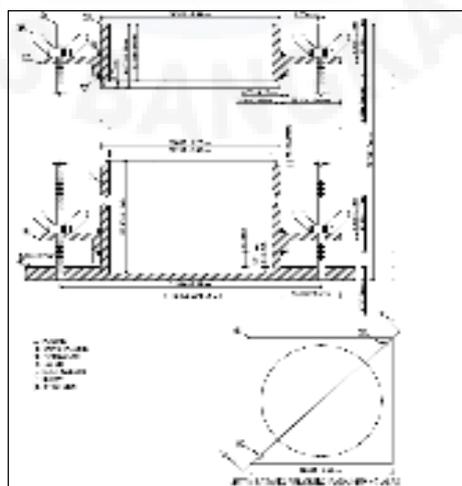
ρ_w = Kepadatan air (gr/cm^3)

w = Kadar air (%)



Sumber: Hardiyatmo, 2012

Gambar 2.5 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering



Sumber: SNI 1473-2008, 2018

Gambar 2.6 Cetakan Silinder dan Keping Alat

2.2.11 Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)*

CBR adalah perbandingan beban penetrasi suatu bahan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Tujuan dari pengujian *CBR* di laboratorium ini untuk menentukan nilai *CBR* tanah dan campuran tanah agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Lapisan tanah yang akan dipakai sebagai lapisan subbase atau subgrade suatu konstruksi gedung maupun jalan pada umumnya memerlukan proses pemadatan agar mampu menerima beban sesuai dengan yang direncanakan.

Nilai *CBR* dihitung pada harga penetrasi 0,1 dan 0,2 inci, dengan cara membagi beban pada penetrasi ini masing-masing dengan beban sebesar 3000 dan 4000 pound. Dari hasil pengujian *CBR* laboratorium dipadatkan kadar air optimum, berat isi kering maksimum, nilai *CBR* pada kepadatan optimum, dan nilai *CBR* pada kepadatan 95% (*CBR Design*).

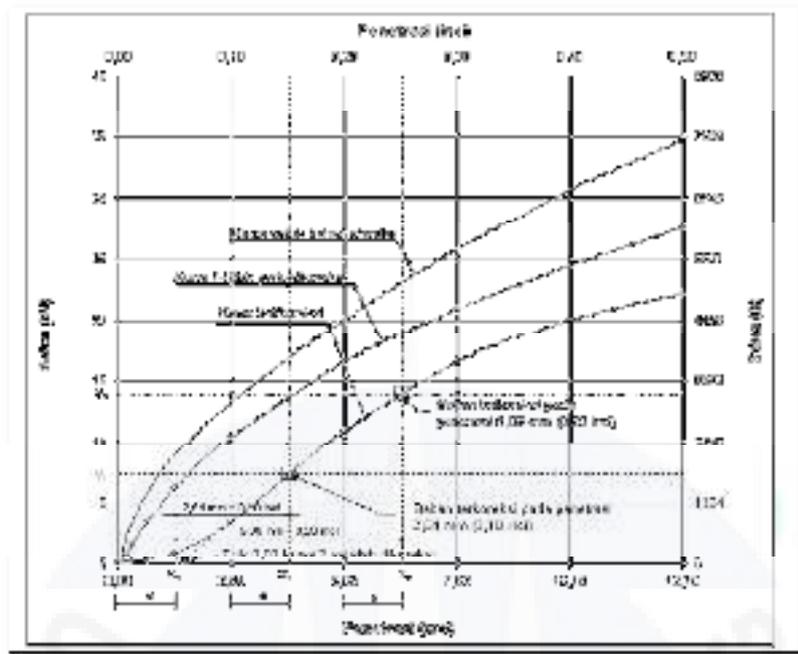
$$CBR = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{\text{beban standar}} \times 100\% \quad (2.18)$$

CBR umumnya dipilih pada penetrasi 2,54 mm (0,10 in), jika *CBR* pada penetrasi 5,08 mm (0,20 in) lebih besar dari *CBR* pada penetrasi 2,54 mm (0,10 inci). Pengujian *CBR* harus diulang, tetap memberikan hasil yang sama. *CBR* pada 5,08 mm (0,20 in) harus digunakan. Adapun terdapat gambar kurva hubungan antara beban penetrasi dan penetrasi dan alat uji penetrasi *CBR* dilaboratorium terdapat dalam Gambar 2.7 dan 2.8 beserta Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Klasifikasi Nilai *CBR*

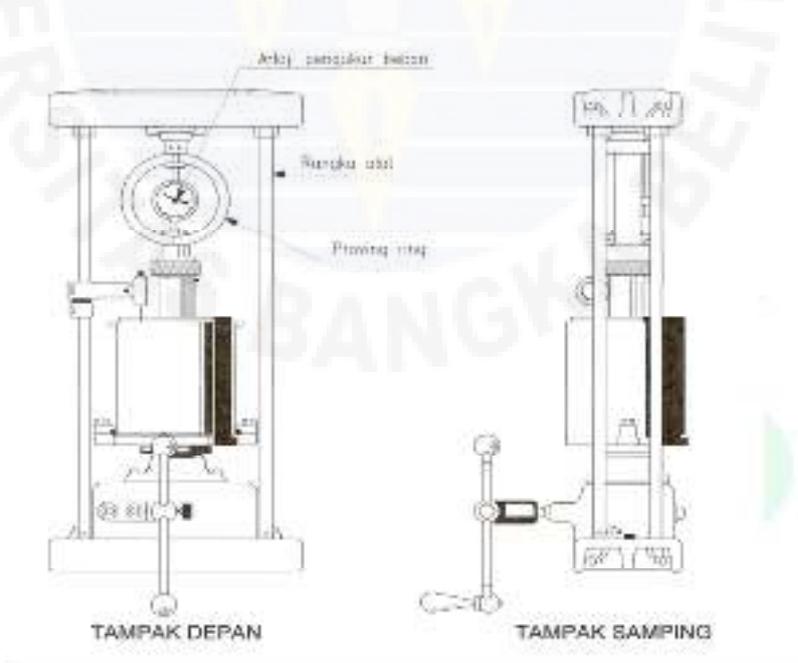
<i>CBR (%)</i>	<i>Keterangan</i>
0 – 3	Sangat buruk
3 – 7	Buruk
7 – 20	Sedang
20 - 50	Baik
>50	Sangat baik

Sumber: Wesley, 1977



Sumber: SNI 1744:2012, 2018

Gambar 2.7 Kurva Hubungan antara Beban Penetrasi dan Penetrasi



Sumber: SNI 1744:2012, 2018

Gambar 2.8 Alat Uji Penetrasi *CBR* di Laboratorium

2.2.12 Stabilisasi Tanah

Dalam pembangunan sering ditemui tanah dasar atau material di sekitar lokasi proyek tidak memenuhi syarat bila digunakan untuk pembangunan perkerasan. Salah satu cara untuk menangani masalah ini adalah dengan melakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah merupakan upaya yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Tanah dibuat stabil agar jika ada beban di atasnya tidak mengalami penurunan (*settlement*). Beberapa cara dalam melakukan stabilisasi tanah dengan menambahkan bahan tambah seperti *fly ash*, semen, aspal emulsi, dan abu vulkanik. Namun dalam penelitian ini penulis menggunakan bahan tambah serbuk arang tempurung kelapa sebagai bahan stabilisasi tanah.

Menurut Bowles (1989) apabila tanah yang terdapat dilapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan. Maka tanah tersebut harus distabilisasikan, ada tiga jenis stabilisasi tanah yang dapat dilakukan yaitu:

1. Stabilisasi Fisik

Dilakukan dengan mengubah karakteristik tanah dengan tanah yang secara teknik memenuhi syarat dalam pelaksanaan sebuah konstruksi. Dalam hal ini tanah harus di uji gradasi butiran, batas konsistensi tanah serta kandungan mineral tanah.

2. Stabilisasi Kimia

Usaha ini dengan menambah zat aditif (campuran) seperti kapur semen, *fly ash*, bitumen dan yang penulis gunakan pada penelitian kali ini yaitu serbuk arang tempurung kelapa. Hal ini dilakukan untuk memodifikasi perilaku tanah menjadi lebih baik.

3. Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi ini dengan cara mengubah sifat mekanik tanah seperti kuat geser tanah, kohesi, konsolidasi dan modulus elastisitas tanah (kekenyalan tanah).

2.2.13 Arang Tempurung Kelapa

Arang tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar. Arang memberikan kalor pembakaran yang lebih tinggi, dan asap yang lebih sedikit. Arang dapat ditumbuk, kemudian dikempa menjadi briket dalam berbagai macam bentuk. Briket lebih praktis dibanding kayu bakar. Arang dapat diolah lebih lanjut menjadi arang aktif, dan sebagai bahan pengisi dan pewarna pada industri karet dan plastik (Hendra,2007).

Penggunaan bahan-bahan alami sebagai penyerap merupakan satu kecenderungan baru dalam penggunaannya. Sebagai penyerap, karbon arang tempurung kelapa memiliki kesesuaian karena tingkat kemurnian dan rapat massa yang tinggi, kandungan abu yang rendah dan struktur pori mikro yang seragam. Sebagai bahan sisa yang biasanya terbuang menjadi sampah, pemanfaatan arang tempurung kelapa untuk tujuan tersebut selain memberikan biaya produksi yang relatif rendah juga memberikan satu tawaran dalam masalah lingkungan. Sebagian besar dipedesaan sabut dan tempurung kelapa dimanfaatkan untuk bahan bakar, baik dalam bentuk tempurung kering atau arang tempurung. Beberapa tahun terakhir ini tempurung kelapa digunakan untuk stabilisasi tanah dengan tambahan kapur yang bisa meningkatkan nilai kohesi tanah, penelitian lain tentang arang tempurung kelapa digunakan sebagai karbon aktif untuk pemanfaatan limbah menjadi air bersih. Pada penelitian ini arang tempurung kelapa yang terdapat karbon sebagai penyerap diharapkan dapat menyerap kandungan air pada tanah lempung.

Arang adalah suatu bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pemanasan dari bahan yang mengandung unsur karbon. Sebagian besar pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon, tar dan senyawa organik lain dan komponennya terdiri dari karbon terikat, abu, air, nitrogen dan sulfur. Proses pembentukan tempurung kelapa menjadi arang tempurung memerlukan tahap

meliputi persiapan bahan mulai dari pembersihan kelapa dari kotoran dan sisa serabut.

Menurut IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), ukuran partikel pori dikelompokkan dalam tiga kelompok yaitu pori mikro (< 2 nm), porimeso ($2 - 50$ nm) dan porimakro (>50 nm). Karbon berbahan arang tempurung kelapa memiliki ukuran pori mikro dan makro bergantung pada parameter proses seperti suhu, tekanan dan keadaan atmosfer yang digunakan. Derajat halus serbuk dinyatakan dengan satu nomor saringan dimaksudkan bahwa semua serbuk dapat lolos pada saringan dengan nomor terendah dan tidak lebih dari 40% melalui saringan dengan nomor tertinggi. Nomor saringan menunjukkan jumlah lubang tiap 2,54 cm (1 in). dalam beberapa hal digunakan untuk menyatakan derajat halus serbuk yang disesuaikan dengan nomor saringan seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Derajat Halus 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: Wigesudirman, 2015

Perubahan tempurung kelapa menjadi arang tempurung kelapa dilakukan dengan pemanasan melalui proses pembakaran tempurung kelapa didalam tungku pemanas selama kurang lebih 20 hari dengan 10 hari pembakaran dan 10 hari pendinginan pada suhu berkisar antara 70 - 150° C. Proses ini juga disebut proses karbonisasi yang bertujuan untuk pembentukan kandungan karbon dan menghilangkan atau mengurangi kandungan air dan tar pada arang. Setelah proses

pembakaran arang tempurung kemudian ditumbuk hingga menjadi serbuk dan kemudian disaring dengan saringan No.10.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chereminisoff komposisi kimia tempurung kelapa adalah selulosa 26,60%, lignin 29,40%, pentosan 27,70%, solvent ekstratif 4,20%, uronat anhidrid 3,50%, abu 0,62%, nitrogen 0,11%, dan air 8,01%. Perubahan komponen dan kandungan tempurung kelapa ditunjukkan pada Tabel 2.8 sebagai berikut.

Tabel 2.8 Hasil Kandungan Kimia Arang Tempurung Kelapa

Unsur	Hasil Pengujian (%)
Al ₂ O ₃	18,68
CaO	5,42
Fe ₂ O ₃	2,39
MgO	2,78
SiO ₂	28,61
C	49,62
Abu	13,08
Volatile	10,60

Sumber: Iqbalin, 2013

Tabel diatas menunjukkan penyusun utama arang adalah karbon dan silika. Menurut Alwi dalam Bachtiar senyawa karbon umumnya mempunyai daya serap yang tinggi tergantung kepada jumlah senyawa karbon yang berkisar 80 – 95% karbon bebas. Karena karbon pada arang memiliki daya serap yang tinggi dan mengandung silika maka diharapkan dalam penelitian ini senyawa karbon dapat berfungsi sebagai penyerap dan silika sebagai pengikat mineral lempung pada tanah lempung sehingga membuat tanah lempung lebih bergradasi baik, silika merupakan bahan pengikat seperti halnya pada semen, diketahui silika dapat menjadi bahan pengikat, bahan campuran ini digunakan sebagai bahan untuk stabilisasi tanah lempung.





BAB III