

PENGARUH BAHAN TAMBAH POTONGAN LIMBAH MATERIAL PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS PADA TANAH LEMPUNG WATES

Muhammad Siddiqi Hajar¹, Dian Eksana Wibowo²

^{1,2}Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY
eksa.prince@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to classification clays in Kasongan Bantul based of AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials Classification) and to find out the highest number of q_u by using a mixed pieces of plastic material waste in percentage 0%, 1%, 2%, and 3%. This research was conducted in laboratory soil mechanics the Department of Civil Engineering and Planning, Faculty of Engineering, Yogyakarta State University. The results showed that Clays in Kasongan Bantul based of AASTHO is classified A-7-6 (11) that is medium to low; the plastic material waste reveals the highest number of q_u , that is on 3 % that is 0,91286 kg/cm²; 2% that is 0,77660 kg/cm²; 1% that is 0,77354 kg/cm²; and 0% that is 0,65345 kg/cm².

Keywords: Clay, plastic material waste, unconfined compression test

PENDAHULUAN

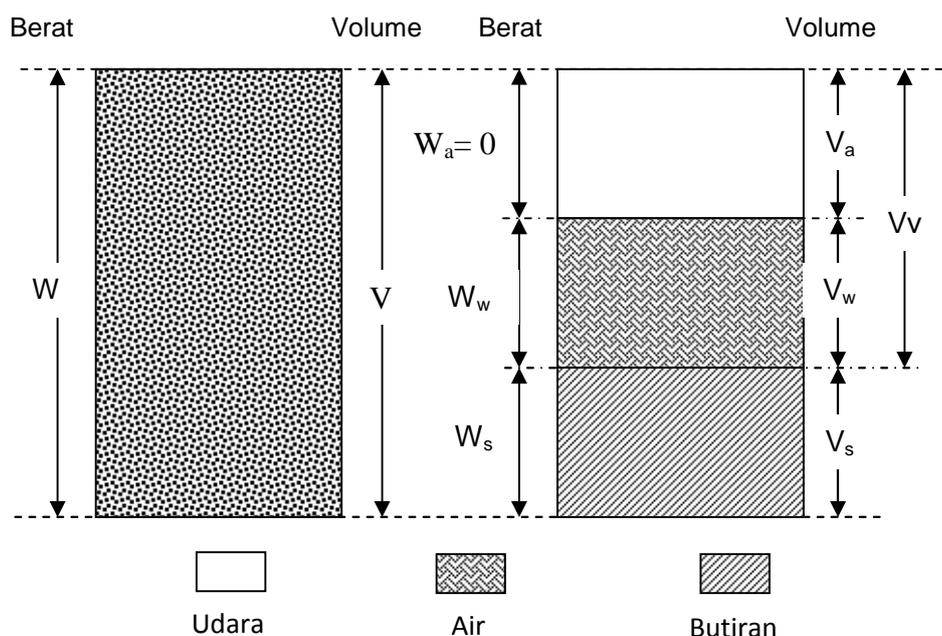
Setiap tahun kebutuhan lahan untuk pembangunan fasilitas yang diperlukan manusia semakin terbatas sehingga mau tidak mau bangunan didirikan di atas tanah lunak. Tanah lunak mudah mengalami penurunan pada saat terjadi tambahan beban lateral di atasnya. Tanah lempung merupakan jenis tanah lunak yang mempunyai kembang susut tinggi (Iqbal, 2015: 1). Sementara itu dengan bertambahnya jumlah penduduk di dunia semakin meningkat pula jumlah kebutuhan plastik. Kedua hal inilah yang dipertimbangkan dengan melakukan stabilisasi pada tanah lempung dengan cara melakukan pemeriksaan uji tekan bebas campuran lempung dengan plastik di laboratorium.

Di Indonesia, kebutuhan plastik terus meningkat hingga mengalami kenaikan rata-rata 200 ton per tahun. Tahun 2002 tercatat 1,9 juta ton, di tahun 2003 naik menjadi 2,1 juta ton, selanjutnya tahun 2004 naik lagi menjadi 2,3 juta ton per tahun. Di tahun 2010 2,4 juta ton, dan pada tahun 2011 dan meningkat menjadi 2,6 juta ton. Akibat dari peningkatan penggunaan plastik ini adalah bertambah pula sampah plastik. Sampah plastik akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat saluran drainase, selokan dan sungai sehingga bisa menyebabkan banjir. Sampah plastik yang dibakar bisa mengeluarkan zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

Ada banyak upaya dalam mengurangi sampah plastik diantaranya dengan melakukan 3R (*reuse, reduce, recycle*). Upaya *reuse* diantaranya dengan menggunakan kembali kantong plastik untuk berbelanja, memanfaatkan tempat cat plastik untuk pot atau ember dan sebagainya. Upaya *reduce* dengan cara mengurangi penggunaan plastik. Upaya *recycle* atau daur ulang. Dengan menambah potongan plastik pada lempung selain dapat mengurangi limbah plastik yang terus bertambah berarti melakukan upaya *reduce*, juga bermanfaat untuk stabilisasi tanah di daerah tanah berlempung yang mempunyai nilai

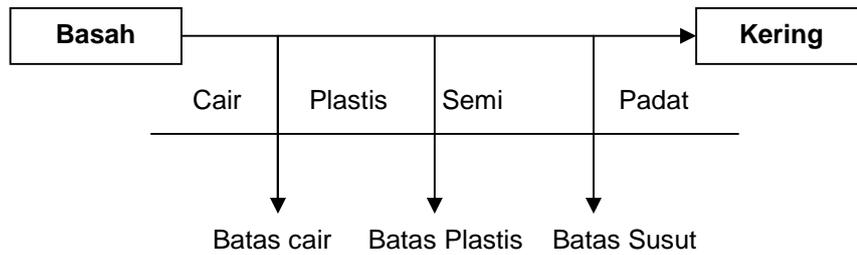
kembang susut tinggi dengan mempertimbangkan parameter uji tekan bebas di laboratorium, sehingga lahan tersebut dapat digunakan untuk pembangunan fasilitas yang dibutuhkan manusia.

Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (Hardiyatmo, 2012: 1). Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis. Apabila air dikumpulkan, butir-butir mengendap rapat tanpa ada sekecil pun ruang kosong yang tersisa. Hal ini membuat para ilmuwan berupaya untuk menerangkan hubungan massa-volume, meskipun kenyataannya tanah secara alamiah tidak seperti itu. Butiran tanah, air, dan udara terpisah maka akan terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Fase Tanah (Hardiyatmo, 2012: 3)

Wesley (1977: 10) berpendapat, apabila suatu tanah berbutir halus (lempung atau lanau) yang telah dicampur air sehingga mencapai keadaan cair. Jika campuran ini kemudian menjadi kering, maka tanah ini akan melalui keadaan tertentu dari keadaan cair sampai padat. Keadaan-keadaan ini, dengan istilah-istilah yang dipakai untuk memberi pembatas antaranya dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Batas-batas Atterberg (Wesley, 1977: 10)

Angka atau nilai yang ada dalam batas Atterberg adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Pengukuran ini dilakukan untuk sebagian besar penyelidikan-penyelidikan yang meliputi tanah berbutir halus. Karena batas-batas ini bukan merupakan sifat-sifat fisis yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Penentuan batas-batas Atterberg dilakukan hanya pada tanah yang lolos saringan no. 40. Batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948). Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 3. Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh tanah dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembarut (*grooving tool*) dikerukkan tepat ditengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasan jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah. Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian hubungkanlah kadar air dan jumlah pukulan yang digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan. Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak ketika digulung-gulung (Hardiyatmo, 2012: 50).

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, Indeks Plastisitas menunjukkan sifat keplastisitan tanah. Jika tanah mempunyai nilai *PI* tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika nilai *PI* rendah, mengandung sedikit lanau, pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering (Hardiyatmo, 2012: 52). Klasifikasi jenis tanah menurut Atterberg berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dan harga-harga batas cair beberapa mineral lempung berdasarkan nilai batas cair dan batas plastis, dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 1. Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas

PI	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non plastis	Non kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak kohesif
7 – 17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

Sumber: Hardiyatmo (2012: 52)

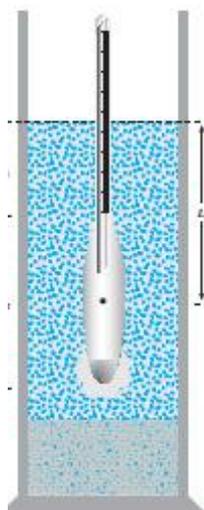
Tabel 2. Harga-harga Batas Cair dan Plastis untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis
<i>Kaolinite</i>	35 – 100	20 – 40
<i>Illite</i>	60 – 120	35 – 60

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis
<i>Montmorillonite</i>	100 – 900	50 – 100
<i>Halloysite</i> (terhidrasi)	50 – 70	40 – 60
<i>Holloysite</i> (tidak terhidrasi)	40– 55	30 – 45
<i>Attapulgite</i>	150 – 250	100 – 125
<i>Allophane</i>	200 – 250	120 – 150

Sumber: Braja M. Das, (2010: 80)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi pada, yaitu persentase kadar air dimana pengaruh kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah (Hardiyatmo, 2012: 50-51). Dengan hilangnya air terus menerus akan mencapai suatu tingkat keseimbangan, dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume tanah. Proses penyaringan tidak dapat digunakan untuk tanah berbutir halus seperti lanau dan lempung karena ukuran partikelnya sangat kecil berupa koloid (*colloid*). Metode analisis di laboratorium yang biasa digunakan untuk menentukan distribusi ukuran tanah berbutir halus adalah pengujian hidrometer (Gambar 3). Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip-prinsip pengendapan butiran tanah di dalam air. Bila contoh tanah terdipersi di dalam air, partikel-partikel mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda bergantung pada ukuran, berat, dan bentuk serta kekentalan (*viscosity*) air. Partikel-partikel yang lebih besar akan mengendap lebih cepat diikuti dengan partikel-partikel yang lebih kecil (Muntohar, 2007).



Gambar 3. Skema Analisis Hidrometer (Braja, 2010: 40)

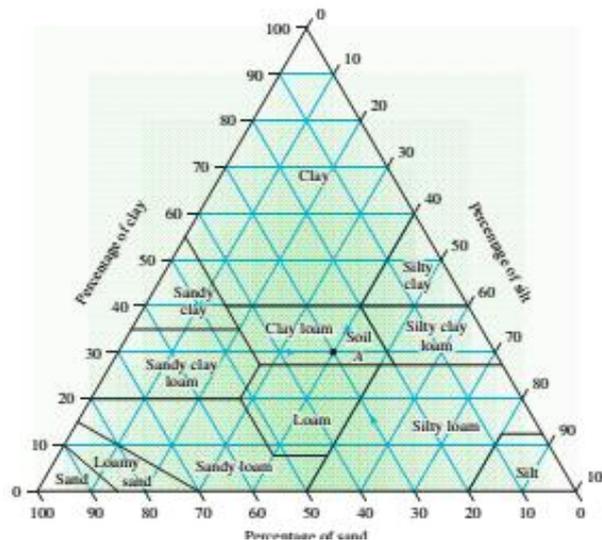
Banyak hal teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendung dalam urugan dan lain-lainnya), pemilihan tanah-tanah dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengaruh melalui 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 (Hardiyatmo, 2012: 58).

Kebiasaan 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 (*hydrometer*) serta uji plastisitas. Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway and Transportation*

Pengaruh Bahan Tambah ... (Muhammad/ hal. 197 - 213)

Officials Classification (AASHTO). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir, batas cair dan indeks plastisitas. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2012: 59).

Klasifikasi tanah atas dasar karakteristik ukuran butiran digunakan secara luas terutama untuk uraian pendahuluan atau umum. Penentuan nama tanah misalnya “lanau” atau “lempung” membedakan fraksi-fraksi ukuran butiran merupakan hal yang biasa dilakukan sehubungan dengan klasifikasi semacam itu. Dalam banyak hal, catatan-catatan yang menyangkut tanah dan perilakunya mengandung tidak lebih daripada hasil-hasil analisis mekanik untuk fraksi berbutir kasar dan persentase total yang lolos ayakan nomor 200. (Terzaghi & Ralph, 1993: 29). Rose (1924) menyatakan bahwa penentuan tanah dengan nama unsur penyusun utamanya dimungkinkan dengan menggambar diagram yang dipakai Biro Jalan Umum (*Bureau of Public Road*). Dalam diagram ini masing-masing dari ketiga sumbu koordinat menyatakan salah satu dari fraksi-fraksi ukuran butir yang diaktan sebagai pasir, lanau dan lempung.



Gambar 4. Diagram Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Butir
(Sumber: Braja, 2010: 96)

Klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) pada awalnya diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok. Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah USCS adalah sebagai berikut: (1) Ditentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara disaring dengan saringan nomor 200; (2) Jika tanah berupa butiran kasar: (a) Tanah tersebut disaring dan digambar grafik distribusi butiran; (b) Ditentukan persen butiran lolos saringan no. 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50%, diklasifikasikan sebagai pasir; (c) Ditentukan jumlah butiran yang lolos saringan no. 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, dipertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika tanah termasuk bergradasi baik, maka diklasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, diklasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya); (d) Jika persentase butiran yang lolos saringan no. 200 lebih besar dari 12%, harus dilakukan uji batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian dengan

menggunakan diagram plastisitas ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC); (3) Jika tanah berbutir halus: (a) Dikerjakan batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tertahan saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50, diklasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah); (b) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas dibawah garis A, ditentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh diatas garis A, diklasifikasikan sebagai CH; (c) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, ditentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan Batas Plastisnya dengan dikeringkan di dalam oven; (d) Jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel.

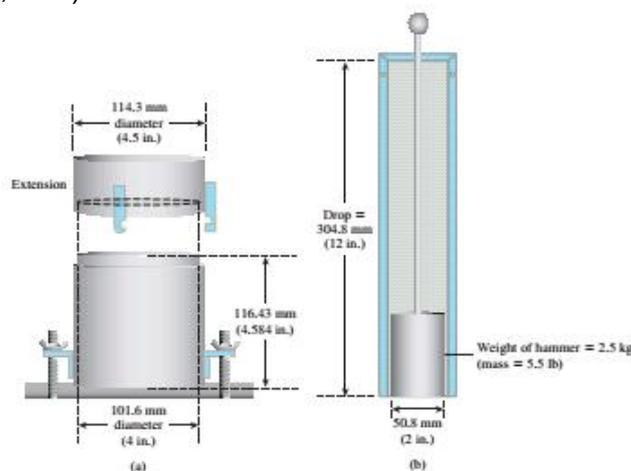
Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan timbunan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). (Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut (Hardiyatmo, 2012; 63). Sistem ini membagi tanah ke dalam delapan kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas *Atterberg*. Hardiyatmo (2012: 63) mengatakan indeks kelompok (*Group Indeks*) (*GI*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya.

Bila indeks kelompok (*GI*) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 merupakan tanah *granuler*. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik, tanah A-2 merupakan tanah granuler yang memiliki partikel yang lolos saringan No. 200 kurang dari 35%, tapi masih mengandung lanau lempung, sedangkan A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah yang lolos saringan No. 200 lebih dari 35% diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Tanah-tanah dalam kelompok ini biasanya merupakan jenis tanah lanau dan lempung, bedanya didasarkan pada batas-batas *Atterberg*.

Pemadatan termasuk stabilisasi tanah secara mekanis. Setelah dipadatkan, susunan partikel-partikel tanah menjadi lebih padat, sehingga mempunyai sifat-sifat teknis yang lebih baik dari sebelumnya. Dalam pembangunan proyek-proyek jalan raya, gedung dan bendungan, pemadatan adalah salah satu pekerjaan yang penting. Dengan pemadatan tanah yang baik, pengurangan volume akibat beban luar yang bekerja berulang-ulang dapat dikurangi. Tujuan pemadatan 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-lain. Kepadatan tanah berpengaruh pada kuat geser atau kapasitas dukung tanah. Pada kepadatan tanah tertentu, kapasitas dukung ditentukan oleh kadar airnya, bila kadar air semakin tinggi, maka kapasitas dukung tanah semakin rendah. Bila tanah semakin padat, maka akan semakin kuat atau berkapasitas dukung tinggi. Jadi, kepadatan sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah, terutama yang menyangkut sifat kapasitas dukung dan perubahan volume (penurunan). Pengaruh tekanan rendah, tanah berperilaku elastis, sehingga regangan akibat beban dapat hilang, ketika bebannya hilang. Pada tekanan yang lebih tinggi, tanah akan memadat, sehingga menambah kekuatan tanah yang diikuti dengan timbulnya regangan permanen. Jika tekanan ditambah lebih besar lagi, maka tanah akan memadat sampai pada kedudukan tidak ada lagi kenaikan kekuatan yang dapat dimobilisasi, dan pada kondisi ini tanah akan bergeser pada volume konstan dan permukaan tanah akan nampak bergelombang.

Hardiyatmo (2012: 187) berpendapat bahwa kepadatan tanah, secara kuantitatif diukur dari berat volume kering tanah (ρ_d), yaitu berat butiran padat atau berat tanah kering oven dibagi dengan volume tanah secara keseluruhan (yaitu volume tanah yang tidak mudah mengalami kembang-susut, perubahan kadar air tidak mempengaruhi kepadatan tanah. Sepanjang berat butiran tanah kering (W_s) dan volume V tidak berubah, maka ρ_d tidak berubah, walaupun kadar airnya berubah. Jika tanah dilapangan yang dipadatkan mengalami penamabahan kadar air akibat hujan, maka kepadatan tanah tidak berubah. Kenaikan kadar air akibat hujan hanya berpengaruh pada kapasitas dukung tanah. Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume kering, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji kepadatan di laboratorium. Hubungan berat volume kering dan kadar air tersebut diperoleh dari uji pemadatan standar. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut Uji Proctor (Hardiyatmo, 2012: 188). Pinsip uji pemadatan standar adalah sebagai berikut: (1) Cetakan silinder 102 mm (4 inc) kapasitas $0,000943 \pm 0,000008 \text{ m}^3$ ($0,0333 \pm 0,003 \text{ cu ft}$) dengan diameter dalam $102,6 \pm 0,406 \text{ mm}$ ($4,00 \text{ inchi} \pm 0,016 \text{ inchi}$), tinggi $116,43 \pm 0,127 \text{ mm}$ ($4,584 \text{ inchi} \pm 0,005 \text{ inchi}$); (2) Alat penumbuk tangan dari logam dengan permukaan rata diameter $50,8 \text{ mm} \pm 0,127 \text{ mm}$ ($2,00 \text{ inchi} \pm 0,005 \text{ inchi}$) berat $2,495 \pm 0,009 \text{ kg}$ ($5,5 \pm 0,02 \text{ lb}$) dilengkapi dengan selubung yang dapat mengatur tinggi jatuh secara bebas setinggi $304,8 \text{ mm} \pm 1,524 \text{ mm}$ ($12,00 \text{ inchi} \pm 0,06 \text{ inchi}$). Dapat juga dipakai alat tumbuk mekanis dari logam yang dilengkapi alat kontrol dengan tinggi jatuh bebas $304,8 \text{ mm} \pm 1,524 \text{ mm}$ ($12,00 \text{ inchi} \pm 0,06 \text{ inchi}$) dan dapat membagi tumbukan merata diatas permukaan. Alat penumbuk mempunyai permukaan tumbuk yang rata berdiameter $50,8 \pm 0,127 \text{ mm}$ ($2,00 \text{ inchi} \pm 0,05 \text{ inchi}$) dengan berat $2,495 \text{ kg} \pm 0,009 \text{ kg}$ ($5,5 \pm 0,02 \text{ lb}$).



Gambar 5. Alat Uji Pemadatan Standar
(Sumber: Braja, 2010: 116)

Pada uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit empat kali dengan kadar air tiap-tiap percobaan divariasikan. Kemudian digambar sebuah grafik hubungan antara kadar air dan berat volume kering. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimumnya. Mineral lempung berasal dari pelapukan akibat reaksi kimiawi yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh

gaya permukaan (Hardiyatmo, 2012: 24). Lempung bersifat plastis dalam keadaan air sedang sampai tinggi, dalam keadaan kering sangat keras dan tidak mudah terkelupas. Permeabilitas lempung sangat rendah, pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung bersifat lengket (Terzaghi dan Ralph, 1993: 5). Lempung organik adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi dalam keadaan kering kekeatannya (*strength*) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, disamping itu mungkin berbau mencolok.

Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air (*absorbed water*), mempunyai tebal dua molekul (*diffuse layer*). Air dan atau logam tertarik lapisan ini dengan kuat. Difusi kation dan mineral lempung meluas keluar dari permukaan lempung sampai ke lapisan air. Pengaruh ini menyebabkan daya netto (+) di dekat partikel mineral dan daya (-) pada jarak yang lebih jauh. Difusi kation ini merupakan fenomena bersamaan dengan difusi pertemuan di antara muka air bebas dan atmosfer dimana material yang mengalami difusi tersebut adalah molekul air. Air tertarik dengan kuat sehingga lebih bersifat sebagai benda padat daripada benda cair. Kerapatan air (ρ_w) = 1,4 gr/cm³. Mineral lempung mempunyai daya tarik yang cukup terhadap ion-ion H⁺ sehingga lapisan air setinggi 400 Å akan dapat menutupi. Hal ini menunjukkan perbedaan antara kaolinite dengan montmorillonite dalam kadar air lapangan dan batas cair yang memungkinkan

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah nonkohesif (granuler). Tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah. Distribusi ukuran butir tanah umumnya bukan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah berbutir halus. Identifikasi tanah jenis ini dilakukan dengan pengujian batas *Atterberg*. Ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangkan muatannya.

Polipropena adalah sebuah polimer termo-plastik yang dibuat oleh industri kimia, biasanya didaur ulang. Ada banyak penerapan penggunaan akhir untuk *PP* karena dalam proses pembuatannya bisa di-*tailor grade* dengan aditif serta sifat molekul spesifik. Kebanyakan *Polipropena* komersil merupakan isotaktik dan memiliki kristalinitas tingkat menengah diantara *Polietilen (PE)* dan modulus youngnya juga rendah. *Polipropena* memiliki permukaan yang tak rata seringkali lebih kaku daripada beberapa plastik lain dan bisa dibuat *translusen* (bening). Biasanya dapat pula dibuat buram dan warna-warni dengan menambahkan pigmen, *Polipropena* memiliki resistensi yang sangat bagus terhadap kelelahan. *Polipropena* memiliki titik lebur 160°C (320°F), sebagaimana yang ditentukan *Differential Scanning Colorimetry (DSC)*.

Polypropylene pertamakali dipolimerisasikan oleh Hoechst, Jerman, yang tidak menyadari penemuan itu. Kemudian ditemukan kembali pada 11 Maret 1954 oleh Giulio, *Polypropylene* pada awalnya diyakini lebih muran dari *Polietilen (PE)* lainnya. Kebanyakan barang dan plastik untuk keperluan medis atau laboratorium biasanya dibuat dari *Polypropylene* karena mampu menahan panas dari *autoklaf*. *Polypropylene* merupakan polimer utama dalam barang-barang tak tertenu, misalnya produk dalam sanitasi. *Polypropylene* sangat umum digunakan untuk pencetakan plastik dimana ia disuntikkan ke dalam cetakan dalam keadaan meleleh, membentuk berbagai bentuk yang kompleks pada volume yang tinggi dan biaya yang relatif rendah. Hasilnya bisa berupa tutup botol, botol, gelas plastik dan lain sebagainya. *Polypropylene* yang diproduksi dalam lembaran telah digunakan secara meluas untuk produksi *stationary folder*, *pengemasan dan kotak penyimpanan*.

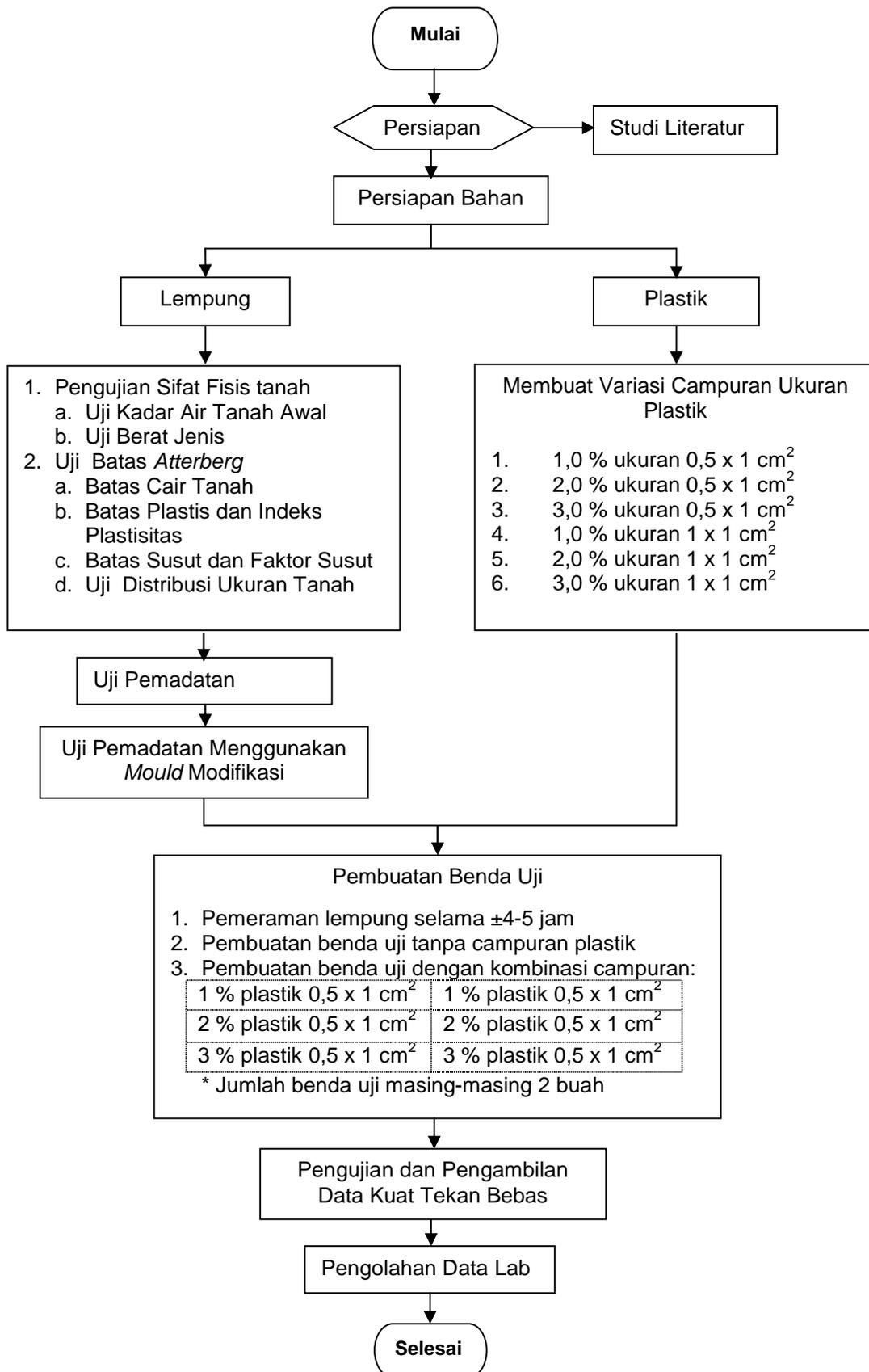
Hardiyatmo (2010:1) berpendapat stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula, stabilitas tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti: kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti pencampuran tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*) dan lain-lain (Hardiyatmo, 2010: 1). Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk menambah kapasitas dukung tanah dan kenaikan kekuatan yang akan diperhitungkan pada proses perancangan tebal perkerasan. Karena itu, stabilisasi tanah membutuhkan metode perancangan dan pelaksanaan yang lebih teliti dibandingkan dengan modifikasi tanah. Beberapa cara stabilisasi tanah, misalnya: pemadatan, pencampuran tanah dengan bahan granuler, menggunakan tulangan atau perkuatan (seperti geosintetik), penggalian dan penggantian tanah, serta memproses tanah secara kimiawi.

Stabilisasi mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau tempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain (Hardiyatmo, 2010: 3). Stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah: (1) Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang terganggu, dan pemadatan; (2) Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan menambah atau menyingkirkan umumnya lebih rendah dari metode stabilisasi yang lain. Contohnya, lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk memenuhi daya dukung tanah dasar.

Bahan tambah (*additives*) 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 dikerjakan (*workability*) dan plastisitasitas. Contoh-contoh bahan tambah adalah kapur, semen Portland, abu terbang (*fly-ash*), aspal (*bitumen*) dan lain-lain. Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah atau sering disebut stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk mengubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudahan dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan tambah sedikit. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk mengubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu melakukan penelitian dengan melakukan percobaan terhadap benda yang diteliti secara langsung. Tujuan dari metode eksperimen yaitu untuk menyelidiki sebab akibat dan pengaruh obyek penelitian satu sama lain untuk kemudian dibandingkan hasil dari penelitian ini. Pada penelitian ini tanah lempung yang digunakan berasal dari Jalan Kasongan, Bangunjiwo, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan untuk bahan campurannya menggunakan jenis plastik *Polypropylene* dengan logo daur ulang angka lima untuk gelas plastik dengan ketebalan 0,15 mm dan massa jenisnya $1,56 \text{ gram/cm}^3$.



Gambar 6. Flow Chart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kadar air adalah perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dan berat kering tanah. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kadar air awal tanah di lapangan sebelum dilakukan pengujian selanjutnya. Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir-butir dengan berat air destilasi udara (H_2O) dengan volume yang sama pada temperatur tertentu.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Air

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 (gram)	10,24	9,55
Berat cawan + tanah basah	W_2 (gram)	33,9	27,97
Berat cawan + tanah kering	W_3 (gram)	28,57	23,43
Berat air (W_w)	$A = W_2 - W_3$ (gram)	5,22	4,54
Berat tanah kering (W_s)	$B = W_3 - W_1$ (gram)	18,33	13,88
Kadar air	(%)	28,47	32,70
Kadar air (w)		30,58 %	

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah

Piknometer No.		1 (Besar)	2 (Kecil)
Berat piknometer kosong	W_1 (gram)	38,28	28,54
Berat piknometer kosong + tanah kering	W_2 (gram)	48,18	38,97
Berat piknometer kosong + tanah + air	W_3 (gram)	144,26	84,52
Berat piknometer kosong + air	W_4 (gram)	138,05	78,87
Temperatur ($t^\circ C$)		27	26,5
$A = W_2 - W_1$ (gram)		9,9	10,43
$B = W_3 - W_4$ (gram)		6,21	5,65
$C = A - B$ (gram)		3,69	4,78
Berat jenis $G_s = A/C$		2,69	2,19
Berat jenis tanah (G_s)		2,44	2,45
G_s untuk $27,5^\circ C$		2,45	2,45
G_s untuk $27,5^\circ C$		2,45	

Tabel 5. Hasil Pengujian Batas Cair Tanah

Percobaan No.		I	II	III	IV
Jumlah pukulan		34	24	21	16
No. cawan timbang		1	2	3	4
Berat cawan kosong	W_1 gram	13,95	11,37	9,48	17,93
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	31,86	25,01	23,25	33,46
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	26,23	20,81	19,03	28,82
Berat air	$A = W_2 - W_3$ gram	5,63	4,20	4,22	4,64
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$ gram	12,28	9,44	9,55	10,89
Kadar air	(%)	45,84	44,50	44,18	42,72
Batas cair	%	43,43	43,57	43,97	44,33
Batas cair (LL) (cara rumus)	%	43,82			

Tanah berada dalam keadaan plastis apabila tanah yang digilin-giling menjadi batang-batang yang berdiameter ± 3 mm, mulai mengalami retak-retak atau dalam keadaan plastis. *Indeks Plastisitas (PI)* suatu tanah adalah bilangan persentase yang merupakan selisih antara batas cair (LL) dan batas plastisnya (PL). Suatu tanah akan mengalami penyusutan bila kadar air secara perlahan-lahan hilang dari dalam tanah. Dengan hilangnya air terus menerus akan mencapai suatu tingkat keseimbangan, dimana penambahan

Pengaruh Bahan Tambah ... (Muhammad/ hal. 197 - 213)

kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume tanah. Berikut ini data-data dan hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian batas batas susut dan faktor susut.

Tabel 6. Hasil Pengujian Batas Plastis

No. Cawan timbang		1	2	3	4
Berat cawan kosong	W_1 gram	11,47	9,46	9,91	9,97
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	12,64	11,14	12,25	10,92
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	12,39	9,81	10,97	10,71
Berat air	$A = W_2 - W_3$ gram	0,25	0,35	0,28	0,27
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$ gram	0,92	1,33	1,06	0,68
Kadar air	(%)	27,17	26,31	26,41	28,77
Batas plastis (PL) = 27,17 %					

Tujuan dari percobaan ini untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir yang mengandung butiran tertahan saringan no 10 (tidak ada butiran yang lebih besar dari 2 mm). pemeriksaan dilakukan sengan analisa hidrometer, sedangkan butiran-butiran yang tertahan saringan no. 200 (0,075 mm) dilakukan dengan menggunakan saringan no. 10, no. 20, no. 40, no. 60, no. 140 dan no. 200.

Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pengujian Distribusi Ukuran Butir

No. cawan timbang		I	II
Berat cawan kosong	W_a gram	11,12	9,75
Berat cawan + tanah basah	W_b gram	23,51	15,95
Berat cawan + tanah kering	W_c gram	22,31	15,47
Kadar air	%	9,84	8,39
Kadar air (w)		9,11 %	

Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Tanah Pengujian Distribusi Ukuran Butir

Berat total contoh tanah basah yang akan diperiksa	$B_0 = 90$ gram
Kadar air contoh tanah	$w = 9,11$ %
Berat total contoh tanah kering oven yang diperiksa	82,49 gram
Berat total contoh tanah kering oven yang berdiameter > 0,075 mm	$B_1 = W - B_2$ $= 82,49 - 55,48 = 27,01$ gram
Berat tanah berdiameter < 0,075 mm	$B_2 = 55,48$ gram

Pada uji pemadatan standar ini tanah dipadatkan dalam suatu *mould* dengan diameter 116,17 mm dan volume 972,66 cm³. cetakan di klem pada sebuah plat dasar dan di atasnya diberi perpanjangan. Untuk memperoleh kadar air optimum, dilakukan lima kali percobaan pemadatan dengan kadar air 10%, 18%, 22%, 30% dan 35%. Setiap pemadatan dilakukan dengan menggunakan penumbuk khusus. Berat penumbuk adalah 4,241 kg dan tinggi jatuh 300 mm. pemadatan dilakukan dalam tiga lapisan yang sama dan setiap lapisan dilakukan 25 kali pukulan. Pada uji pemadatan ini tanah yang diuji adalah tanah yang lolos saringan No 4.

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Tanah Awal Pengujian Pemadatan Standar

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	15,09	11,11
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	24,31	20,06
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	23,66	19,18
Berat air	$A = W_2 - W_3$ gram	0,62	0,88

No. Cawan timbang		1	2
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$ gram	8,57	8,07
Kadar air	(%)	7,58	10,90
Kadar air (w_o)		9,24 %	

Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Kebutuhan Tambahan Air untuk Setiap Percobaan Pemadatan Standar

No. Percobaan		1	2	3	4	5
Berat tanah yang dibutuhkan	W_b (gram)	2500	2500	2500	2500	2500
Kadar air yang akan dicapai	w (%)	10	18	20	30	35
Jumlah air yang dibutuhkan		18 ml	200 ml	247 ml	475 ml	590 ml

Tabel 11. Data Ukuran Silinder dan Jumlah Pukulan pada Pengujian Pemadatan Standar

Diameter	10,325 cm
Tinggi	11,617 cm
Volume (V)	927,666 cm ³
Berat penumbuk	4,241 kg
Jumlah lapisan	3
Jumlah tumbukan	25 kali

Tabel 12. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai ρ_b Pemadatan Standar

Percobaan No		1	2	3	4
Berat silinder + tanah padat	gram	4863,5	4958	5171	4828,5
Berat silinder	gram	3342	3342	3342	3342
Berat tanah padat (A)	gram	1521,5	1616	1829	1486,5
Berat volume basah	gr/cm ³	1,562	1,661	1,880	1,528

Tabel 13. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai ρ_d Pemadatan Standar

No cawan timbang		1	2	1	2	1	2	1	2
Berat cawan kosong	W_1 (gram)	9,63	9,86	9,28	11,02	14,66	13,84	17,86	14,48
Berat cawan + tanah basah	W_2 (gram)	25,92	27,04	30,49	30,95	40,18	40,19	57,06	52,12
Berat cawan + tanah kering	W_3 (gram)	23,44	24,78	27,57	27,57	34,44	34,04	46,94	42,14
Berat air	$A = W_2 - W_3$	2,48	2,26	3,38	3,38	5,57	6,15	10,12	9,98
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$	18,81	14,81	16,55	16,55	19,78	20,18	29,08	27,28
Kadar air	%	17,95	15,25	20,42	20,42	29,01	30,47	34,8	36,58
Kadar air	(w) %	16,60	22,15			29,74		35,69	
Berat volume kering		1,346	1,359			1,449		1,260	

Pemadatan dengan *mould* modifikasi adalah usaha untuk memadatkan contoh tanah yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat-alat pemadatan modifikasi untuk mencari jumlah tumbukan agar sesuai dengan percobaan pemadatan standar dengan memeriksa nilai ρ_b pada tiap percobaan dan menggunakan kadar air optimum yang diperoleh dengan pemadatan standar. Pemadatan modifikasi,

Pengaruh Bahan Tambah ... (Muhammad/ hal. 197 - 213)

menggunakan jenis penumbuk, ukuran silinder pemadatan, jumlah tumbukan, berbeda dengan pemadatan cetakan standar. Pemadatan cetakan modifikasi menggunakan jenis tanah yang sama dengan pemadatan standar.

Tabel 14. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pengujian Pemadatan dengan *Mould* Modifikasi

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	W_1 gram	14,30	13,16
Berat cawan + tanah basah	W_2 gram	21,44	22,51
Berat cawan + tanah kering	W_3 gram	20,97	22,02
Berat air	$A = W_2 - W_3$ gram	0,47	0,49
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1$ gram	6,67	8,86
Kadar air	(%)	7,046	5,53
Kadar air rata-rata (w_o)		6,30 %	

Tabel 15. Hasil Pemeriksaan Kebutuhan Air Pengujian Pemadatan dengan *Mould* Modifikasi

No. Percobaan		1	2	3	4
Jumlah tumbukan		10	20	30	40
Berat tanah yang dibutuhkan	W_b (gram)	1500	1500	1500	1500
Kadar air optimum	w_{opt} (%)	29	29	29	29
Jumlah air yang dibutuhkan		320 ml	320 ml	320 ml	320 ml

Tabel 16. Data ukuran silinder dan jumlah pukulan pada pengujian pemadatan dengan *Mould* Modifikasi

Diameter	55,75 mm
Tinggi	92,35 mm
Volume (V)	225,432 mm ³
Berat penumbuk	733,3 gram
Jumlah lapisan	3

Tabel 17. Data Hasil Percobaan dan Hitungan Nilai w_b *Mould* Modifikasi

Percobaan No		1	2	3	4
Jumlah tumbukan		10	20	30	40
Berat silinder	gram	267,5	267,5	267,5	267,5
Berat silinder+ tanah padat	gram	600	633	668	693
Berat tanah padat (A)	gram	332,5	365,5	400,5	425,5
Berat volume basah	gr/cm ³	1,48	1,62	1,78	1,88

Tabel 18. Data Hasil Percobaan dan Hitungan pada Pengujian Pemadatan

Percobaan Pemadatan <i>Mould</i> Modifikasi					
Percobaan No		1	2	3	4
Jumlah tumbukan		10	20	30	40
Berat volume basah (w_b)	gr/cm ³	1,48	1,62	1,78	1,88
Percobaan Pemadatan Standar					
Percobaan No		1	2	2	3
Kadar air (w)	%	16,60	22,15	29,74	35,69
Berat volume basah (w_b)	gr/cm ³	1,562	1,661	1,880*	1,528

* nilai w_b pada pemadatan *mould* modifikasi sama dengan pemadatan standar

Kekuatan tekan bebas adalah besarnya tekanan bebas aksial per-satuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%, untuk tanah yang tidak mau retak. Uji tekan bebas ini menggunakan lempung dengan bahan tambah plastik gelas air mineral (PP) tebal 0,15 mm dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm, ukuran ini dimaksudkan agar pada saat percampuran akan lebih muda dan homogen serta tidak merusak benda uji. Plastik tersebut terdiri dari berbagai persentase yaitu 1%, 2% dan 3%, hal ini dimaksudkan untuk mencari kombinasi manakah yang akan membuat tanah lebih stabil. Berikut ini data-data dan hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian tekan bebas.

Tabel 19. Data Hasil Pemeriksaan Kadar Air Awal Uji tekan Bebas

No. Cawan timbang		1	2
Berat cawan kosong	$W_1(\text{gram})$	11,34	9,07
Berat cawan + tanah basah	$W_2(\text{gram})$	48,39	40,33
Berat cawan + tanah kering	$W_3(\text{gram})$	45,95	39,10
Berat air	$A = W_2 - W_3(\text{gram})$	2,44	1,23
Berat tanah kering	$B = W_3 - W_1(\text{gram})$	34,61	30,03
Kadar air	(%)	7,04	4,09
Kadar air (w)		5,57 %	

Tabel 20. Data Benda Uji Tekan Bebas

Diameter benda uji (D)	5,575 cm
Tinggi benda uji (Lo)	9,235 cm
Luas benda uji (Ao)	24,398 cm ²
Volume (V)	225,432 cm ³
Berat silinder	303 gram
Berat penumbuk	734,5 gram
Jumlah lapisan	3
Jumlah pukulan	40
Kadar air optimum	28%
Lama pemeraman	±4-5 jam
Angka kalibrasi ()	0,626 kg/div

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap kuat tekan bebas tanah lempung Kasongan dengan ukuran plastik 0,5 cm x 1 cm dan 1 cm x 1 cm pada persentase 0%, 1%, 2% dan 3% maka dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Sistem klasifikasi AASTHO tanah Kasongan diklasifikasikan A-7-6(11) yaitu tanah berlempung sedang sampai buruk; (2) Untuk plastik dengan ukuran 0,5 cm x 1 cm nilai q_u pada persentase 0% sebesar 0,65345 kg/cm², 1% sebesar 0,77354 kg/cm², untuk 2% sebesar 0,77660 kg/cm² dan 3% sebesar 0,91286 kg/cm². persentase 0% sebesar 57,5°, 1% sebesar 85°, 2% sebesar 80° dan 3%. sebesar 68°. Nilai c persentase 0% sebesar 0,09552 kg/cm², 1% sebesar 0,10447 kg/cm², 2% sebesar 0,10604 kg/cm² dan 3% sebesar 0,07489 kg/cm²; (3) Untuk plastik dengan ukuran 1 cm x 1 cm nilai q_u pada persentase 0% sebesar 0,65345 kg/cm², 1% sebesar 0,92878 kg/cm², 2% sebesar 0,65672 kg/cm² dan 3% sebesar 0,59068 kg/cm². Nilai persentase 0% sebesar 57,5°, 1% sebesar 60°, 2% sebesar 60° dan 3%. sebesar 80°. Nilai c persentase 0% sebesar 0,09552 kg/cm², 1% sebesar 0,04283 kg/cm², 2% sebesar 0,02873 kg/cm² dan 3% sebesar 0,05887 kg/cm²; (4) Dengan penambahan plastik pada lempung terjadi peningkatan kekuatan tekan bebas, tetapi untuk kedua macam ukuran mempunyai sifat yang berbeda, pada ukuran plastik 0,5 cm x 1 cm, nilai q_u meningkat

Pengaruh Bahan Tambah ... (Muhammad/ hal. 197 - 213)

dengan bertambahnya persentase plastik, sementara untuk ukuran 1 cm x 1 cm nilai q_u meningkat pada persentase 1% dan menurun pada persentase 2% dan 3%.; (5) Nilai kuat tekan bebas tertinggi yaitu pada campuran plastik 1% pada ukuran 1 cm x 1cm.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Braja, M. Das. (2010). *Principle of Geotechnical Engineering, 7th ed (E-Book)*. Stamford: Cengage Learning.
- [2] Hary Christady. (2010). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] Hary Christady. (2012). *Mekanika Tanah I. edisi. ke-6*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [4] Muntohar, A.S. (2007). *Pengantar Rekayasa Geoteknik*. Diakses dari ejournal.narotama.ac.id. Pada 31 Januari 2015, Jam 17.39 WIB.
- [5] Terzaghi, Karl dan Peck, Ralph B. (1993). *Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd ed. (Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa. edisi. ke-2)*. Penerjemah: Bagus Witjaksono dan Benny Krisna R. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] Wesley, L.D. (1977). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- [7] Wikipedia Indonesia. (2014). *Polypropylene*. Diakses dari id.m.wikipedia.org/wiki/Polipropilena. Pada 2 Maret 2015, jam 15.25 WIB.