

STUDI KONVERSI ENERGI PEMADATAN TANAH DENGAN *MODIFIED PROCTOR METHOD* UNTUK TANAH PASIR BERLEMPUNG

Siti Zahhara Ulfa¹⁾
Idharmahadi Adha²⁾
Setyanto³⁾

Abstract

Related to increased of society economics and the growth rate of vehicles, this needs to be balanced with facilities of transportation. So, a new road or repair existing road is needed. The physical and mechanical conditions of soil are closely related to the construction. It caused the soil has a very crucial role in supporting the construction. To obtain good quality pile of soil, soil compaction is required to stabilize against both structural or non-structural loads. In this study comparing the modified proctor method soil compaction energy with modified press compactor tools. The soil samples used is from Tirtayasa Region Sukabumi District Bandar Lampung, it consists of twelve samples used for modified press compactor tools tests, with pressure used are 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa, and 20 MPa. For every pressure conducted for 3 soil samples. Laboratory experiment result shows that the maximum volume weight (γ_{dmaks}) of 1,42 gr/cm³ amount on modified proctor method tests with the results on modified press compactor tools obtain pressure value of 7 MPa value and the pressure on sheep foot rifling machine of 6,9 N/mm².

Keywords : Modified Proctor, Modified Press Compactor Tools, Compaction, Soil Pile.

Abstrak

Sehubungan dengan peningkatan perekonomian masyarakat, laju pertumbuhan kendaraan pun kian meningkat. Hal ini perlu diimbangi dengan perkembangan sarana transportasi. Oleh karena itu, diperlukan pembangunan jalan baru maupun perbaikan jalan yang sudah ada. Kondisi fisik dan mekanis tanah sangat erat kaitannya dengan pembangunan suatu konstruksi. Hal ini disebabkan karena tanah merupakan suatu material yang mempunyai peran sangat krusial dalam menopang suatu konstruksi. Untuk mendapatkan tanah timbunan dengan kualitas yang baik, diperlukan pemadatan tanah agar stabil terhadap beban struktur maupun beban non struktur. Pada penelitian ini membandingkan energi pemadatan tanah metode *modified proctor* dengan alat tekan pemadat modifikasi. Sampel tanah yang digunakan berasal dari daerah Tirtayasa Kec. Sukabumi Bandar Lampung, terdiri dari duabelas sampel untuk pengujian alat tekan pemadat modifikasi, dengan tekanan yang digunakan adalah 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa dan 20 MPa menggunakan tiga sampel tanah pada masing-masing tekanan. Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa berat volume maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1,42 gr/cm³ pada pengujian metode *modified proctor* dengan hasil pada alat tekan pemadat modifikasi didapat nilai tekanan sebesar 7 MPa dan tekanan pada mesin penggilas kaki kambing sebesar 6,9 N/mm².

Kata Kunci : *Modified Proctor*, Alat Tekan Pemadat Modifikasi, Pemadatan, Tanah Timbunan.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: sitizahharaulfa@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. surel: idharmahadiadha@yahoo.com

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. Surel: setyanto@eng.unila.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pesatnya peningkatan perekonomian masyarakat kota Bandar Lampung yang diikuti dengan adanya pertambahan jumlah kendaraan harus diimbangi dengan perkembangan infrastruktur. Oleh karena itu, diperlukan jalan baru maupun perbaikan jalan yang sudah ada. Tanah pada suatu daerah tidak selalu memiliki kontur yang sama. Begitu pula dengan kota Bandar Lampung. Untuk itu, diperlukan timbunan atau galian agar mendapatkan ketinggian tanah yang direncanakan. Untuk mendapatkan tanah timbunan dengan kualitas yang baik maka dibutuhkan pemadatan tanah agar tanah stabil terhadap beban struktur maupun beban non struktur. Pada penelitian ini membandingkan pemadatan tanah *modified proctor* dilaboratorium dengan alat tekan pemadat modifikasi.

Batasan masalah pada penelitian ini dibatasi pada pelaksanaan pengujian di laboratorium meliputi uji karakteristik tanah, pemadatan tanah *modified proctor* dan alat tekan pemadat modifikasi.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanis tanah timbunan yang berasal dari Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung, mengetahui energi yang timbul dari pemadatan tanah *modified proctor* terhadap alat tekan pemadat modifikasi dan untuk mempersingkat waktu pelaksanaan pengujian pemadatan tanah *modified proctor* di laboratorium.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994).

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem penggolongan tanah berdasarkan sifat dan ciri tanah yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995). Sistem klasifikasi tanah pada umumnya digunakan, yaitu Sistem klasifikasi USCS dan Sistem klasifikasi AASHTO.

Tanah timbunan dibagi menjadi dua jenis, yaitu timbunan pilihan dan timbunan biasa (Bisa, 2014), yaitu :

1. Timbunan pilihan merupakan timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar suatu perencanaan.
2. Timbunan biasa merupakan timbunan atau urugan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud khusus lainnya. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk penggantian material *existing subgrade* yang tidak memenuhi syarat.

Kepadatan tanah yaitu proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Tingkat pemadatan diukur dari berat volume kering yang dipadatkan (Prihatono, 2011). Untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan pemadatan, maka umumnya dilakukan pengujian pemadatan. Menurut Hardiyatmo (2002), telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering yang padat. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

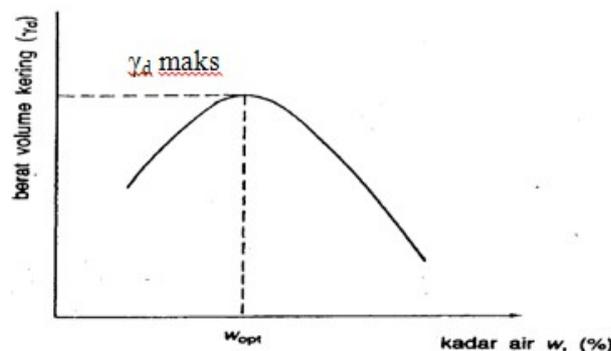
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)} \quad (1)$$

Alat uji pemadatan tanah *modified proctor* laboratorium berupa silinder (*mold*) yang mempunyai diameter 10,2 cm dan tinggi 11,6 cm. Tanah di dalam *mold* dipadatkan dengan dengan penumbuk yang beratnya 10 lb atau setara dengan 4,54 kg dengan tinggi jatuh 18 inchi atau setara dengan 45,72 cm. Tanah dipadatkan dalam 5 (lima) lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan.



Gambar 1. Alat Uji Pemadatan Tanah *Modified Proctor Method*.

Grafik hubungan kadar air dan berat volume kering maksimum, diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Volume Kering (Hardiyatmo, 2002).

Usaha pemadatan tanah Energi yang dibutuhkan untuk pemadatan pada pemadatan *modified proctor* (Hardiyatmo, 2002) dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{(N_b \times N_i \times W \times H)}{V} \quad (2)$$

Penelitian tentang model pendekatan alat uji kepadatan ringan untuk tanah di laboratorium, dilakukan oleh Muda (2016). Dengan menggunakan sampel tanah dari Palangka Raya. Berdasarkan pengujian sifat fisik tanah di dapatkan hasil pada tabel berikut :

Tabel 1. Sifat Fisik Tanah Palangka Raya

Tipe Pengujian	Satuan	Hasil		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Lolos Saringan No. 200	%	90,60	88,10	89,35
Batas Plastis	%	26,21	26,09	26,15
Kadar Air Awal	%	6,15	6,02	6,09
Berat Jenis		2,62	2,65	2,64

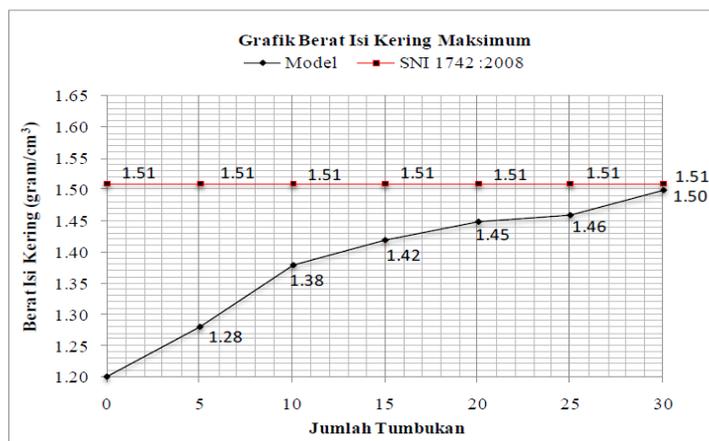
Sumber : (Muda, 2016)

Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah didasarkan alat uji kepadatan ringan untuk tanah di laboratorium berdasarkan SNI 1742:2008 dengan model pendekatan, pada Tabel 2 berikut ini :

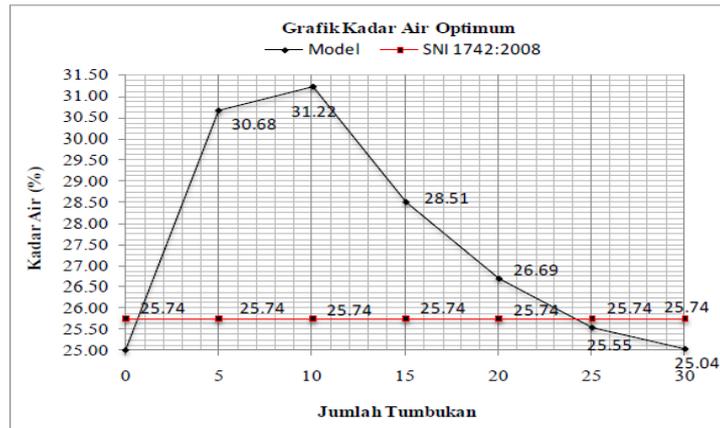
Tabel 2. Pengujian Kepadatan Alat Uji SNI 1742:2008 dan Model

Sampel (tumbukan /lapis)	Kepadatan Tanah				Tingkat Keyakinan (%)		Margin Error (%)		Batas Margin Error (%)	Rekomendasi
	Model Pendekatan		SNI 1742:2008		γ_{dmaks} (gr/cm ³)	Wopt (%)	γ_{dmaks} (gr/cm ³)	Wopt (%)		
	γ_{dmaks} (gr/cm ³)	Wopt (%)	γ_{dmaks} (gr/cm ³)	Wopt (%)						
5	1,28	30,68	1,51	25,74	84,77	119,19	15,23	-19,19	≥ 5%	Ditolak
10	1,38	31,22			91,39	121,29	8,61	-21,29	≥ 5%	Ditolak
15	1,42	28,51			94,04	110,76	5,96	-10,76	≥ 5%	Ditolak
20	1,45	26,69			96,03	103,69	3,97	-3,69	≤ 5%	Ditolak
25	1,46	25,55			96,69	99,26	3,31	0,74	≤ 5%	Ditolak
30	1,50	25,04			99,34	97,28	0,66	2,72	≤ 5%	Diterima

Sumber : (Muda, 2016)



Gambar 3. Grafik Berat Isi Kering Maksimum SNI 1742:2008 dan Model.



Gambar 4. Grafik Kadar Air Optimum SNI 1742:2008 dan Model.

Berdasarkan hasil pengujian kepadatan ringan SNI 1742:2008 seperti pada Tabel 2, bahwa tanah lempung Palangka Raya mempunyai berat isi kering maksimum (γ_{dmaks}) 1.51 gr/cm³ dan kadar air optimum (w_{opt}) 25,74%.

3. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Pengambilan Sampel



Gambar 5. Lokasi Pengambilan Sampel.

B. Alat Tekan Pematik Modifikasi

Alat tekan pematik modifikasi berfungsi untuk memadatkan tanah, alat ini dibuat dengan memodifikasi sebuah dongkrak yang memiliki kuat tekan yang tinggi. Dengan menggunakan sistem hidrolik secara manual menggunakan manometer untuk mengukur tekanan yang diberikan pada saat pengujian. Cetakan yang akan digunakan yaitu silinder (*mold*) dengan diameter 10,2 cm dan tinggi 11,6 cm. Cara kerja alat tekan pematik modifikasi dengan cara memompa dongkrak secara manual, maka pelat yang ada tepat berada di bawah dongkrak akan turun. Saat dongkrak dipompa maka akan menekan tanah yang berada di dalam cetakan dan per yang berada di atas menurun menahan beban yang diterima dari dongkrak. Pada saat tanah di padatkan maka manometer akan bergerak menunjukkan berapa besar tekanan yang di terima oleh tanah.

Sampel tanah yang diambil berasal dari Tirtayasa Kec. Sukabumi, Bandar Lampung. Tanah yang diambil terdiri dari *disturbed sample* dan *undisturbed sample*.

Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian fisik tanah pada tanah asli. Kemudian hasil dari pengujian akan dianalisis sesuai dengan klasifikasi tanah menurut USCS dan AASHTO untuk mengetahui klasifikasi tanah.
2. Pengujian dengan alat tekan pemadat modifikasi dengan prosedur pengujian pada tabel berikut :

Tabel 3. Pengujian Alat Tekan Pemadat Modifikasi

No. Sampel	Tekanan	Kadar Air (w)
A.1		
A.2	5 MPa	23%
A.3		
B.1		
B.2	10 MPa	23%
B.3		
C.1		
C.2	15 MPa	23%
C.3		
D.1		
D.2	20 MPa	23%
D.3		

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

Nilai-nilai dari hasil pengujian laboratorium mengenai sifat fisik dan sifat mekanik dari tanah selengkapnya ditabelkan pada tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah

No.	Pengujian	Hasil
1.	Kadar air (w)	12,72%
2.	Berat Jenis (Gs)	2,56
3.	Batas Atterberg :	
	a. Batas Cair (LL)	59,32%
	b. Batas Plastis (PL)	40,55%
	c. Indeks Plastisitas (PI)	18,77%
4.	Analisa Saringan :	
	a. Lolos Saringan No. 4	82,80%
	b. Lolos Saringan No. 200	0,44%

Pengujian yang dilakukan terhadap tanah asli seperti tercantum pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kadar air yang terkandung dalam sampel tanah asli adalah sebesar 12,72%. Hal ini

berarti tanah memiliki kandungan air yang cukup rendah dan pengambilan tanah pada kondisi kemarau. Hasil pengujian berat jenis pada sampel tanah asli adalah sebesar 2,56.

Menurut sistem klasifikasi AASTHO, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki angka indeks plastisitas yang lebih dari 11% dengan batas cair di atas 40%. Maka dapat disimpulkan bahwa tanah dari Tirtayasa Kec. Sukabumi Bandar Lampung digolongkan sebagai kelompok tanah A-2-7 (tanah pasir berlempung).

Menurut sistem klasifikasi USCS, berdasarkan nilai persentase lolos saringan No. 40 sebesar 82,80% (lebih besar dari 50%), maka berdasarkan tabel klasifikasi USCS tanah dari daerah Tirtayasa Kec. Sukabumi Bandar Lampung, untuk nilai batas cair sebesar 50,32% dan indeks plastisitas sebesar 18,77%. Maka bila nilai tersebut termasuk dalam kelompok SC yaitu tanah pasir berlempung.

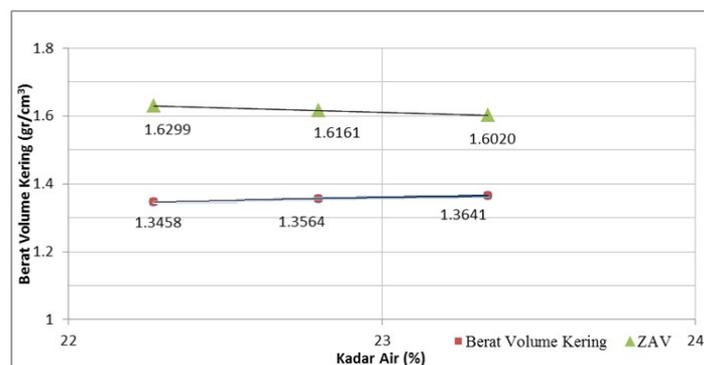
B. Uji Alat Tekan Pematik Modifikasi

Uji alat tekan pematik modifikasi adalah upaya untuk memadatkan tanah dengan cara menekan secara manual terhadap sampel tanah yang berada didalam *mold*. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 4 tekanan yaitu 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa, dan 20 MPa. Untuk setiap tekanan dicoba sebanyak 3 sampel percobaan.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Pengujian Alat Tekan Modifikasi pada Tekanan 5 MPa

Sampel	Berat Tanah (gr)	Volume (cm ³)	Berat Volume (gr/cm ³)	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm ³)	γ_d zav
1	1559	947,3882	1,6456	22,27	1,3458	1,6299
2	1594	947,3882	1,6825	23,34	1,3641	1,6020
3	1578	947,3882	1,6656	22,80	1,3564	1,6161

Berikut adalah gambar dari hasil pengujian pada tekanan 5 MPa yang ditunjukkan pada Tabel 5 :

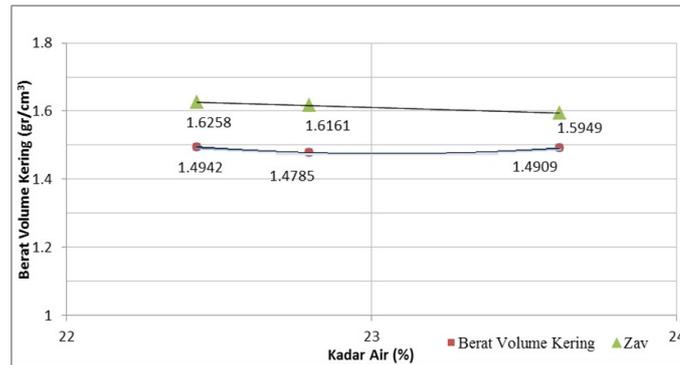


Gambar 6. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air pada Uji Alat Tekan Pematik Modifikasi untuk Tekanan 5 MPa.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Pengujian Alat Tekan Modifikasi pada Tekanan 10 MPa

Sampel	Berat Tanah (gr)	Volume (cm ³)	Berat Volume (gr/cm ³)	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm ³)	γ_d zav
1	1733	947,3882	1,8292	22,43	1,4942	1,6258
2	1746	947,3882	1,8430	23,62	1,4909	1,5949
3	1720	947,3882	1,8155	22,80	1,4785	1,6161

Berikut adalah gambar dari hasil pengujian pada tekanan 10 MPa yang ditunjukkan pada Tabel 6.

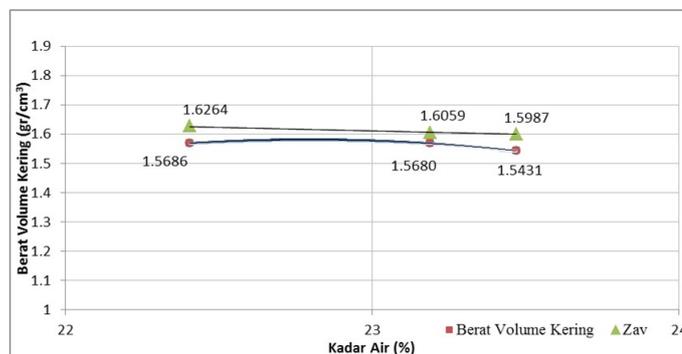


Gambar 7. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air pada Uji Alat Tekan Pematat Modifikasi untuk Tekanan 10 MPa.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Pengujian Alat Tekan Modifikasi pada Tekanan 15 MPa

Sampel	Berat Tanah (gr)	Volume (cm ³)	Berat Volume (gr/cm ³)	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm ³)	γ_d zav
1	1805	947,3882	1,9052	23,47	1,5431	1,5987
2	1819	947,3882	1,9200	22,41	1,5686	1,6264
3	1830	947,3882	1,9316	23,19	1,5680	1,6059

Berikut adalah Gambar dari hasil pengujian pada tekanan 15 MPa yang ditunjukkan pada Tabel 7.

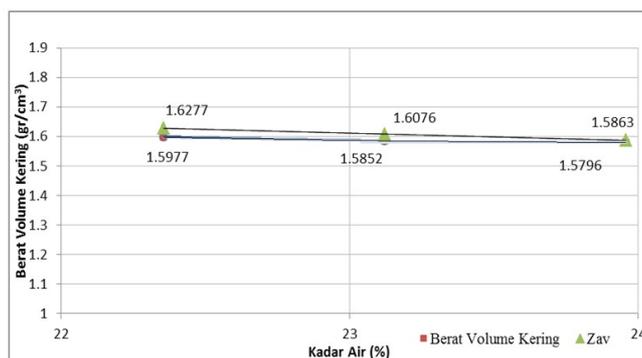


Gambar 8. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air pada Uji Alat Tekan Pematat Modifikasi untuk Tekanan 15 MPa.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Pengujian Alat Tekan Modifikasi pada Tekanan 20 MPa

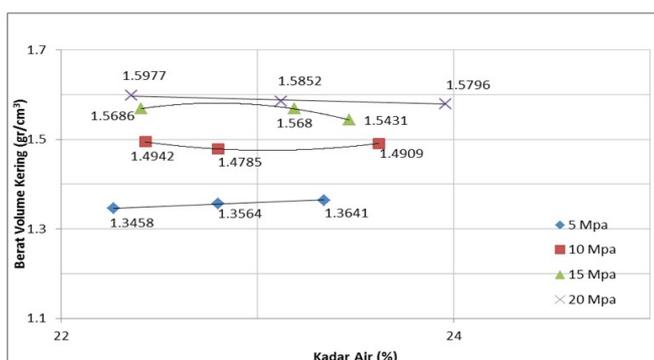
Sampel	Berat Tanah (gr)	Volume (cm ³)	Berat Volume (gr/cm ³)	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm ³)	γ_d zav
1	1852	947,3882	1,9548	22,36	1,5977	1,6277
2	1849	947,3882	1,9517	23,12	1,5852	1,6076
3	1855	947,3882	1,9580	23,96	1,5796	1,5863

Berikut adalah gambar dari hasil pengujian pada tekanan 20 MPa yang ditunjukkan pada Tabel 8.



Gambar 9. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air pada Uji Alat Tekan Pematat Modifikasi untuk Tekanan 20 MPa.

Berdasarkan gambar Gambar 6; 7; 8; dan 9 menunjukkan bahwa pada sampel 5 MPa kepadatan belum maksimal karena nilai berat volume *zero air void* terlihat jauh dari nilai berat volume kering. Semakin tinggi tekanan maka nilai berat volume *zero air void* semakin mendekati nilai berat volume kering. Pada tekanan 20 MPa nilai berat volume *zero air void* hampir mendekati nilai berat volume kering hal ini menunjukkan pada tekanan 20 MPa sudah tidak ada rongga udara di dalam tanah kepadatan mencapai maksimal dapat dilihat pada Gambar 9. Berikut adalah gambar gabungan nilai berat volume kering (γ_d) dan kadar air (w) pada tekanan 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa dan 20 MPa pada Gambar 10.



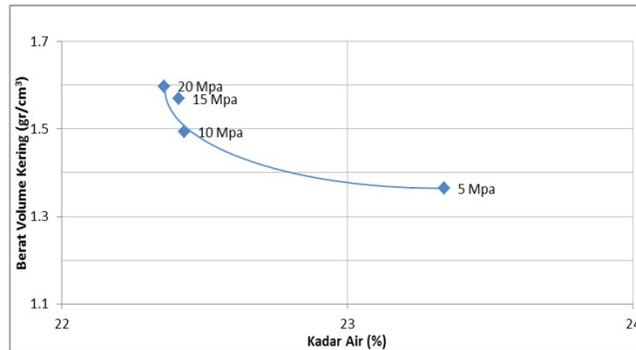
Gambar 10. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air pada Uji Alat Tekan Pematat Modifikasi.

Dari hasil pada Gambar 6; 7; 8; dan 9 didapat nilai kadar air (w) dan berat volume kering (γ_d) pada kondisi optimum, ditunjukkan pada Tabel 9 berikut :

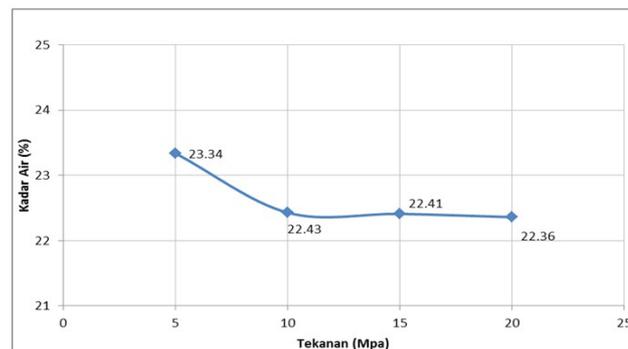
Tabel 9. Hasil Pengujian Alat Tekan Pematat Modifikasi Berdasarkan Kondisi Optimum

Nama Sampel	Kadar Air (%)	Berat Volume Kering (gr/cm ³)
5 MPa	23,34	1,3641
10 MPa	22,43	1,4942
15 MPa	22,41	1,5686
20 MPa	22,36	1,5977

Berikut adalah gambar dari hasil pengujian alat tekan pada tekanan 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa dan 20 MPa pada Gambar 11.

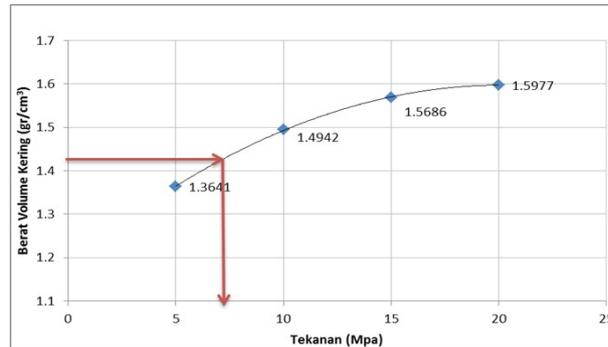


Gambar 11. Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air pada Uji Alat Tekan Pematat Modifikasi pada Kondisi Optimum.



Gambar 12. Hubungan Kadar Air dengan Tekanan pada Uji Alat Tekan Pematat Modifikasi pada Kondisi Optimum.

Dari hasil hubungan berat volume kering dengan kadar air berdasarkan uji alat tekan modifikasi pada Tabel 9 dan Gambar 11, 12 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan yang diberikan pada uji alat tekan pematat modifikasi maka semakin besar nilai berat volume kering (γ_d) dan semakin menurun nilai kadar air (w).



Gambar 13. Hubungan Berat Volume Kering Kondisi Optimum dengan Tekanan pada Uji Alat Tekan Pematik Modifikasi.

Berdasarkan hasil pengujian alat tekan pematik modifikasi seperti pada Gambar 13, dari hasil uji *modified proctor* di laboratorium didapat nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1,42 gr/cm³. Bila nilai ini dikonversi terhadap hasil uji alat tekan modifikasi pada Gambar 13 didapat nilai tekanan sebesar 7 MPa. Untuk mengontrol bahwa tekanan sebesar 7 MPa mendekati hasil uji *modified proctor* maka dilakukan pengujian kembali menggunakan alat uji tekan pematik modifikasi dari hasil uji sebesar 7 MPa didapat nilai γ_d sebesar 1,4177 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa nilai γ_d pada alat tekan pematik modifikasi mendekati hasil γ_d sebesar 1,42 gr/cm³ pada uji *modified proctor*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, tanah yang bersumber dari Tirtayasa, Bandar Lampung memperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO digolongkan pada kelompok tanah A-2-7 (pasir berlempung) dan klasifikasi berdasarkan USCS tanah tersebut digolongkan kedalam kelompok SC yaitu tanah pasir lempung.
2. Nilai kadar air (w) dan berat volume kering (γ_d) pada kondisi optimum berbanding terbalik. Semakin besar nilai berat volume kering (γ_d) dan nilai (γ_{zav}), semakin menurun nilai kadar air (w).
3. Uji *modified proctor* di laboratorium didapat nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1,42 gr/cm³. Bila nilai ini dikonversi terhadap hasil uji alat uji tekan modifikasi didapat nilai tekanan sebesar 7 MPa.
4. Untuk tanah dengan jenis pasir berlempung didapat nilai tekanan tidak lebih dari 7 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO M-145, 1945, *Committee on Classification of Materials for Subgrade and granular type Roads of the Highway Research Board*, U.S.
- Badan Standarisasi Nasional, 2008, *SNI 1742:2008 Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Bisa, F., 2014, *Pengertian dan Klasifikasi Timbunan*, diakses pada <http://kumpulengineer.blogs.pot.co.id/2014/09/pengertian-dan-klasifikasi-timbunan.html> (12 Agustus 2016).

- Das, B. M., 1995, “*Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*”, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady., 2002, *Mekanika Tanah I*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Muda, A., 2016, *Jurnal TEKNIK SIPIL Vol. 17 No. 1, Juli 2016*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.
- Prihatono, Y., 2011, *Pematatan Tanah*, diakses pada <https://yogoz.wordpress.com/2011/01/31/pematatan-tanah-2/> (12 Agustus 2016).
- Verhoef, P.N.W., 1994, *Geologi Untuk Teknik Sipil*, PT. Erlangga, Jakarta.