

Pengaruh Penambahan Serbuk Bata Merah dan Limbah Polyethylene Terephthalate pada Tanah Lempung

Ririn Tri Eryunaningsih^{[1]*}, Sri Wulandari^[1]

^{[1]*} Master of Civil Engineering, Gunadarma University, Depok, 16424, Indonesia

Email: ririntrieryuna@gmail.com*, sri_wulandari@staff.gunadarma.ac.id

*) Correspondent Author

Received: 06 June 2023; Revised: 07 August 2023; Accepted: 08 August 2023

How to cited this article:

Eryunaningsih, R.T., Wulandari, S., (2024). Pengaruh Penambahan Serbuk Bata Merah dan Limbah Polyethylene Terephthalate pada Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 111–125. <https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.6644>

ABSTRAK

Tanah dengan daya dukung rendah sering dijumpai saat melakukan perencanaan konstruksi bangunan sipil, sehingga perlu dilakukan upaya perbaikan tanah. Penelitian ini mengkaji pengaruh penggunaan serbuk bata merah dan cacahan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai bahan stabilisasi tanah lempung. Silika dan alumina oksida dalam serbuk bata merah dapat merekatkan unsur-unsur pada tanah sehingga tanah akan memadat dan membentuk struktur yang stabil. Cacahan plastik PET dapat menambah gesekan antar butir tanah dan mampu mengurangi potensi swelling. Sampel tanah diambil dari Hambalang Kabupaten Bogor. Data diperoleh dengan melakukan penyelidikan tanah di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Gunadarma dengan metode eksperimental. Adapun parameter yang dianalisis adalah nilai kuat geser dan konsolidasi tanah pada kondisi asli dan sampel tanah yang sudah diberi campuran 0,5% cacahan plastik PET serta serbuk bata merah dengan persentase 7%, 11%, dan 15%. Berdasarkan hasil penelitian, serbuk bata merah dan cacahan plastik PET dapat menaikkan kekuatan tanah berdasarkan parameter geser tanah dan konsolidasi. Persentase campuran efektif yang menghasilkan nilai optimum berdasarkan pengujian kuat geser langsung dan konsolidasi adalah tanah asli dengan 0,5% cacahan plastik PET dan 11% serbuk bata merah dengan kenaikan nilai kuat geser sebesar 259,947%, kecepatan waktu konsolidasi turun sebesar 64,214%, dan penurunan tanah berkurang sebesar 57,116%.

Kata kunci: *Konsolidasi, Uji Kuat Geser Langsung, Lempung, Polyethylene Terephthalate, Serbuk Bata Merah.*

ABSTRACT. *Effect of adding Red Brick Powder and Polyethylene Terephthalate in Clay. Low bearing capacity soil is frequently encountered when designing the construction of civil buildings. It's important to stabilize the soil.. In this study, the effectiveness of PET plastic and red brick powder as clay stabilizers was examined. The silica and alumina oxide included in the red brick powder can bind soil particles to form a compact, stable structure. PET plastic can increase the friction between soil grains and reduce the potential for swelling. Soil samples were taken from Hambalang, Bogor Regency. Data was obtained by conducting soil investigations at the Civil Engineering Laboratory of Gunadarma University using experimental methods. The parameters analyzed were the values of shear strength and consolidation in the original condition and soil samples that had been given a mixture of 0.5% PET plastic and red brick powder with a percentage of 7%, 11%, and 15%. According to research, red brick powder and PET plastic can boost soil strength based on soil shear and consolidation parameters. The percentage of the effective mixture is soil with 0.5% PET plastic and 11% red brick powder, with a rise in shear strength of 259.947%, a drop in consolidation time speed of 64.214%, and a decrease in land of 57.116%.*

Keywords: *Clay, Consolidation, Direct Shear Test, Polyethylene Terephthalate, Red Brick Powder.*

1. PENDAHULUAN

Menurut Darwis (2017) usaha stabilisasi tanah memiliki prinsip dasar bahwa sifat merugikan tanah bisa diperbaiki dengan meningkatkan sifat-sifat tanah sesuai dengan tujuan perbaikan yang ingin dicapai. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan metode kimiawi atau mekanis (pemadatan tanah). Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan tertentu yang dapat mengubah sifat merugikan dari tanah. Bahan yang digunakan biasanya merupakan bahan yang mengandung silica, seperti serbuk bata merah. Hal ini dikarenakan penambahan persentase silica yang termasuk mineral kaolinite mampu membentuk struktur tanah yang solid dan mampu menahan molekul air agar tidak masuk kedalamnya. Selain itu, beberapa penelitian juga menyebutkan bahwa interaksi fisik antara limbah plastik PET dengan tanah dapat mengurangi potensi swelling.

Manullang (2021) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa serbuk bata merah termasuk dalam golongan artificial pozzolanas yang mengandung 75,890% Silica dan 17,790 Alumina oksida. Menurut Hidalgo, dkk (2019), penambahan serbuk bata merah dapat meningkatkan kekuatan tanah antara 1,7 – 2,3 kali. Campuran yang paling efektif adalah pembahan bahan stabilisasi < 14%. Penambahan 5% serbuk mata merah pada tanah dapat meningkatkan kepadatan sebesar 2,985%, potensi pengembangan tanah menurun 0,32% dengan tekanan pengembangan menurun 87,38% dari tanah asli (Misbah dan Sundus, 2021). Ara, dkk (2021) membandingkan efektifitas serbuk bata merah, abu sekam padi, dan pasir sirkon sebagai bahan perbaikan tanah lempung. Berdasarkan penelitian tersebut, campuran tanah dengan serbuk bata menghasilkan nilai kuat geser tertinggi.

Bahan stabilisasi lain yang bisa digunakan untuk memperbaiki sifat fisis tanah yaitu dengan memanfaatkan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) yang berasal dari bekas botol air kemasan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kassa, dkk (2020), pemanfaatan material plastik PET sebagai *stabilizing agent* pada tanah terbukti mampu menambah ketahanan terhadap geser, pengurangan *swelling* tanah dan memperbaiki masalah fluktuasi volume tanah akibat perubahan kadar air. Penambahan 0,5% plastik PET menghasilkan nilai tegangan runtuh (q_u), nilai berat isi kering, dan kuat geser terbaik (Lumi, dkk, 2021). Penelitian Renaningsih, dkk. (2022) menghasilkan peningkatan nilai daya dukung tanah dan penurunan nilai pengembangan tanah seiring dengan penambahan persentase plastik PET.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh penggunaan serbuk bata merah dan cacahan limbah polyethylene terephthalate pada tanah lempung organik terhadap parameter kuat geser dan konsolidasi. Tanah yang digunakan untuk sampel penelitian berasal dari Desa Hambalang Kabupaten Bogor, karena pada daerah tersebut didominasi tanah butir halus yaitu tanah lempung sehingga perlu adanya stabilisasi untuk memperbaiki sifat mekanis tanah. Tanah

dengan kemampuan mengembang yang tinggi akan membuat tanah cepat mengalami perubahan volume akibat dari proses kembang susut dan berpotensi merusak bangunan yang ditopang di atasnya (Nurfatihah dan Sri Wulandari, 2023). Adapun parameter yang dianalisis adalah nilai kuat geser dan konsolidasi pada sampel tanah sebelum dan sesudah diberi bahan campuran.

Tanah dengan daya dukung rendah sering dijumpai saat melakukan perencanaan konstruksi bangunan sipil. Menurut Darwis (2017) mineral yang terkandung dalam tanah sebagai hasil dari proses pelapukan batuan mempengaruhi kapasitas dukung dari suatu jenis lapisan tanah. Tanah kohesif dengan konsistensi lunak cenderung berasal dari partikel lapukan yang bergradasi halus. Sebaliknya, apabila partikel lapukan memiliki gradasi yang kasar, akan membentuk tanah keras dengan sifat non kohesif.

Tanah lempung adalah material batuan dengan partikel mikroskopis dan submikroskopis yang terbentuk dari penguraian kimiawi komponen batuan dan bersifat plastis dengan kadar air sedang sampai tinggi. Pada kondisi kering, lempung akan mengeras dan antar butiran tanahnya tidak mudah terpecah hanya dengan jari tangan. Permeabilitas pada tanah lempung sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1967). Tanah lempung sangat sensitif dengan perubahan kadar air sehingga cenderung mempunyai sifat kembang-susut tinggi. Klasifikasi USCS mendefinisikan lempung sebagai tanah butir halus dengan indeks plastisitas lebih besar dari 4 atau bila diplotkan dalam grafik plastisitas USCS, terletak pada atau di atas garis pemisah kelompok lanau dan lempung (garis A).

Karakteristik tanah dapat diketahui dengan melakukan pengujian di laboratorium. Pengujian tersebut dibagi menjadi dua, yaitu pengujian sifat fisis (*index properties*) dan sifat mekanis (*engineering properties*). Sifat fisis tanah menunjukkan sifat tanah terkait jenis dan kondisi tanah yang berkorelasi dengan sifat mekanis tanah, seperti kekuatan, pemampatan, pengembangan, dan permeabilitas. Pengujian terhadap sifat fisis meliputi uji kadar air, uji berat isi, uji berat jenis, dan *Atterberg limit*. Parameter mekanis tanah dapat diperoleh melalui uji kuat geser langsung dan uji konsolidasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan benda uji berupa sampel tanah *undisturbed* (tak terganggu) dan *disturbed* (terganggu) yang diambil dari Hambalang, Kabupaten Bogor. Sampel tak terganggu digunakan untuk pengujian kadar air, berat isi, kuat geser, dan konsolidasi agar diperoleh kondisi sifat fisis dan mekanis tanah dalam kondisi eksisting. Penelitian dilakukan dengan mengacu pada prosedur SNI untuk masing-masing pengujian. Bahan campuran yang digunakan berupa serbuk bata merah lolos saringan No. 200 dan cacahan limbah plastik PET

yang diperoleh dari Kota Depok. Campuran serbuk bata merah dan plastik PET yang diuji terdiri dari tiga variasi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Campuran

Variasi	Keterangan
Variasi 1	Tanah asli
Variasi 2	Tanah asli + 0,5% plastik PET + 7% serbuk bata merah
Variasi 3	Tanah asli + 0,5% plastik PET + 11% serbuk bata merah
Variasi 4	Tanah asli + 0,5% plastik PET + 15% serbuk bata merah

2.1. Kadar Air Tanah

Kadar air (*water content*) adalah persentase air yang mengisi pori-pori tanah dan diperoleh dengan membandingkan berat air dengan berat butiran padat pada tanah. Kekuatan tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air, terutama tanah lempung yang sangat peka terhadap fluktuasi kadar air. Semakin rendah kadar air pada suatu lapisan tanah, tegangan efektif tanah akan meningkat sehingga daya dukung dan kohesi juga meningkat. Pengujian kadar air tanah dilakukan mengacu pada SNI 1965:2008.

Menurut Das (1995), air pada proses pemadatan tanah berperan sebagai unsur pembasah (pelumas) antar butir tanah sehingga memudahkan pergerakannya untuk membentuk kedudukan yang lebih rapat dan solid. Namun, kadar air tanah yang terlalu tinggi akan menyebabkan tanah sulit dipadatkan, sehingga kerapatannya menurun.

2.2. Berat Jenis Tanah

Berat jenis (*specific gravity*) tanah didefinisikan sebagai bilangan tak bersatuan yang diperoleh dari perbandingan antara massa butir tanah dengan massa jenis air murni. Air murni bermassa jenis 1 g/cm³ atau 1000 kg/m³. Pengujian berat jenis tanah mengacu pada SNI 1964:2008. Tingginya nilai berat jenis tanah mengakibatkan indeks pemampatan yang tinggi pula. Klasifikasi berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi *Specific Gravity* Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,650 – 2,680
Pasir	2,650 – 2,680
Lanau tak organik	2,650 – 2,680
Lempung organik	2,580 – 2,650
Lempung tak organik	2,680 – 2,750
Humus	1,370
Gambut	1,250 – 1,800

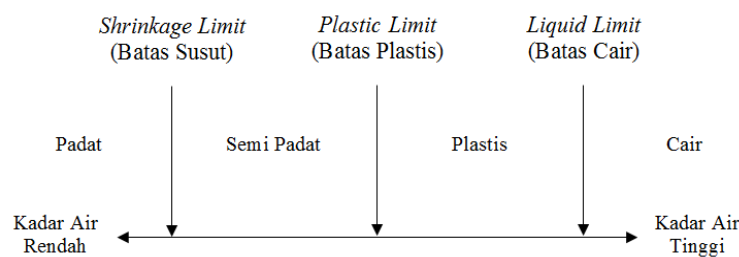
Sumber: (Hardiyatmo, 2002)

2.3. Berat Isi Tanah (*Bulk Density*)

Berat isi merupakan gambaran taraf kemampatan tanah yang dinyatakan sebagai perbandingan berat butir tanah dengan volume total tanah. Faktor yang mempengaruhi berat isi tanah adalah ukuran ruang pori tanah. Semakin besar total ruang pori, maka berat isi tanah akan semakin kecil. Menurut Agustina dan Elfrida (2019) kepadatan kering tanah (γ_d) sangat dipengaruhi persentase air yang terkandung dalam tanah. Rendahnya kadar air, dapat meningkatkan kepadatan kering tanah yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap kekuatan tanah yang semakin baik. Pengujian berat isi tanah mengacu pada SNI 03:3637:1994.

2.4. Batas-Batas Atterberg

Pengujian *Atterberg limit* merupakan metode untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus dengan menambahkan kadar air berbeda pada setiap sampel uji, batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian batas-batas Atterberg menggunakan sampel tanah asli lolos saringan No.40 yang telah dikeringkan. Batas-batas Atterberg memisahkan empat fase tanah yaitu cair, plastis, semi padat, dan padat.



Gambar 1. Diagram Batas-Batas Atterberg

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada kondisi peralihan antara keadaan cair dan plastis. Tanah dengan nilai *liquid limit* tinggi biasanya memiliki sifat teknis yang buruk (kompresibilitas tinggi, kekuatan rendah, serta sulit dipadatkan). Batas plastis (*plastic limit*) adalah persentase kadar air pada kondisi transisi dari konsistensi plastis ke sifat semi padat. Selisih antara batas cair dan batas plastis disebut indeks plastisitas. Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa indeks plastisitas digunakan untuk mengetahui klasifikasi dan sifat-sifat tanah, Nilai indeks plastisitas yang semakin menurun, menunjukkan bahwa sifat tanah semakin baik. Nilai batas susut tanah didefinisikan sebagai keadaan saat perubahan persentase kadar air tidak mengakibatkan perubahan volume massa tanah. Rendahnya nilai batas susut mengakibatkan potensi kembang susut semakin tinggi, hal ini dikarenakan hanya sedikit air yang dibutuhkan untuk mengubah volume tanah (Bowles, 1986).

Tabel 3. Sifat Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas (PI)

PI	Sifat Plastisitas
0	Tidak plastis
1 – 5	Sedikit plastis
5 – 10	Rendah
10 – 20	Sedang
20 – 40	Tinggi
> 40	Sangat tinggi

Sumber: (Das, 1995)

Tabel 4. Potensi Pengembangan Tanah

Indeks plastisitas (%)	Potensi pengembangan
> 35	Sangat tinggi
25 – 41	Tinggi
15 – 28	Sedang
< 18	Rendah

Sumber: (Chen, 1975)

2.5. Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Ketahanan geser tanah perlu diketahui untuk memperkirakan kapabilitas tanah dalam mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Semakin tinggi nilai kuat geser, kemampuan tanah dalam menahan desakan atau tarikan akan semakin besar pula. Kekuatan geser tanah dapat diketahui dengan melakukan pengujian kuat geser langsung. Kuat geser tanah diukur dengan dua parameter, yaitu gaya tarik-menarik antar partikel tanah (kohesi) dan gesekan antar butir tanah (sudut geser dalam tanah). Nilai kohesi berbanding lurus dengan nilai kuat geser dan kerapatan tanah, sehingga bila kerapatan makin besar maka kohesi akan makin besar pula. Sebagaimana disebutkan pada Tabel 5, sudut geser dalam dapat mencerminkan tingkat kepadatan tanah, dimana semakin tinggi nilainya menunjukkan tanah yang semakin padat.

Tabel 5. Tingkat Kepadatan Tanah Berdasarkan Sudut Geser Dalam

Tingkat kepadatan	Sudut geser dalam (ϕ)
Sangat lepas	< 35°
Lepas	30° – 35°
Agak padat	35° – 40°
Padat	40° – 45°
Sangat padat	> 45°

Sumber: (Bowles, 1986)

2.6. Pengujian Konsolidasi

Pengujian konsolidasi dilakukan berdasarkan ASTM D2435 bertujuan untuk menentukan besarnya pengembangan atau penurunan yang terjadi pada benda uji akibat tekanan vertikal (aksial) yang telah ditentukan terhadap satuan waktu. Jika pori tanah tersebut hanya terisi udara, maka penurunan tanah akan terjadi lebih cepat. Tetapi jika pori tanah terisi air, maka penurunan atau pengurangan volume akan terjadi lebih lambat.

Menurut Surendro (2015) tanah kohesif dalam keadaan kering dan kenyang air memiliki sifat yang berbeda. Lempung yang kering bersifat sangat keras, sedangkan lapisan lempung kenyang air apabila mendapat tambahan tekanan (seperti akibat beban fondasi) akan mengalami pengurangan volume tanah sebagai akibat dari keluarnya air yang terjebak dalam pori-pori tanah. Proses keluarnya air dari pori-pori tanah disebut proses konsolidasi. Pada tanah lempung, proses konsolidasi berlangsung sangat lambat, karena tanah lempung memiliki permeabilitas yang sangat kecil.

Koefisien pemampatan (C_c) menunjukkan besarnya konsolidasi atau penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tanah akibat beban yang terjadi di atasnya. Semakin kecil nilai c_c menandakan tanah yang semakin mampat dan potensi kembang susut akan semakin berkurang (lihat Tabel 6). Menurut Sandy J. dan Desiani, A (2023), dalam pengujian konsolidasi pemampatan tanah terjadi akibat dari pemberian beban pada sampel tanah, pemberian beban tersebut akan menekan air yang ada dalam pori-pori sampel tanah. Koefisien konsolidasi (C_v) merupakan lama waktu atau kecepatan konsolidasi hingga selesai. Semakin besar nilai C_v , semakin cepat pula proses konsolidasi terjadi dan tanah cepat mencapai kondisi stabil.

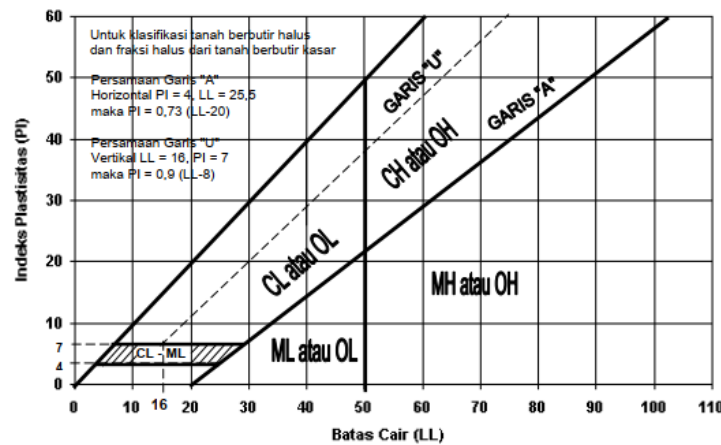
Tabel 6. Sifat Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Pemampatan (C_c)

Indeks pemampatan (C_c)	Keterangan
4,50 – 1,00	Tanah organik/humus
1,00 – 0,15	Lempung plastis
0,15 – 0,06	Lempung <i>stiff</i>
0,06 – 0,03	Lempung <i>medium hard</i>
0,05 – 0,025	Pasir tidak padat
0,01 – 0,005	Pasir padat
4,50 – 1,00	Tanah organik/humus
1,00 – 0,15	Lempung plastis
0,15 – 0,06	Lempung <i>stiff</i>
0,06 – 0,03	Lempung <i>medium hard</i>
0,05 – 0,025	Pasir tidak padat

Sumber: (Surendro, 2014)

2.7. Klasifikasi Tanah Unified Soil Classification System (USCS)

Casagrande memperkenalkan sistem klasifikasi unified/*Unified Soil Classification System* (USCS) pada tahun 1942 untuk keperluan pembuatan lapangan terbang selama Perang Dunia II. SNI 6371:2015 menjelaskan bahwa sistem USCS mengklasifikasikan tanah untuk keperluan rekayasa teknik berdasarkan hasil uji laboratorium yang meliputi batas cair, indeks plastisitas, dan karakteristik ukuran butir. Sistem ini membagi tanah menjadi dua kelompok besar, yaitu kelompok *coarse grained soil* (tanah butir kasar) dan *fine grained soil* (tanah butir halus) berdasarkan persentase tanah yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm). Adapun sistem klasifikasi USCS dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Plastisitas
 Sumber: (SNI 6371:2015)

Tabel 7. Unified Soil Classification System (USCS)

Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Laboratorium ^A				Klasifikasi Tanah	
				Simbol Kelompok	Nama Kelompok ^B
TANAH BERBUTIR KASAR >50% tertahan ayakan No. 200	Kerikil (Lebih besar dari 50% Fraksi kasar yang tertahan ayakan No. 4)	Kerikil bersih (Butir halus ^C < 5%)	Cu ≥ 4 dan 1 ≤ Cc ≤ 3 ^D Cu < 4 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3 ^D	GW GP	Kerikil ^E bergradasi baik Kerikil ^E bergradasi jelek
		Kerikil dengan butir halus (Butir halus ^C > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil ^{E,F,G} lanauan
			Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	GC	Kerikil ^{E,F,G} lempungan
	Pasir (Lebih besar ≥ 50% Fraksi kasar yang lolos ayakan No. 4)	Pasir bersih (Butir halus ^H < 5%)	Cu ≥ 6 dan 1 ≤ Cc ≤ 3 ^D Cu < 6 dan/atau Cc < 1 atau Cc > 3 ^D	SW SP	Pasir ^I bergradasi baik Pasir ^I bergradasi jelek
			Pasir dengan butir halus (Butir halus ^H > 12%)	Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM
		Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH		SC	Pasir ^{F,G,I} lempungan
TANAH BERBUTIR HALUS ≥ 50% lolos Ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair < 50	Non Organik	PI > 7 dan terletak pada atau di atas garis "A"	CL	Lempung ^{K,L,M} rendah
			PI < 4 atau terletak di bawah garis "A"	ML	Lanau ^{K,L,M}
		Organik	Batas cair - kering oven < 0,75	OL	Lempung ^{K,L,M,N} organik
	Lanau dan lempung Batas cair ≥ 50	Non Organik	PI terletak pada atau di atas garis "A"	CH	Lanau ^{K,L,M,O} organik
			PI terletak di bawah garis "A"	MH	Lempung ^{K,L,M} tinggi
		Organik	Batas cair - kering oven < 0,75	OH	Lanau ^{K,L,M} elastis
TANAH BERORGANIK	Secara primer terdiri atas zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik			PT	Lempung ^{K,L,M,P} organik
					Gambut

Sumber: (SNI 6371:2015)

3. HASIL DAN DISKUSI

Sifat fisis tanah asli diketahui dengan melakukan pengujian di laboratoium. Menurut klasifikasi tanah USCS pada Tabel 7 dan Gambar 2 serta hasil tes organik yang bernilai 1,058 (lebih dari 0,75), tanah asli termasuk kelompok lempung organik (OH). Hal tersebut sejalan dengan hasil pengujian berat jenis tanah asli yang menunjukkan nilai sebesar 2,591 dan tergolong tanah lempung organik berdasarkan klasifikasi pada Tabel 2. Menurut Upa dan Hakim (2017) konsentrasi bahan organik dalam tanah yang melebihi batas maksimum akan mengurangi kekuatan dan stabilitas tanah. Tanah asli memiliki nilai indeks plastisitas sebesar 25,314%, berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 nilai tersebut menyatakan bahwa tanah asli memiliki sifat plastisitas dan potensi pengembangan yang tinggi. Hasil pengujian sifat fisis tanah tercantum pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah Asli

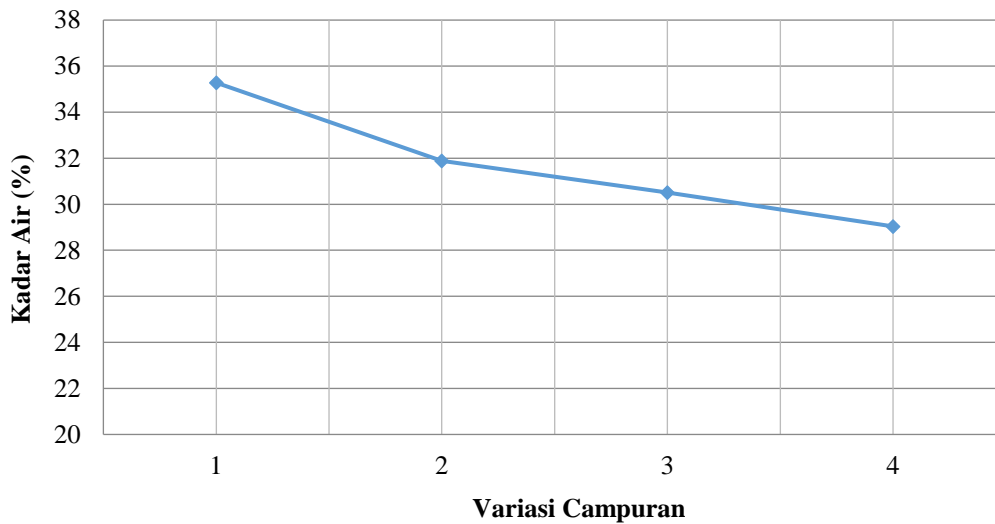
Parameter	Nilai
Kadar air (w) (%)	35,3
Berat Jenis (G_s)	2,6
Berat Isi (γ) (g/cm^3)	1,7
Isi Pori (cm^3)	30,0
<i>Liquid Limit</i> (LL)	60,4
<i>Plastic Limit</i> (PL)	35,1
<i>Plastic Index</i> (PI)	25,3
<i>Shrinkage Limit</i> (SL)	29,1

Pengujian sifat fisis tanah pada setiap variasi dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan campuran terhadap karakteristik tanah. Sedangkan, sifat mekanis tanah digunakan mengetahui perilaku tanah saat menerima beban. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan meliputi pengujian kuat geser langsung dan pengujian konsolidasi. Sampel yang digunakan adalah sampel tanah asli dalam kondisi tidak terganggu dan kondisi terganggu, serta sampel dengan variasi campuran pada Tabel 1.

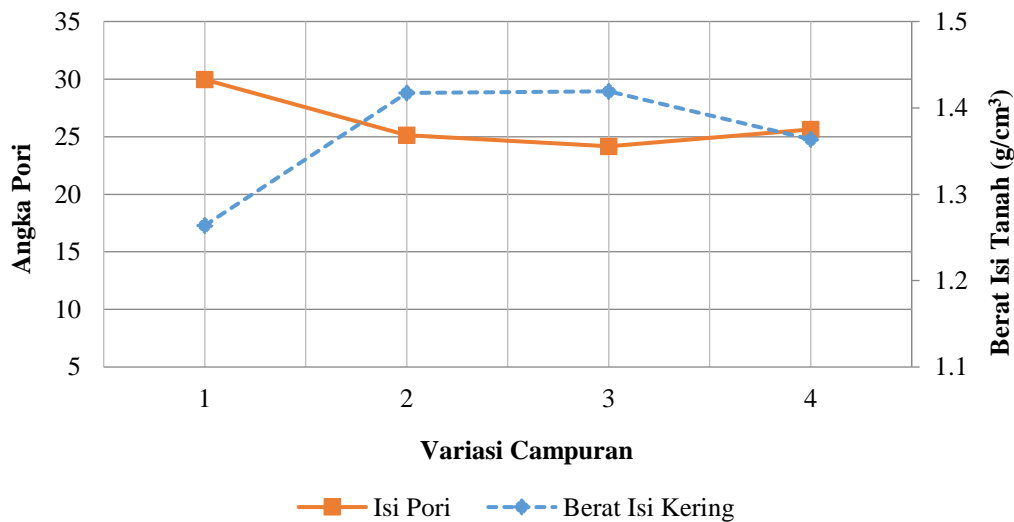
3.1. Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah

Gambar 3 menunjukkan bahwa persentase kadar air tanah menurun seiring penambahan campuran. Penurunan disebabkan karena melemahnya daya ikat atau daya resap tanah terhadap air akibat bertambahnya kadar serbuk bata merah pada campuran dan sifat cacahan plastik PET yang tidak menyerap air menggantikan volume tanah sebanyak 0,5%. Penurunan kadar air membuat tanah mudah dipadatkan sehingga berat isi kering tanah akan lebih tinggi. Hal tersebut sejalan dengan hasil pengujian berat isi pada Gambar 4 dimana nilai berat isi tanah semakin meningkat seiring pertambahan campuran dan didukung oleh isi pori semakin mengecil sehingga dapat dikatakan bahwa tanah semakin padat. Penurunan angka pori terjadi karena butiran

stabilisator akan bertindak sebagai *filler* yang mengisi rongga-rongga tanah dan memperlambat ikatan antar butiran tanah, namun penggunaan kadar serbuk bata yang terlalu banyak dapat menaikkan kembali nilai angka pori. Hal ini karena dalam penambahan kadar yang tinggi, kelebihan serbuk bata yang tidak terikat dengan tanah akan membentuk pori antar butirannya serta mengurangi daya lekat tanah.



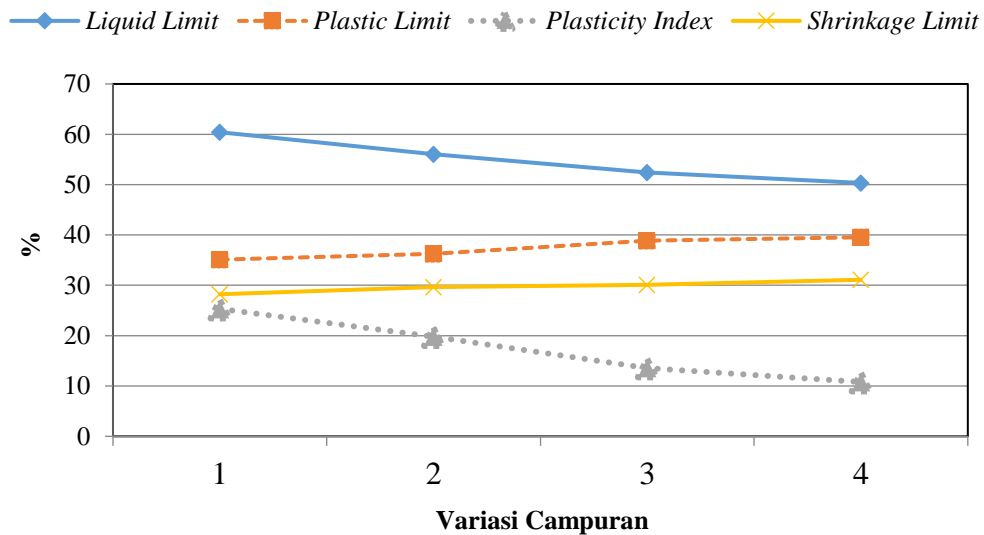
Gambar 3. Hasil Pengujian Kadar Air Tanah



Gambar 4. Hasil Pengujian Berat Isi Tanah dan Isi Pori

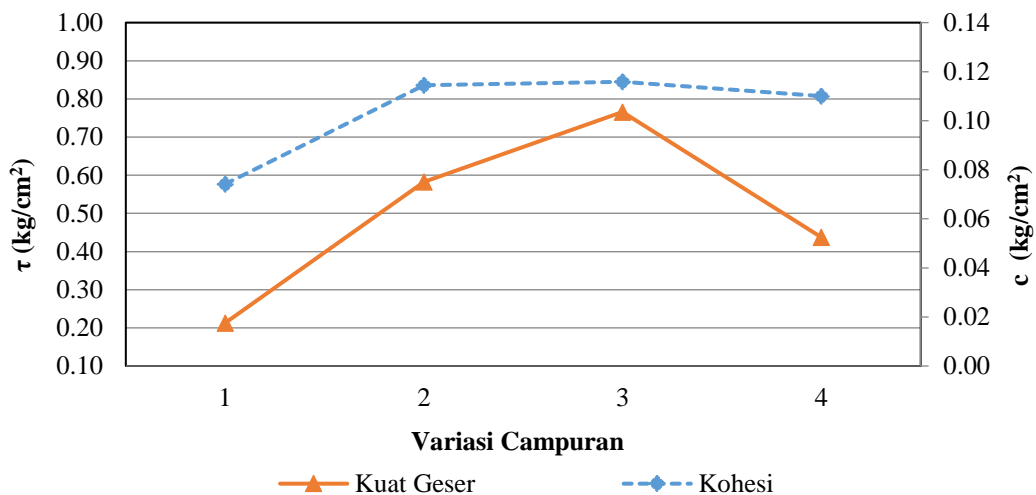
Hasil pengujian batas-batas *Atterberg* yang terdapat pada Gambar 5 menunjukkan seiring pertambahan persentase stabilisator ke campuran tanah, nilai *liquid limit* dan indeks plastisitas semakin turun, sedangkan *nilai plastic limit* dan *shrinkage limit* semakin naik. Hal ini dikarenakan

serbuk bata bertindak sebagai *filler* dan memicu proses sementasi yang mengikat antar butir tanah sehingga menjadi lebih kaku dan kadar air berkurang. Selain itu, adanya penggantian butiran tanah dengan cacahan plastik PET yang tidak menyerap air juga turut mempengaruhi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk bata merah dan plastik PET mengakibatkan tanah lebih stabil karena sensitifitas tanah terhadap air dapat dikurangi secara signifikan.



Gambar 5. Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg

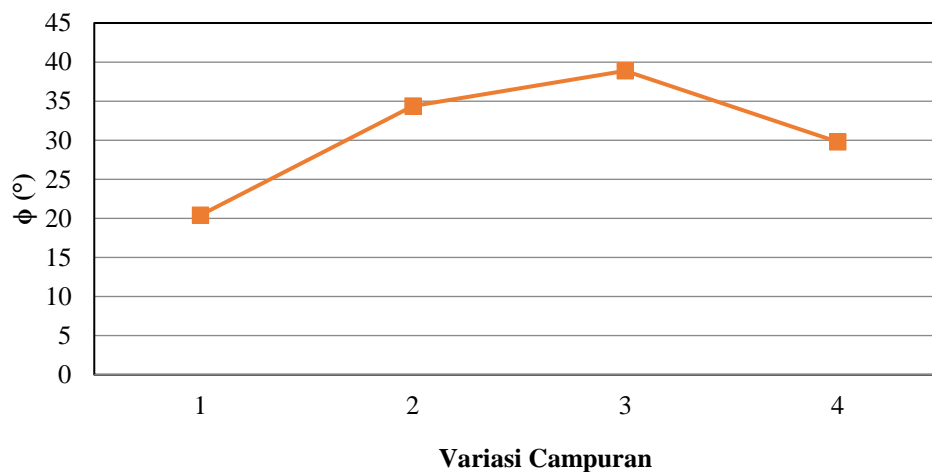
3.2. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*)



Gambar 6. Grafik Kuat Geser Tanah (τ) dan Kohesi (c)

Gambar 6 memperlihatkan bahwa nilai kohesi berbanding lurus dengan nilai kuat geser. Faktor yang mempengaruhi nilai kuat geser adalah kerapatan tanah, semakin besar taraf kerapatan

maka nilai kuat geser dan kohesi akan semakin tinggi. Variasi 3 menghasilkan nilai kuat geser tanah tertinggi yaitu sebesar $0,77 \text{ kg/cm}^2$, nilai tersebut naik sebesar 259,95% dari nilai kuat geser tanah pada variasi 1. Peningkatan nilai kuat geser tanah disebabkan lancipnya potongan plastik yang menambah gesekan antar butir tanah dan penambahan serbuk bata merah yang dapat mengurangi rongga-rongga antar partikel tanah. Kandungan *silica* dalam serbuk bata merah membentuk reaksi pozzolan sehingga struktur tanah menjadi lebih solid dan mampu menahan molekul air yang masuk ke struktur tanah. Jika dibandingkan dengan nilai optimum, terjadi penurunan nilai kuat geser pada variasi 4. Hal ini dikarenakan penambahan serbuk bata yang terlalu banyak dapat mengurangi daya lekat tanah sehingga kerapatan tanah dan kohesi menurun. Akan tetapi, penurunan yang terjadi masih berada di atas hasil variasi 1.



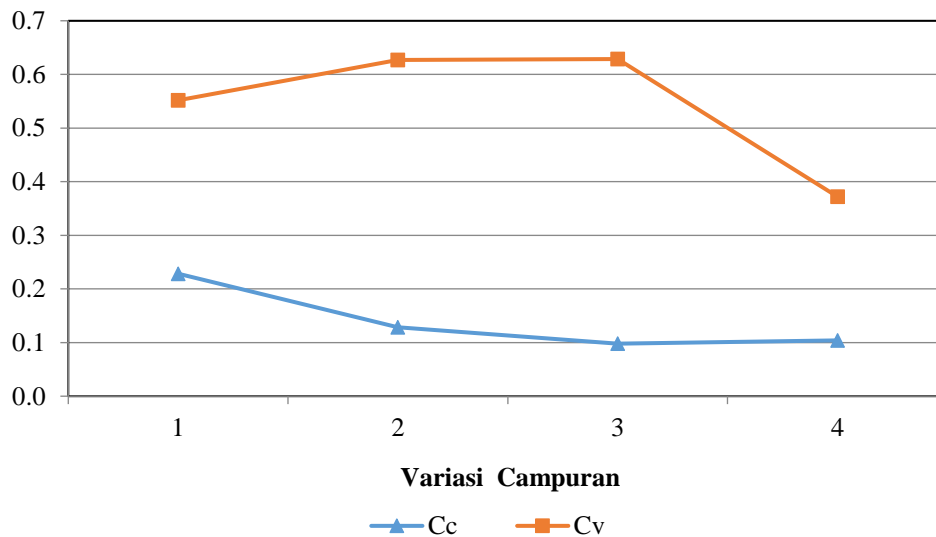
Gambar 7. Grafik Sudut Geser Dalam Tanah (ϕ)

Sudut geser dalam dapat didefinisikan sebagai sudut rekahan yang terbentuk akibat adanya tegangan luar yang melampaui tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam yang terbentuk, maka tanah akan lebih kuat menerima tegangan luar bekerja. Sudut geser dalam berbanding lurus dengan kepadatan tanah, artinya semakin padat struktur suatu tanah, sudut geser tanah akan semakin tinggi. Berdasarkan Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa serbuk bata merah dan plastik PET dapat menaikkan kekuatan tanah berdasarkan parameter geser tanah. Kadar optimum campuran yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser langsung terdapat pada variasi 3. Sudut geser dalam yang terbentuk pada sampel tersebut sebesar 39° . Apabila dikaitkan dengan Tabel 5, penambahan serbuk bata merah dan cacahan plastik PET dapat mengubah tingkat kepadatan tanah dari konsistensi sangat lepas (kondisi tanah asli) menjadi agak padat.

Jika dibandingkan dengan nilai optimum, terjadi penurunan nilai sudut geser dalam pada variasi 4 menjadi 30° . Penurunan tersebut disebabkan karena penambahan serbuk bata merah

yang terlalu banyak dapat menyebabkan serbuk bata yang bertindak sebagai *filler* mengalami kondisi *over* sehingga butiran tanah cenderung memisah kembali karena ikatan antar butiran tanah yang melemah. Akan tetapi jika dibandingkan dengan variasi 1, nilai sudut geser dalam pada variasi 4 masih lebih tinggi.

3.3. Hasil Pengujian Konsolidasi



Gambar 8. Grafik Indeks Pemampatan dan Koefisien Konsolidasi

Berdasarkan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa dengan menambahkan serbuk bata merah dan plastik PET dapat menurunkan potensi kembang susut tanah. Penurunan potensi kembang susut yang terjadi karena adanya interaksi kimia dan fisik. Interaksi kimia terjadi karena adanya serbuk bata merah yang memiliki kandungan *silica* cukup tinggi bercampur dengan tanah dan membentuk reaksi *pozzolan*. Serbuk bata merah juga berperan sebagai *filler* yang mengisi pori antar butiran tanah sehingga tanah menjadi lebih solid dan menyebabkan air lebih mudah untuk air merembes melewati lapisan tanah sehingga pemampatan bisa berlangsung lebih cepat. Berdasarkan interaksi fisik, potensi kembang susut menurun karena jumlah massa tanah yang berkurang digantikan oleh plastik yang tidak mengembang. Nilai C_c dan C_v terbaik diperoleh pada variasi 3 yang dapat mengurangi penurunan tanah sebesar 57,12% dengan nilai C_c sebesar 0,098 dan mempercepat waktu konsolidasi sebesar 64,21% dengan nilai C_v 0,53 cm^2/menit . Sehingga, berdasarkan Tabel 6, penambahan bahan stabilisasi dapat mengurangi sifat organik tanah dan menjadikan tanah termasuk kelompok lempung dengan sifat *stiff* (kaku). Akan tetapi, terjadi sedikit kenaikan nilai C_c dan C_v menjadi 0,104 dan 0,27 cm^2/menit pada variasi 4. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk bata merah melebihi kadar optimum yang bisa diikat tanah, sehingga kelebihan serbuk bata merah akan berkumpul dan membentuk

pori sendiri yang menyebabkan kepadatan tanah berkurang. Setelah pemampatan terjadi cukup besar, pori tanah akan mengecil dan mengakibatkan air pori sulit keluar dari dalam tanah yang berdampak pada waktu pemampatan yang lebih lama.

4. SIMPULAN

Tanah asli termasuk kelompok lempung organik (OH) yang merupakan tanah dengan daya dukung rendah dan memiliki potensi swelling yang tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Serbuk bata merah dan plastik PET dapat menaikkan kekuatan tanah berdasarkan parameter geser tanah, kadar optimum campuran yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser langsung adalah variasi 3 dengan kenaikan 259,95% jika dibandingkan tanah asli. Variasi 3 memiliki nilai kuat geser langsung sebesar 0,77 kg/cm² dengan kohesi 0,12 kg/cm² dan sudut geser dalam yang terbentuk sebesar 38,88°.
2. Serbuk bata merah dan plastik PET dapat menurunkan potensi kembang susut tanah dengan kadar optimum pada variasi 3. Variasi 3 mampu mempercepat waktu konsolidasi sebesar 64,21%, dan mengurangi penurunan tanah sebesar 57,12%. Nilai indeks pemampatan dan koefisien konsolidasi optimum yang diperoleh pada variasi tersebut sebesar 0,10% dan 0,53 cm²/menit.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. H., dan Elfrida. 2019. Pengaruh Perubahan Kadar Air terhadap Kekuatan Geser Tanah Lempung. *Sigma Teknika*, 2(1).
- Ara, E. P., Gandi, S., dan Sarie, F. 2021. Perbandingan Penggunaan Abu Sekam Padi, Serbu Batu Bata, dan Pasir Sirkon sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung. *Jurnal Kacapuri*, 4(1).
- Bowles J.E. 1986. Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chen, F.H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Darwis. 2017. *Dasar-Dasar Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah*. Jilid 1 dan Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hidalgo, C., Caevajal, G., and Monos, F. 2019. Laboratory Evaluation of Finely Milled Brick Debris as a Soil Stabilizer. *Sustainability*. 11, p. 967.
- Kassa, R.B., Workie, T., Abdela, A., Fekade, M., Saleh, M., and Dejene, Y. 2020. Soil Stabilization Using Waste Plastic Materials. *Open Journal of Civil Engineering*, 10, p. 55-58.
- Lumi, A.F., Mandagi, A.T., dan Sumampow, J.E.R. 2021. Studi Eksperimental Pengaruh Sampah Plastik terhadap Kuat Geser Tanah Lempung. *Tekno*. 19(79).

- Manullang, Endrico Carlos. 2021. Pengaruh Penambahan Serbuk Bata Merah Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung dengan Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) dan Kuat Tekan Bebas. Skripsi. Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Misbah, dan Sundus, W. 2021. Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah dalam Stabilisasi Tanah Lempung. *Ensiklopedia of Journal*, 3(5).
- Nurfatihah, & Wulandari, S. . (2023). Effect of Addition of Rubber Powder and Eggshell Powder on Clay Soil Parameters in Consolidation and Direct Shear Strength Tests. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(1), 146–157.
- Renaningsih, Roni, dan Bilqis, R. F. 2022. Daya Dukung Tanah Lempung Berserat Limbah Plastik PET (Polyethylene Therephtalate). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2022, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, hal 116-122.
- Sandy, J., & Desiani, A. (2020). Parameter Konsolidasi Tanah Organik Berdasarkan Uji Laboratorium Akibat Pengaruh Kandungan Batu Bara. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 38–53.
- SNI 6371:2016 Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah.
- Surendro, Bambang. 2015. *Mekanika Tanah - Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Yogyakarta; Andi.
- Terzaghi, K. and Peck, R. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Second Edition. New York: John Wiley.
- Upa, V. A., dan Hakim, N. 2019. Analisis Kekuatan dan Stabilitas Tanah Lempung Organik Artifisial untuk Perencanaan Jalan dengan Beban Lalu Lintas Tinggi. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(2).