

PEMANFAATAN LIMBAH BATA RINGAN UNTUK MENGURANGI PENURUNAN KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG BAYAT KLATEN

Qunik Wiqoyah*, Fardhan Ruslan Efendy, Anto Budi.L, Agus Susanto
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

*Email: qq170@ums.ac.id

Abstrak

Tidak semua jenis tanah mempunyai sifat dan daya dukung yang baik. Kondisi tanah seperti ini bisa ditemukan di desa Wiro, kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten. Tanah di desa Wiro termasuk tanah dengan plastisitas tinggi dengan nilai PI sebesar 33,33% dan berdasarkan klasifikasi AASTHO termasuk kelompok A-7-6, sedangkan berdasar USCS, tanah termasuk kelompok CH. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pada tanah tersebut agar mampu menahan beban struktur di atasnya. Perbaikan yang dilakukan yaitu mencampur tanah dengan limbah bata ringan. Persentase limbah bata ringan yang digunakan sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat sampel. Tujuan penelitian ini untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah (penurunan konsolidasi). Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis, nilai kadar air, berat jenis, batas cair, indeks plastisitas dan persentase lolos saringan No. 200 mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase campuran limbah bata ringan sedangkan nilai batas plastis dan batas susut mengalami kenaikan. Berdasarkan klasifikasi AASTHO, tanah campuran termasuk kelompok A-7-5. Berdasarkan USCS, tanah campuran termasuk MH. Hasil uji pemadatan, menunjukkan nilai berat volume kering mengalami kenaikan sedangkan wpt mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase limbah bata ringan. Hasil pengujian konsolidasi menunjukkan penambahan limbah bata ringan dapat mempercepat waktu terjadinya konsolidasi dan menurunkan nilai penurunan konsolidasinya.

Kata kunci: bata ringan; konsolidasi; stabilisasi; tanah lempung

Abstract

Not all types of soil possess favorable properties and bearing capacity. Such soil conditions can be found in Wiro village, Bayat district, Klaten Regency. The soil in Wiro village is characterized by high plasticity with a PI value of 33.33% and classified as group A-7-6 according to AASTHO classification, while according to USCS, the soil belongs to group CH. Therefore, soil improvement is necessary to enable it to withstand structural loads. The improvement method employed involves mixing the soil with lightweight brick waste. The percentages of lightweight brick waste used are 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% of the sample weight. The objective of this research is to improve the physical and mechanical properties of the soil (consolidation reduction). Based on the results of physical property testing, the moisture content, specific gravity, liquid limit, plasticity index, and percentage passing sieve No. 200 decrease as the percentage of lightweight brick waste mixture increases, while the plastic limit and shrinkage limit increase. According to AASTHO classification, the mixed soil belongs to group A-7-5, and according to USCS, it belongs to group MH. The results of compaction testing show an increase in dry unit weight and a decrease in optimum moisture content with increasing percentages of lightweight brick waste. Consolidation testing results indicate that the addition of lightweight brick waste accelerates the consolidation process and reduces the consolidation settlement value.

Keywords: consolidation; clay soil; lightweight brick; stabilization

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang Teknik Sipil, tanah merupakan elemen yang tidak dapat dipisahkan dari suatu proyek pembangunan. Tanah berperan sebagai lapisan dasar perletakan suatu konstruksi, sehingga harus mempunyai sifat dan daya dukung yang baik.

Tidak semua jenis tanah mempunyai sifat dan daya dukung yang baik. Tanah lempung, jenis tanah berbutir halus yang memiliki daya

dukung rendah dengan kadar air dan kembang susut yang tinggi. Kondisi tanah saat basah, volume tanah akan mengembang dan saat terjadi pembebanan tanah akan mengalami penurunan sehingga permeabilitas akan rendah dan tanah akan lengket. Sedangkan saat kondisi kering, tanah akan mengalami retakan-retakan akibat tegangan susut dan tanah dalam kondisi keras.

Daerah Wiro, Bayat, Klaten sering kali mengalami kerusakan pada bangunan dan jalan. Contohnya pada saat musim hujan ruas jalan mengalami genangan air hingga banjir dan ada beberapa talud jalan runtuh, sedangkan pada saat musim kemarau ruas jalan aspal maupun cor beton mengalami retak-retak. Kerusakan pada bangunan berupa dinding rumah warga mengalami retak dan lantai amblas, dimungkinkan karena adanya penurunan pondasi yang tidak sama.

Berdasarkan kondisi tanah di daerah Wiro seperti di atas, maka dilakukan penelitian pendahuluan untuk pengujian sampel tanah. Hasil penelitian pendahuluan/penelitian awal menunjukkan tanah di desa Wiro, Bayat, Klaten merupakan jenis tanah lempung dengan sifat fisis yaitu $w = 13,26\%$, $G_s = 2,71$, $LL = 63,26\%$, $PL = 29,93\%$, $SL = 13,56\%$, $PI = 33,33\%$, lolos saringan No. 200 = $77,80\%$, klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah tersebut dalam kelompok A-7-6 yaitu tanah berlempung sedang sampai buruk dengan kriteria penilaian umum sebagai tanah dasar dan menurut USCS masuk golongan CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi). Serta didapatkan sifat mekanis dengan nilai $C_v = 0.000115 \text{ cm}^2/\text{dt}$, $C_c = 0.1585$, $Sc = 0.0352 \text{ cm}$.

Berdasarkan data hasil uji pendahuluan diperlukan perbaikan agar mampu menahan beban struktur di atasnya dengan cara stabilisasi tanah. Perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode stabilisasi kimiawi dengan pencampuran limbah bata ringan dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis yang berupa penurunan konsolidasi.

Metode stabilisasi yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis adalah metode untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia semen, kapur atau *pozzolan* (Harnaeni, 2007).

Dalam proyek pembangunan gedung, limbah bata ringan dengan potongan kecil

seringkali terlihat dibuang begitu saja. Bata ringan merupakan salah satu bahan utama untuk konstruksi dinding. Bata ringan dikenal ada 2 (dua) jenis yaitu *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Bata ringan (hebel) mempunyai unsur kimia yang bagus untuk stabilisasi tanah, unsur-unsur kimia antara lain silika (SiO_2) 87,91%, kalsium oksida (CaO) 0,14%, alumina (Al_2O_3) 4,70%, fero oksida (Fe_2O_3) 0,94 %. Serbuk bata ringan juga mengandung kalsium (Ca) yang cukup tinggi yaitu sebesar 67,80% (Prahestam, 2021). Terdapat salah satu kandungan yang dibutuhkan oleh tanah yaitu kalsium yang membantu mempercepat proses pengikatan yang dapat memperbaiki sifat negatif tanah jika dicampur dengan air (Gustin, 2017). Berdasarkan pernyataan tersebut, diharapkan kuat dukung tanah menjadi lebih baik dan dapat memperkecil penurunan konsolidasi tanah tersebut.

Pozzolan pada dasarnya adalah merupakan bahan alam atau buatan yang sebagian besar kandungannya terdiri dari unsur-unsur silika dan alumina atau kedua-duanya. Menurut (ASTM 618-19, 2010), *pozzolan* didefinisikan sebagai suatu bahan yang mengandung silika dan alumina dan tidak dapat mengeras jika dicampur dengan air. Dalam keadaan basah dan halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dapat mengeras pada suhu kamar. Limbah bata ringan yang memiliki nilai $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 93,55\%$, maka berdasarkan (ASTM 618-19, 2010) termasuk kategori *pozzolan* kelas F.

Penelitian yang dilakukan (Nugroho, 2018) mencampur tanah dengan *pozzolan* yaitu abu sekam padi 10% + gipsum 5% dapat memperbaiki tanah dengan $w = 7,07\%$, $G_s = 2,68$, $LL = 47,80\%$, $PL = 29,27\%$, $SL = 22,33\%$, dan $PI = 18,53\%$ serta besarnya butiran lolos saringan No. 200 = $81,00\%$, klasifikasi tanah menurut AASHTO tanah tersebut dalam kelompok A-7-5 yaitu tanah berlempung sedang sampai buruk dengan kriteria penilaian umum sebagai tanah dasar dan menurut USCS masuk golongan CL (lempung anorganik dengan plastisitas rendah). Serta didapatkan sifat mekanis dengan nilai $C_v = 0.00475 \text{ cm}^2/\text{dt}$, $C_c = 0.3397$, $Sc = 0.0836 \text{ cm}$.

Konsolidasi merupakan proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah (Hardiyatmo, 2002). Pada saat tanah dibebani, tekanan pori meningkat. Karena tekanan pori berlebih, maka air pori meninggalkan massa tanah, sehingga penurunan tanah terjadi. Proses ini membutuhkan waktu dan tingkat penurunan yang terjadi seiring berjalannya waktu. Pada jenis tanah berbutir kasar (pasir dan kerikil), perubahan volume terjadi segera saat tekanan pori-pori terdispasi dengan cepat, karena permeabilitasnya tinggi. Sedangkan pada tanah halus (lanau dan lempung), rembesan lambat terjadi karena permeabilitas rendah (Darwis, 2018). Besarnya penurunan yang terjadi dan kecepatan penurunannya didapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Hardiyatmo, 1992).

$$Cc = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{\Delta e}{\log \frac{p_2'}{p_1'}} \quad (1)$$

$$Cv = Tv \frac{\left(\frac{H}{2}\right)^2}{t_{90}} = 0,848 \frac{\left(\frac{H}{2}\right)^2}{t_{90}} \quad (2)$$

$$Sc = \frac{Cc \log \frac{p_2'}{p_1'}}{1 + e_1} H \quad (3)$$

Dengan : C_c = Compression Index
 C_v = Coefficient of Consolidation (cm²/dtk)
 S = Settlement of Consolidation (cm)

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi menggunakan bahan stabilisasi limbah bata ringan. Ada 2 jenis pengujian yang dilakukan, yaitu uji sifat fisis dan sifat mekanis. Uji sifat fisis meliputi uji kadar air (ASTM D2216, 1998), berat jenis (ASTM D854, 2000), batas-batas *Atterberg* (ASTM D427, 1998; ASTM D4318, 2005), dan analisa butiran tanah (ASTM D1140, 2007; ASTM D422, 2007). Uji sifat mekanis meliputi uji kepadatan tanah (ASTM D698, 2003) dan konsolidasi (ASTM D2435, 2016).

Sampel tanah berasal dari Desa Wiro, Bayat, Klaten, tanah diambil pada kedalaman kurang lebih 50 cm dari permukaan tanah dalam kondisi terganggu dan dikondisikan kering udara. Limbah bata ringan yang digunakan berasal dari Trucuk, Klaten, yang limbah itu sisa produksi bata ringan yang rusak atau tidak digunakan dengan lolos saringan No. 200.

Pada penelitian ini terdiri dari 4 tahap. Tahap pertama yang dimulai dengan studi literatur dan penyediaan bahan berupa sampel tanah lolos saringan No. 4 dikondisikan kering udara dan limbah bata ringan, serta melakukan uji sifat fisis limbah bata ringan meliputi kadar air dan berat jenis. Tahap kedua pembuatan benda uji sifat fisis tanah asli dan tanah campuran 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% limbah bata ringan lolos saringan No. 200. Kemudian melakukan uji sifat-sifat fisis tanah asli dan tanah campuran. Pengujian ini meliputi kadar air, berat jenis, batas-batas *Atterberg*, dan analisa ukuran butiran. Kemudian melakukan uji kepadatan tanah dengan *Standard Proctor* guna mendapatkan kepadatan tanah kering maksimum dan kadar air optimumnya. Kadar air optimum tersebut digunakan untuk pembuatan sampel pengujian konsolidasi. Tahap ketiga pembuatan sampel benda uji tanah asli dan tanah campuran untuk pengujian konsolidasi. Kemudian dilakukan uji konsolidasi pada tanah asli dan tanah campuran limbah bata ringan. Tahap keempat merupakan pembahasan dari hasil pengujian yang telah didapatkan dari tahap II dan III. Dari tahap ini dapat dibuat kesimpulan akan hasil yang didapat serta memberikan saran jika diperlukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Sifat Fisis Limbah Bata Ringan

Berdasarkan pengujian sifat fisis limbah bata ringan didapatkan nilai berat jenis limbah bata ringan 2,41, sedangkan nilai kadar air limbah bata ringan didapatkan 2,46%.

3.2. Uji Sifat Fisis Tanah Asli dan Tanah Campuran

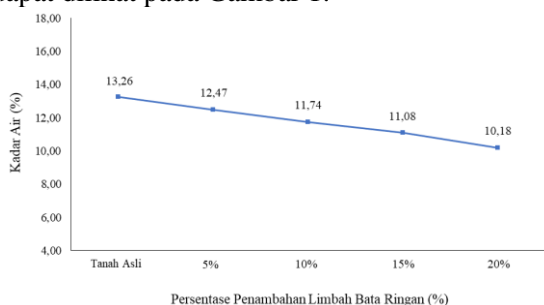
Pengujian sifat fisis tanah asli dan campuran meliputi uji kadar air, *specific gravity*, batas-batas *Atterberg*, dan analisa butiran tanah, ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1
Hasil pengujian sifat fisis tanah asli dan tanah campuran

Jenis Pengujian	Tanah Asli	Penambahan Limbah Bata ringan (%)			
		5%	10%	15%	20%
Kadar Air Kering Udara (%)	13,26	12,47	11,74	11,08	10,18
Berat Jenis	2,71	2,61	2,57	2,50	2,48
Batas Cair/LL (%)	63,26	61,53	59,62	55,94	51,42
Batas Plastis/PL (%)	29,93	32,18	36,09	37,51	39,83
Batas Susut/SL (%)	13,56	14,35	15,97	17,94	24,54
Indeks Plastisitas/PI (%)	33,33	29,35	23,53	18,43	11,59
Liquid Limit Ratio/LLR (%)	0,95	0,92	0,91	0,89	0,88
Lolos Saringan No. 200 (%)	77,80	73,70	68,40	61,60	57,90
Kelompok Indeks/GI	28,19	23,26	17,18	11,37	6,57
Klasifikasi Tanah					
USCS	CH	MH	MH	MH	MH
AASHTO	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5

3.2.1. Uji kadar air kering udara

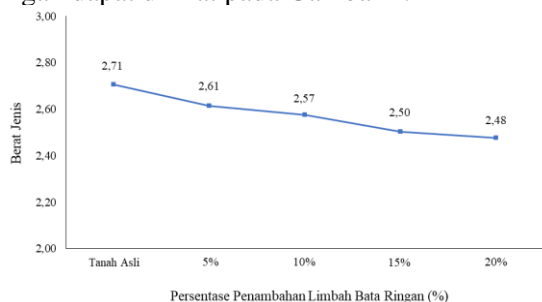
Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa pada sampel tanah asli diperoleh nilai kadar air sebesar 13,26%, kemudian pada tanah campuran limbah bata ringan 20% diperoleh nilai kadar air sebesar 10,18%. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kadar air tanah seiring dengan besarnya persentase campuran limbah bata ringan. Penurunan ini terjadi karena bercampurnya dua material, dimana limbah bata ringan memiliki kadar air lebih rendah dari kadar air tanah asli. Hubungan antara persentase limbah bata ringan dengan nilai kadar air kering udara dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan nilai kadar air kering udara

3.2.2. Uji berat jenis

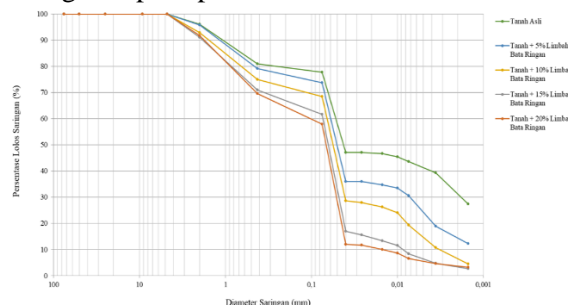
Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa nilai berat jenis tanah asli sebesar 2,71. Berat jenis mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase campuran tanah asli dengan limbah bata ringan. Penurunan berat jenis ini disebabkan bercampurnya dua material dengan nilai berat jenis yang berbeda, dimana berat jenis limbah bata ringan lebih rendah dibandingkan nilai berat jenis pada tanah asli. Hubungan antara berat jenis dengan persentase penambahan limbah bata ringan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan nilai berat jenis

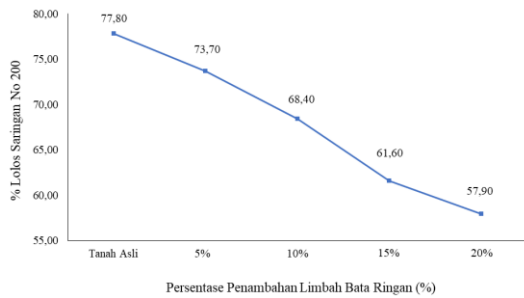
3.2.3. Uji analisa ukuran butiran tanah

Pengujian analisa saringan dan *hydrometer* bertujuan untuk menentukan ukuran butiran tanah asli maupun tanah campuran limbah bata ringan. Pemeriksaan analisa butiran tanah dilakukan dengan dua cara yaitu dengan analisa saringan dan analisa *hydrometer*. Analisa saringan digunakan untuk mengetahui ukuran butiran tanah yang tertahan saringan No. 200, sedangkan analisa *hydrometer* digunakan untuk mengetahui ukuran butiran tanah yang lolos saringan No. 200. Grafik Hubungan antara persentase lolos saringan dengan diameter saringan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara persentase lolos saringan dengan diameter saringan

Hasil pengujian analisa butiran pada tanah asli menunjukkan butiran yang lolos saringan No. 200 sebesar 77,80%. Pada Gambar 3 menunjukkan semakin besar persentase campuran limbah bata ringan maka nilai persentase lolos saringan No. 200 mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi antara tanah dengan campuran limbah bata ringan yang menyebabkan terjadinya penggumpalan akibat proses sementasi sehingga butiran tanah menjadi lebih besar. Meskipun terjadi penurunan lolos saringan No. 200, tanah campuran masih dalam kelompok tanah berbutir halus, karena sampai persentase campuran 20% lolos saringan No. 200 masih di atas 50% yaitu sebesar 57,90%. Hubungan antara persentase lolos saringan No. 200 dengan penambahan limbah bata ringan dapat dilihat pada Gambar 4.



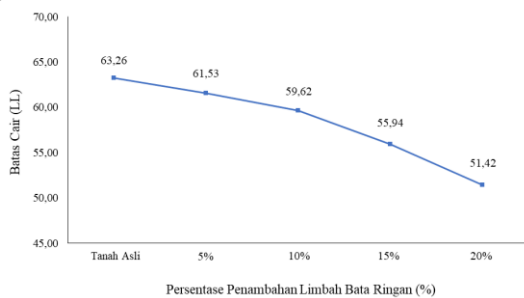
Gambar 4. Grafik hubungan antara persentase lolos saringan No. 200 dengan penambahan campuran limbah bata ringan

3.2.4. Uji batas-batas *Atterberg*

Pengujian batas-batas *Atterberg* bertujuan untuk mengetahui berapa besar perubahan yang terjadi setelah distabilisasi dengan campuran limbah bata ringan yang berbeda persentase. Pengujian batas-batas *Atterberg* meliputi batas cair (LL), batas plastis (PL), batas susut (SL), dan indeks plastisitas (PI).

1). Batas cair

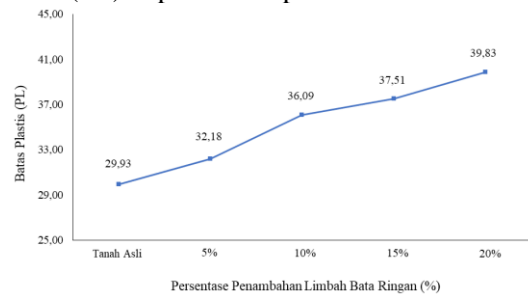
Pengujian batas cair pada tanah asli didapatkan nilai sebesar 63,26%. Pada Tabel 1 menunjukkan semakin besar persentase campuran limbah bata ringan yang digunakan maka nilai batas cair akan semakin turun. Penurunan tersebut terjadi karena reaksi antara tanah dengan limbah bata ringan, terjadinya reaksi menyebabkan sementasi yang mengakibatkan butiran-butiran tanah membesar dan mengurangi gaya tarik menarik antar partikel tanah sehingga nilai kohesi mengalami penurunan dan menyebabkan butiran tanah mudah lepas dari ikatannya. Hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan batas cair (LL) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan nilai batas cair (LL)

2). Batas plastis

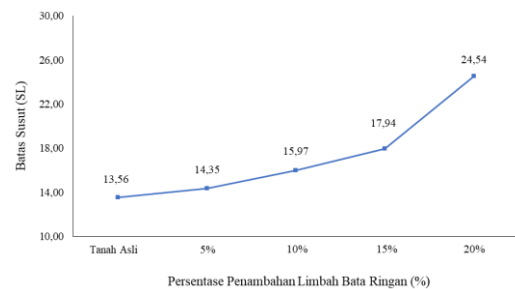
Pengujian batas plastis pada tanah asli didapatkan nilai 29,93%. Berdasarkan Tabel 1 pencampuran tanah dengan limbah bata ringan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai batas plastis. Peningkatan nilai batas plastis terjadi karena penambahan campuran limbah bata ringan menyebabkan sementasi yang mengakibatkan butiran-butiran tanah membesar, membesarnya ukuran butiran tanah menyebabkan terjadinya penurunan nilai kohesi. Penurunan nilai kohesi disebabkan gaya tarik menarik antar butiran tanah berkurang. Hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan batas plastis (PL) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan nilai batas plastis (PL)

3). Batas susut

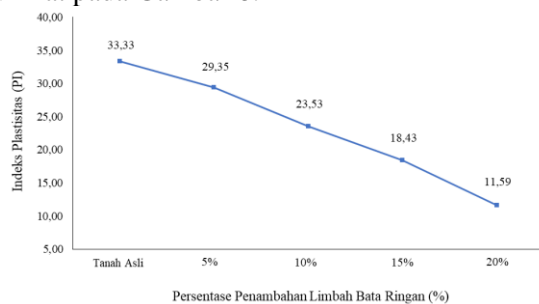
Tabel 1 menunjukan bahwa bertambahnya persentase campuran limbah bata ringan menyebabkan kenaikan nilai batas susut. Hal ini disebabkan pencampuran tanah asli dengan limbah bata ringan menyebabkan butiran tanah membesar, dengan semakin besar butiran tanah maka menyebabkan butiran tanah tidak mudah terpengaruh oleh perubahan kadar air sehingga tidak mudah juga mengalami perubahan volume. Hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan batas susut (SL) dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan nilai batas susut (SL)

4). Indeks plastisitas

Nilai indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah, besar kecilnya nilai indeks plastisitas tergantung pada nilai LL dan PL. Nilai indeks plastisitas terbesar terjadi pada tanah asli dengan nilai 33,33%, berdasarkan Tabel indeks plastisitas tanah tersebut termasuk lempung kohesif dengan plastisitas tinggi. Pada Tabel 1 menunjukkan pencampuran tanah asli dengan limbah bata ringan menyebabkan butiran tanah membesar sehingga nilai indeks plastisitas mengalami penurunan dan sifat tanah menjadi lempung berlanau dengan plastisitas sedang. Hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan indeks plastisitas (PI) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hubungan antara persentase penambahan limbah bata ringan dengan nilai indeks plastisitas (PI)

3.2.5. Klasifikasi tanah

Terdapat dua sistem klasifikasi yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah, yaitu *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) (Hardiyatmo, 2002).

1). Sistem klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*)

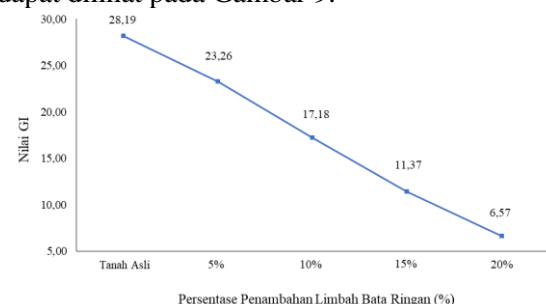
Pada sistem USCS, tanah asli masuk dalam kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Hal tersebut dikarenakan persentase lolos saringan No. 200 > 50%, LL > 50%, PI pada diagram menunjukkan di atas garis A. Sedangkan tanah campuran limbah bata ringan masuk dalam kelompok MH yaitu tanah lanau anorganik dengan plastisitas tinggi. Hal tersebut dikarenakan persentase lolos saringan No. 200 > 50%, LL > 50%, PI pada diagram menunjukkan di bawah garis A maka

tanah diklasifikasikan dengan dua simbol (MH - OH). Agar didapatkan tanah dalam kelompok MH atau kelompok OH maka digunakan LLR (*Liquid Limit Ratio*) yaitu perbandingan nilai LL kering oven dengan LL kering udara. Pada tanah campuran limbah bata ringan 5%, 10%, 15%, dan 20% didapat nilai LLR > 0,75, maka berdasarkan sistem klasifikasi USCS menggunakan LLR tanah campuran termasuk tanah lanau anorganik dengan plastisitas tinggi (MH).

2). Sistem klasifikasi tanah menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

Pada sistem AASHTO, klasifikasi tanah diperoleh berdasarkan batas cair, indeks plastisitas, persentase lolos saringan No. 200 dan nilai kelompok indeks (GI).

Nilai GI (kelompok indeks) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya dengan sistem AASHTO. Nilai GI dipengaruhi oleh nilai batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, dan persentase lolos saringan No. 200. Berdasarkan Tabel 1 nilai GI cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase campuran limbah bata ringan yang menyebabkan butiran tanah membesar sehingga kualitas tanah menjadi lebih baik. Hubungan antara indeks kelompok (GI) dengan persentase campuran limbah bata ringan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara indeks kelompok (GI) dengan persentase campuran limbah bata ringan

Dari hasil yang telah diperoleh maka tanah asli masuk dalam klasifikasi kelompok A-7-6 dengan tipe tanah berlempung sedang sampai buruk dengan kriteria penilaian umum sebagai tanah dasar. Hal tersebut dikarenakan PL < 30%.

Tanah campuran limbah bata ringan 5%, 10%, 15%, dan 20% masuk dalam klasifikasi kelompok A-7-5 dengan tipe tanah berlempung sedang sampai buruk dengan kriteria penilaian umum sebagai tanah dasar. Hal tersebut dikarenakan dan $PL > 30\%$.

3.3. Uji Sifat Mekanis Tanah Asli dan Tanah Campuran

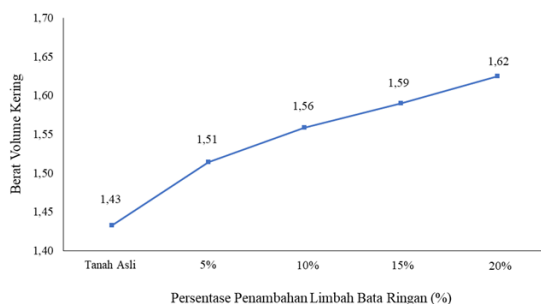
Pengujian sifat mekanis yang dilakukan diantaranya meliputi uji Pemadatan (*Standard Proctor*) dan uji konsolidasi.

3.3.1. Uji Pemadatan (*standard proctor*)

Uji pemadatan tanah menghasilkan nilai kadar air optimum dan berat isi maksimum yang terlihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 dihasilkan grafik Hubungan antara berat volume kering maksimum dengan persentase penambahan campuran limbah bata ringan Gambar 10.

Tabel 2
Hasil uji *standard proctor* pada tanah asli dan campuran

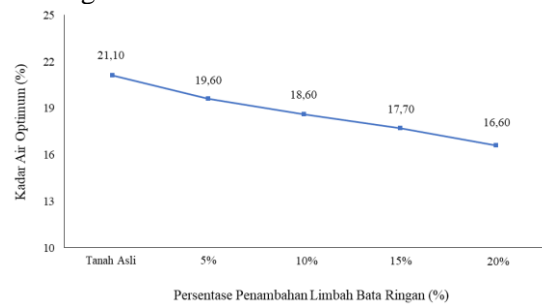
Tanah dan variasi campuran	ω_{opt} (%)	$\gamma_{d_{maks}}$ (gr/cm ³)
Tanah asli	21,10	1,43
Tanah + 5% limbah bata ringan	19,60	1,51
Tanah + 10% limbah bata ringan	18,60	1,56
Tanah + 15% limbah bata ringan	17,70	1,59
Tanah + 20% limbah bata ringan	16,60	1,62



Gambar 10. Grafik hubungan antara berat volume kering dengan persentase penambahan limbah bata ringan

Berdasarkan Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa pencampuran tanah asli dengan campuran limbah bata ringan dapat menghasilkan peningkatan berat volume kering maksimum. Nilai berat volume kering tanah asli yang awalnya sebesar 1,43 gr/cm³ meningkat

menjadi 1,62 gr/cm³ setelah diberi campuran limbah bata ringan 20%. Kenaikan berat volume kering disebabkan butiran tanah menjadi lebih besar akibat proses sementasi yang menyebabkan tanah lebih padat dan keras. Selain itu, terdapat juga grafik Hubungan antara kadar air optimum dengan persentase penambahan campuran limbah bata ringan Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan antara kadar air optimum dengan persentase penambahan limbah bata ringan

Pada Gambar 11 diketahui bahwa nilai kadar air optimum pada tanah asli sebesar 21,10%, kemudian mengalami penurunan pada penambahan campuran limbah bata ringan 5% menjadi 19,60%. Seiring dengan penambahan campuran limbah bata ringan maka nilai kadar air optimum akan mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan oleh pengecilan rongga sehingga menyebabkan berkurangnya pori-pori tanah yang dapat diisi oleh air akibat semakin padatnya tanah.

Pada penelitian ini kadar air optimum yang didapatkan dari pemadatan *Standard Proctor* selanjutnya digunakan untuk acuan pembuatan benda uji pada pengujian konsolidasi.

3.3.1. Uji konsolidasi

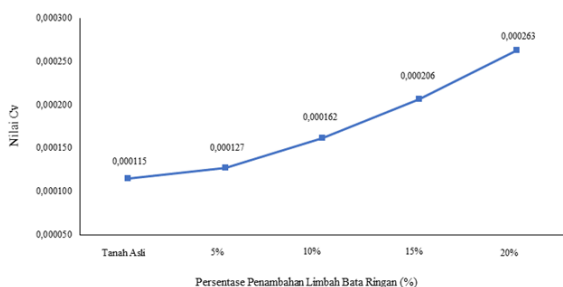
Pengujian konsolidasi memiliki tujuan untuk menentukan *Coefficient Consolidation* (C_v), *Compression Index* (C_c), dan *Settlement of Consolidation* (S_c). Pengujian konsolidasi dilakukan pada sampel tanah asli dan tanah dengan campuran limbah bata ringan. Hasil pengujian konsolidasi dan tanah campuran limbah bata ringan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3
Hasil pengujian konsolidasi

Tanah dan variasi campuran	Cv (cm ² /dt)	Cc	Sc (cm)
Tanah asli	0,000115	0,1585	0,0352
Tanah + 5% limbah bata ringan	0,000127	0,1412	0,0341
Tanah + 10% limbah bata ringan	0,000162	0,1133	0,0284
Tanah + 15% limbah bata ringan	0,000206	0,0902	0,0254
Tanah + 20% limbah bata ringan	0,000263	0,0608	0,0193

1). **Coefficient Consolidation (Cv)**

Coefficient consolidation (Cv) digunakan untuk menghitung kecepatan penurunan konsolidasi yang terjadi. Berdasarkan Tabel 1 tanah asli didapatkan nilai Cv sebesar 0.000115 cm²/dt. Pada tanah campuran nilai Cv terbesar didapatkan pada tanah campuran limbah bata ringan 20% dengan nilai sebesar 0.000263 cm²/dt. Nilai Cv terkecil didapatkan pada tanah campuran limbah bata ringan 5% yaitu sebesar 0.000127 cm²/dt. Seiring bertambahnya persentase limbah bata ringan nilai Cv cenderung mengalami kenaikan. Hal ini terjadi karena Cv berbanding terbalik dengan waktu terjadinya konsolidasi, sehingga kecepatan waktu konsolidasi yang terjadi akan semakin cepat. Hubungan antara nilai *Coefficient Consolidation (Cv)* dengan persentase penambahan limbah bata ringan dapat dilihat pada Gambar 12.

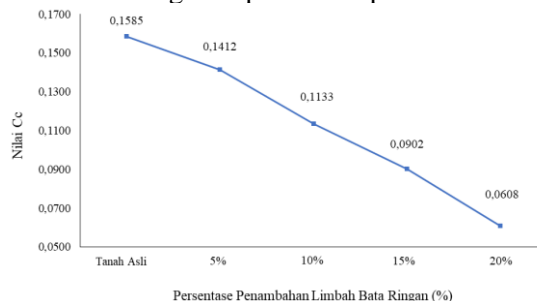


Gambar 12. Grafik hubungan antara nilai Coefficient Consolidation (Cv) dengan persentase penambahan limbah bata ringan

2). **Compression Index (Cc)**

Nilai Cc pada tanah asli diperoleh sebesar 0.1585, sedangkan pada tanah campuran nilai Cc terbesar pada tanah campuran limbah bata ringan 5% dengan nilai sebesar 0.1412. Nilai Cc terkecil didapatkan pada tanah campuran limbah bata ringan 20% yaitu sebesar 0.0608. Seiring bertambahnya campuran limbah bata ringan pada tanah asli nilai Cc mengalami penurunan. Hal

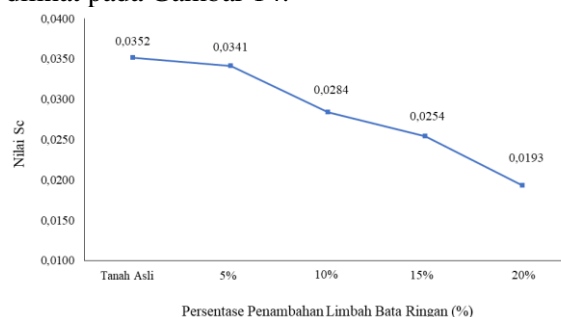
tersebut dapat terjadi karena sementasi yang menyebabkan butiran tanah membesar sehingga tanah menjadi lebih padat dan nilai angka pori mengecil. Hubungan antara nilai *Compression Index (Cc)* dengan persentase penambahan limbah bata ringan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik hubungan antara nilai Compression Index (Cc) dengan persentase penambahan limbah bata ringan

3). **Settlement of Consolidation (Sc)**

Berdasarkan pengujian konsolidasi nilai Sc pada tanah asli yaitu sebesar 0.0352 cm dan nilai Sc terkecil yaitu didapatkan pada tanah campuran limbah bata ringan 20% sebesar 0.0193 cm. Nilai Sc mengalami penurunan seiring dengan penambahan persentase limbah bata ringan. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai Sc dan Cc berbanding lurus. Apabila nilai Cc mengalami penurunan maka nilai Sc juga akan mengalami penurunan. Hubungan antara nilai (Sc) dengan persentase penambahan limbah bata ringan dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik hubungan antara nilai (Sc) dengan persentase penambahan limbah bata ringan

4. **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis, semakin besar persentase campuran limbah

- bata ringan maka nilai kadar air, berat jenis, batas cair, indeks plastisitas, dan lolos saringan No. 200 mengalami penurunan dari nilai tanah asli.
2. Hasil pengujian batas susut dan batas plastis mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya persentase limbah bata ringan.
 3. Hasil klasifikasi menurut AASHTO tanah asli masuk dalam kelompok A-7-6 dan tanah campuran limbah bata ringan A-7-5, yaitu tipe tanah berlempung sedang sampai buruk dengan kriteria penilaian umum sebagai tanah dasar.
 4. Hasil klasifikasi tanah menurut USCS pada tanah asli termasuk kelompok CH yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, sedangkan tanah campuran limbah bata ringan termasuk kelompok MH yaitu tanah lanau anorganik dengan plastisitas tinggi.
 5. Hasil pengujian pemadatan tanah menggunakan *Standard Proctor* pada tanah asli dan tanah campuran limbah bata ringan menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan campuran limbah bata ringan nilai berat volume kering maksimum mengalami kenaikan. Sedangkan nilai kadar air optimum mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase limbah bata ringan.
 6. Berdasarkan dari hasil uji konsolidasi menghasilkan nilai *Coefficient of Consolidation (Cv)*, *Compression Index (Cc)*, dan *Settlement of Consolidation (Sc)* yang menunjukkan bahwa penambahan limbah bata ringan pada tanah asli menghasilkan konsolidasi yang semakin cepat dan kepadatan tanah meningkat sehingga penurunan tanah semakin kecil.
- DAFTAR PUSTAKA**
- ASTM 618-19, 2010. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Annu. B. ASTM Stand. 3–6. <https://doi.org/10.1520/C0618-19.2>
- ASTM D1140, 00, 2007. Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer than No. 200 (75- μm) i, 2–5.
- ASTM D2216, 98, 1998. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM Int. 552, 1–5.
- ASTM D2435, 04, 2016. Standard method of test for one-dimensional consolidation properties of soils. Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. 1–21.
- ASTM D422, 63, 2007. ASTM D422-63: Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils. Astm D422-63, 1–8.
- ASTM D427, 98, 1998. BATAS SUSUT ASTM D427 - 98.pdf.
- ASTM D4318, 05, 2005. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. Report 04, 1–14.
- ASTM D698, 07, 2003. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using. ASTM Stand. Guid. 3, 1–10. <https://doi.org/10.1520/D0698-07E01.1>
- ASTM D854, 02, 2000. D854 - Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. Astm D854 2458000, 1–7.
- Darwis, U.M.M., 2018. DASAR-DASAR MEKANIKA TANAH.
- Gustin, K.E.K.A., 2017. Pengaruh Penambahan Limbah Bata Ringan Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Wiyung Surabaya Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR). Reayasa Tek. Sipil 3.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. Mekanika Tanah 1, edisi ke-2. Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 1992. Mekanika Tanah II. Gajah Mada Univ. Press 91, 1–398.
- Harnaeni, S.R., 2007. Review of Cbr Value of Stabilized-Clay Using Limestone 7, 163–169.
- Nugroho, S.A., 2018. Pemanfaatan Abu Sekam Padi dan Gypsum Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah di Bayat Klaten Terhadap Penurunan Konsolidasi.
- Prahestam, S., 2021. Pemanfaatan limbah bata ringan (hebel) sebagai bahan stabilisasi tanah lempung bayat klaten terhadap nilai kuat geser tanah.