

## PEMANFAATAN LIMBAH BATU PARAS UNTUK MEMPERBAIKI KUAT GESER TANAH LEMPUNG BAYAT KLATEN

Qunik Wiqoyah<sup>1</sup>, Alvian Bagus Putra Aji<sup>1</sup>, Anto Budi.L<sup>1</sup>, Agus Susanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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

Berdasarkan penelitian pendahuluan yang dilakukan, tanah dari Desa Talang, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, merupakan tanah lempung dengan plastisitas tinggi dikarenakan nilai PI > 17 % yaitu sebesar 31,507%, sehingga perlu adanya perbaikan sifat-sifat fisis dan mekanis tanah agar tanah tersebut mampu menahan beban struktur yang ada di atasnya. Perbaikan tanah yang dilakukan pada penelitian ini adalah stabilisasi kimia menggunakan bahan stabilisasi limbah batu paras. Penambahan campuran limbah batu paras dengan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15%, bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah. Pencampuran tanah dengan limbah batu paras dapat memperbaiki tanah lempung, ditandai semakin baiknya sifat fisis tanah yaitu menurunnya nilai kadar air tanah, menurunnya nilai batas cair, menurunnya butiran yang lolos no 200, menurunnya nilai plastisitas indeks, naiknya nilai batas plastis dan naiknya nilai batas susut. Selain itu pencampuran limbah batu paras juga dapat memperbaiki sifat mekanis tanah yaitu meningkatnya nilai kepadatan tanah, menurunnya nilai kohesi tanah dan meningkatnya nilai sudut gesek dalam tanah. Nilai kohesi tanah asli 0,271(kg/cm<sup>2</sup>) turun menjadi 0,224(kg/cm<sup>2</sup>) pada pencampuran limbah batu paras 15%, sedangkan nilai sudut gesek dalam tanah mengalami peningkatan yaitu 13,801° pada tanah asli menjadi 30,818° pada campuran 15% limbah batu paras. Meningkatnya nilai sudut gesek dalam tanah berakibat pada naiknya nilai kuat geser tanah.

**Kata kunci:** batu paras, stabilisasi, sifat fisis, sifat mekanis, tanah lempung.

### PENDAHULUAN

Tanah merupakan material yang mempunyai butiran – butiran mineral, bahan organik, endapan yang retalif loose terletak diatas batuan dasar *bedrock* (Hardiyatmo, 2012). Tanah merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam dunia konstruksi khususnya Teknik sipil.

Berdasarkan penelitian pendahuluan tanah dari desa Talang, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten merupakan tanah lempung yang mempunyai nilai plastisitas indeks (PI) sebesar 31,52% maka dari itu tanah termasuk plastisitas tinggi karena nilai PI > 17% (Atterberg, 1911). Berdasarkan hasil klasifikasi yang dilakukan, tanah Talang merupakan tanah lempung dengan plastisitas tinggi (CH). Tanah lempung dengan plastisitas tinggi memiliki sifat mudah berubah volumenya, akan mengembang dalam kondisi basah dan akan menyusut bila dalam kondisi kering. Sifat inilah yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi-konstruksi bangunan di atasnya. Tanah dengan sifat seperti ini diperlukan perbaikan, agar memenuhi kriteria yang disyaratkan dan tanah tersebut mampu menahan struktur di atasnya.

Oleh karena itu berdasarkan hasil uji pendahuluan tersebut, maka akan dilakukan perbaikan pada tanah lempung Desa Talang, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten dengan memanfaatkan limbah batu paras yang selama ini kurang dimanfaatkan. Perbaikan yang dilakukan dengan mencampur tanah dengan limbah batu paras (stabilisasi kimiawi) dengan presentase limbah batu paras 0%, 5%, 10% dan 15 % dari berat sampel tanah. Pencampuran ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis (kuat geser) tanah lempung setelah distabilisasi dengan limbah batu paras tersebut.

Usaha-usaha untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah lempung telah banyak dilakukan dengan cara seperti: cara fisis, mekanis dan kimiawi. Menurut (Suryolelono, 1999) cara fisis dilakukan dengan mencampur tanah lempung dengan tanah bergradasi atau menambah serat *fiber*, cara mekanis yaitu memberi perkuatan bahan sintesis yang terbuat dari bahan polimerisasi minyak bumi pada tanah lempung, dan cara kimiawi dengan menambah semen, kapur, abu terbang dan abu sekam padi serta bahan kimia lainnya. Penambahan bahan kimia tertentu bukan saja dapat mengurangi sifat pengembangan dan sifat plastisitas, tetapi juga dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi besarnya penurunan.

Stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan kimia adalah untuk merubah interaksi air dengan tanah terhadap reaksi permukaan. Oleh karena itu aktivitas permukaan dari partikel tanah, muatan kutub dan penyerapan serta daerah penyerapan air memegang peranan penting. Sama pentingnya adalah penggabungan luas partikel

sehingga dapat merubah menjadi suatu kesatuan untuk mencapai keseimbangan gaya tarik antar butir. (Kedzi, 1979).

Batu paras adalah termasuk jenis batuan lempung vulkanik atau lebih khusus lagi termasuk dalam jenis *pyroclastik rock* yang kandungan mineralnya didominasi oleh mineral *glass (non-kristalin)*. Unsur yang mendominasi mineral *glass* ini adalah senyawa  $\text{SiO}_2$ . Hasil penelitian Hendrawan, (2005), di Laboratorium Analitik dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorbition Spectrometry*) didapatkan unsur-unsur utama pada batu paras adalah  $\text{SiO}_2$  (83,87%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,50%),  $\text{CaO}$  (10,65%) dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,17%). Berdasarkan jumlah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  maka batu paras bisa digolongkan sebagai *pozzolan* alami (N). (ASTM C 618-92a)

Limbah batu paras yang digunakan sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung Desa Talang ini, berasal dari limbah produksi batu paras dinding dan lantai daerah Semin, Kabupaten Gunung Kidul (batu paras Palimanan). Limbah – limbah batu paras ini banyak ditemukan di tempat produksi yang selama ini kurang dimanfaatkan.

Kuat geser tanah adalah kekuatan tanah untuk memikul beban-beban atau gaya yang dapat menyebabkan kelongsoran dan pergeseran tanah (Bowles,1984). Perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan, itu juga merupakan kuat geser tanah. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser, serta gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya (Hardiyatmo, 2012). Pada pengujian ini dilakukan uji geser langsung untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menahan gaya geser, baik itu tanah asli maupun tanah campuran limbah batu paras. Besarnya nilai kuat geser tanah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Pada saat pengujian kuat geser, tegangan normal dan tegangan geser dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = N/A \quad (2)$$

$$\tau = P/A \quad (3)$$

## BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Tanah lempung diambil dari Desa Talang, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten dan limbah batu paras diambil di daerah Semin, Gunung Kidul. Uji sifat fisis dan mekanis dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Penelitian ini terdiri 4 tahapan. Tahap awal penelitian dilakukan dengan studi literatur dilanjutkan pengambilan sampel tanah, lalu dikeringkan (kering udara) dan disaring lolos saringan No.4 serta pengambilan limbah batu paras dan disaring lolos saringan No.200. Selanjutnya dilakukan uji sifat fisis limbah batu paras berupa berat jenis dan kadar air. Langkah berikutnya adalah pembuatan benda uji untuk pengujian sifat fisis tanah asli dan tanah campuran limbah batu paras dengan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat sampel tanah.

Tahap kedua dilakukan uji sifat fisis tanah asli yaitu meliputi, uji kadar air (*moisture content*), uji berat jenis (*specific gravity*), uji batas-batas *Atterberg (liquid limit, plastic limit, shrinkage limit)*, dan analisa ukuran butiran. Selanjutnya, pembuatan benda uji *Standard Proctor* tanah asli dan campuran limbah batu paras dengan pemeraman selama 24 jam, setelah itu dilakukan uji *Standard Proctor* untuk mendapatkan kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Nilai kadar air optimum tersebut kemudian digunakan sebagai dasar penambahan air pada pembuatan benda uji *Direct Shear Test (DST)*.

Tahap ketiga pencampuran dan pemeraman 24 jam tanah lempung dan limbah batu paras dengan penambahan air berdasarkan kadar air optimum, selanjutnya dilakukan uji DST.

Tahap terakhir yaitu tahap analisa data dan pembahasan dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya untuk diambil suatu kesimpulan serta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Fisis (tanah asli dan limbah batu paras)

Hasil Pengujian limbah batu paras didapatkan nilai kadar air 1,18% dan nilai berat jenis sebesar 2,778 gram.

#### Uji Fisis Tanah Asli

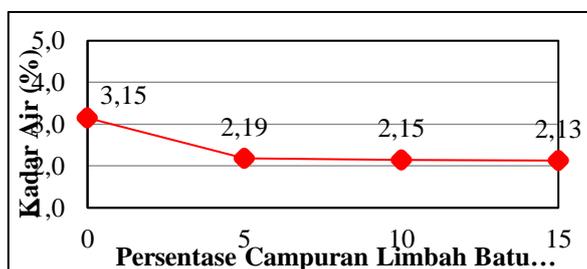
Tanah lempung yang digunakan dari Desa Talang, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten. Kondisi tanah terganggu (*disturbed*) lalu dikondisikan kering udara. Uji fisis tanah asli meliputi uji kadar air, uji berat jenis, uji batas-batas *Atterberg*, dan uji analisa ukuran butiran tanah. Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada Tabel. 1

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisis Tanah Asli dan Tanah Campur Limbah Batu Paras

Jenis Pengujian	Tanah asli	Limbah batu paras		
		Persentase campuran		
		5%	10%	15%
Kadar air (%)	3,15	2,19	2,15	2,13
Berat Jenis (%)	2,703	2,705	2,711	2,74
Batas cair (%)	57,378	53,422	48,129	44,947
Batas plastis (%)	25,87	26,798	27,151	28,679
Batas susut (%)	13,441	14,23	15,228	15,862
Indeks plastisitas (%)	31,507	26,624	20,978	16,268
Lolosaringan No 200	67	66	55	48
Grup indeks	30	27	19	15
Klasifikasi tanah				
USCS	CH	CH	CL	SC
AASHTO	A-7-6	A-7-6	A-7-6	A-7-6

### Kadar Air

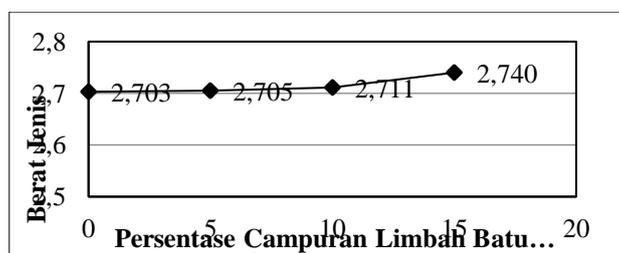
Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kadar air tanah campuran limbah batu paras mengalami penurunan seiring dengan penambahan persentase limbah batu paras. Pencampuran dua material yang memiliki kadar yang berbeda, dimana kadar air limbah batu paras lebih kecil dari pada tanah asli, ini salah satu faktor yang menyebabkan turunnya nilai kadar air tanah campuran. Hubungan antara persentase campuran limbah batu paras dengan nilai kadar air dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara persentase campuran limbah batu paras dengan nilai kadar air

### Berat jenis (Specific Gravity)

Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis tanah asli diperoleh nilai berat jenis tanah sebesar 2,703 (tanah termasuk lempung tak organik), sedangkan berat jenis limbah batu paras diperoleh nilai sebesar 2,75. Nilai berat jenis terendah pada penambahan limbah batu paras 5% sebesar 2,705, nilai berat jenis tertinggi pada penambahan limbah batu paras 15% sebesar 2,740. Kenaikan nilai berat jenis disebabkan karena berat jenis limbah batu paras lebih besar daripada berat jenis tanah asli, sehingga semakin banyak kandungan limbah batu paras, maka semakin besar pula nilai berat jenis. Hubungan antara dengan nilai *specific gravity* dapat dilihat pada Gambar 2.

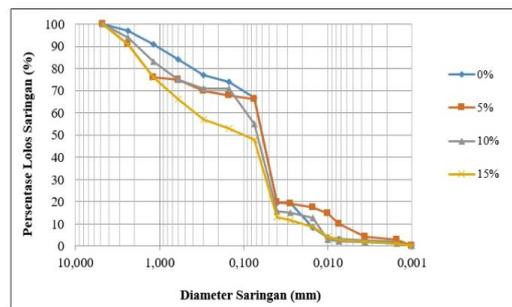


Gambar 2. Grafik Hubungan antara dengan nilai berat jenis persentase campuran limbah batu paras

### Analisa Ukuran Butiran

Hasil pengujian analisa ukuran butiran pada tanah asli, didapatkan lolos saringan No.200 menunjukkan nilai 67% berarti tanah asli termasuk tanah berbutir halus. Pencampuran tanah dengan limbah batu paras menyebabkan penurunan butiran yang lolos No 200, hal ini menunjukkan terjadinya reaksi antara tanah dengan limbah batu paras menyebabkan terjadinya sementasi atau penggumpalan sehingga butiran-butiran tanah menjadi lebih besar sehingga tanah yang lolos saringan No.200 lebih sedikit dan tanah yang tertahan saringan akan lebih banyak. Penurunan terbesar pada persentase limbah batu paras 15% sebesar 48%, sehingga tanah asli yang tadinya

berupa tanah berbutir halus berubah menjadi tanah berbutir kasar. Hubungan antara persentase lolos saringan dengan diameter saringan dapat dilihat pada Gambar 3.

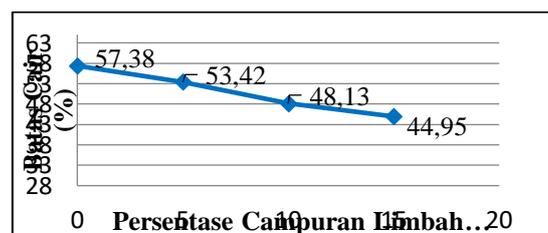


Gambar 3. Grafik Hubungan Persentase Lolos Saringan dengan Diameter Saringan

**Batas-batas Atterberg**

**a. Batas Cair**

Pencampuran tanah dengan limbah batu paras, dapat memperbaiki nilai batas cair, karena seiring bertambahnya limbah batu paras menunjukkan adanya penurunan nilai batas cair. Hal ini menunjukkan bahwa butiran tanah menjadi lebih besar sebagaimana yang dijelaskan pada uji analisa ukuran butiran. Besarnya ukuran butiran tanah menyebabkan berkurangnya nilai kohesi. Pencampuran tanah dengan limbah batu paras menimbulkan muatan positif (*kation*) dalam air pori. Penambahan kation ini memungkinkan terjadinya proses tarik menarik antara *an-ion* dari partikel tanah dengan kation dari partikel limbah batu paras serta kation dari partikel limbah batu paras dengan *anion* dari partikel air (proses pertukaran *ion/cation exchange*). Proses ini mengganggu proses tarik menarik antara *an-ion* dari partikel tanah dengan *kation* dari partikel air serta proses tarik menarik antara *an-ion* dan *kation* dari partikel air, sehingga partikel tanah kehilangan daya tarik antar partikelnya. Berkurangnya daya tarik antar partikel tanah dapat menurunkan kohesi tanah. Penurunan kohesi ini menyebabkan mudah terlepasnya partikel tanah dari ikatannya. Hubungan antar nilai batas cair dengan persentase campuran limbah batu paras dapat dilihat pada Gambar 4.

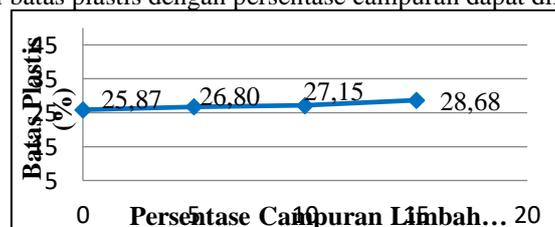


Gambar 4. Grafik Hubungan antar nilai batas cair dengan persentase campuran limbah batu paras

**b. Batas Plastis**

Tanah asli memiliki batas plastis sebesar 25,87%, setelah penambahan limbah batu paras mengalami peningkatan. Kenaikan batas plastis ini disebabkan karena terjadinya penurunan kohesi tanah sebagaimana dibahas pada batas cair.

Hubungan antara nilai batas plastis dengan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 5.



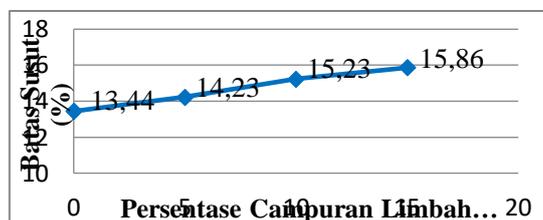
Gambar 5. Grafik hubungan antara nilai batas plastis dengan persentase campuran limbah batu paras

**c. Batas Susut**

Nilai batas susut pada tanah asli sebesar 13,44%, setelah penambahan limbah batu paras nilai batas susut mengalami peningkatan. Pada persentase 5% didapatkan hasil terendah sebesar 14,23%, kemudian untuk persentase penambahan 15% diperoleh nilai batas susut (SL) tertinggi sebesar 15,89%. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi antara tanah dengan limbah batu paras menyebabkan terjadinya sementasi atau penggumpalan

sehingga butiran-butiran tanah menjadi lebih besar. Tanah dengan butiran yang lebih besar mempunyai permukaan spesifik lebih kecil dibanding tanah berbutir kecil. Permukaan spesifik yang kecil akan mengurangi kepekaan tanah terhadap pengaruh air. Bertambahnya persentase limbah batu paras yang ditambahkan akan menyebabkan mengecilnya luas permukaan spesifik tanah yang berakibat tanah sulit berubah volumenya akibat pengaruh air walaupun dengan kadar air yang tinggi.

Nilai batas susut dapat digunakan untuk mengidentifikasi derajat *expansivitas* tanah. Semakin besar nilai batas susut, maka semakin kecil derajat *expansivitasnya* (Altemeyer, 1955 dalam Chen, 1975). Grafik hubungan antara nilai batas susut dengan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 6.

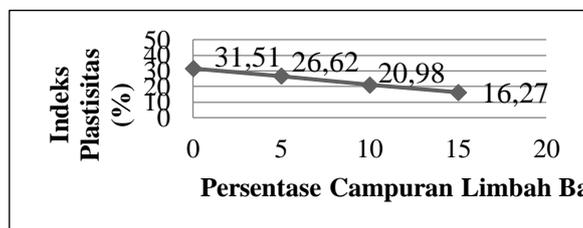


Gambar 6. Grafik hubungan antara nilai batas susut dengan persentase campuran limbah batu paras

**d. Indeks Plastisitas**

Besarnya nilai PI sangat dipengaruhi oleh nilai LL dan PL. Hasil perhitungan nilai PI tanah asli sebesar 31,52% (plastisitas tinggi). Penambahan persentase limbah batu paras dapat menyebabkan menurunkan nilai batas cair (LL) dan menaikkan batas plastis (PL), maka indeks plastisitasnya akan turun. Penurunan nilai PI terendah pada penambahan campuran limbah batu paras 15% sebesar 16,268%. Berarti dengan penambahan limbah batu paras 15%, tanah memiliki nilai Plastisitas yang sedang. (Atterberg, 1911).

Hubungan antara nilai indeks plastisitas dengan persentase campuran dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara nilai indeks plastisitas dengan persentase campuran limbah batu paras

**e. Klasifikasi Tanah**

Penentuan klasifikasi tanah dilakukan untuk mengetahui jenis tanah campuran limbah batu paras. Penentuan klasifikasi ini didasarkan pada hasil pengujian sifat fisis yang telah dilakukan. Tanah asli dan campuran diklasifikasikan dengan menggunakan metode *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* dan *Unified Soil Classification System (USCS)*.

Berdasarkan data-data sifat fisis, maka menurut klasifikasi metode AASHTO, tanah asli termasuk kedalam kelompok A-7-6 yaitu tanah berlempung dengan penilain umum sebagai tanah dasar sedang sampai buruk. Pencampuran tanah dengan limbah batu paras sampai 15% tidak merubah klasifikasi tanah.

Berdasarkan sistem klasifikasi USCS tanah asli merupakan tanah CH yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi. Tanah mulai mengalami perubahan klasifikasi ketika pencampuran 10% limbah batu paras, tanah berubah klasifikasinya menjadi CL yaitu tanah lempung dengan plastisitas rendah, sedangkan tanah dengan campuran limbah batu paras 15% masuk dalam spesifikasi SC merupakan jenis pasir berlempung campuran pasir-lempung.

**Uji Sifat Mekanis Tanah**

**Uji pepadatan Standard Proctor**

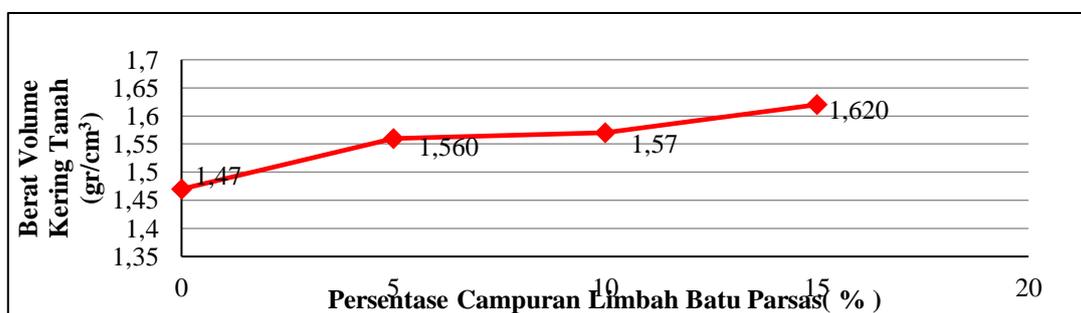
Hasil pepadatan *Standard Proctor* terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji pepadatan *Standard Proctor*

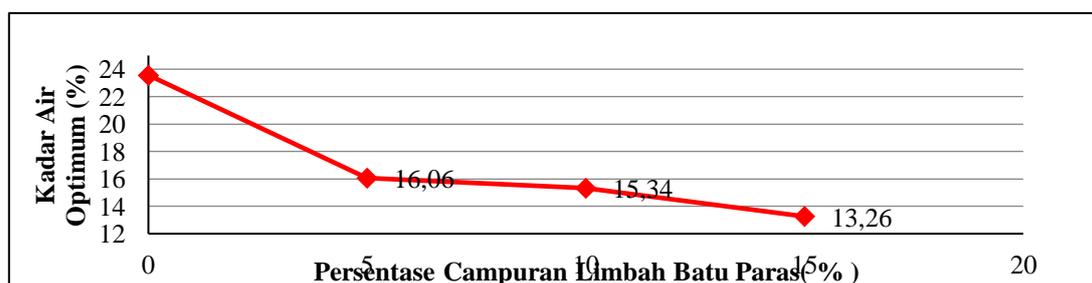
Jenis Pengujian	Tanah Asli	Limbah Batu Paras Lolos No.200		
		Presentase		
		5%	10%	15%
$\gamma_d$ maks. (gr/cm <sup>3</sup> )	1,37	1,42	1,49	1,50
$\omega$ optimum (%)	25,0	20,0	19,7	18,9

Pengujian *Standard Proctor* bertujuan untuk menentukan berat isi kering maksimum dan kadar air optimum. Kadar air optimum yang didapat digunakan sebagai panduan untuk penambahan air padapembuatan benda uji untuk pengujian *Direct Shear Test* (DST). Hasil pengujian *Standard Proctor* pada tanah asli didapatkan nilai kadar air optimum sebesar 25%, sedangkan pada pencampuran limbah batu paras persentase 5% didapatkan kadar air optimum tertinggi sebesar 20% dan pada persentase 15% kadar air optimum terendah sebesar 18,9%. Semakin tinggi presentase pencampuran limbah batu paras maka didapatkan nilai kadar air optimum yang semakin turun.

Hasil pengujian *Standard Proctor* pada tanah asli didapatkan nilai berat volume kering maksimum sebesar 1,370 gr/cm<sup>3</sup>, kemudian mengalami peningkatan setelah dilakukan pencampuran limbah batu paras. Nilai berat volume kering maksimum sampai pada pencampuran 15 % limbah batu paras sebesar 1,50 gr/cm<sup>3</sup>. Meningkatnya nilai berat volume kering maksimum dikarenakan, terjadinya reaksi antara tanah dengan limbah batu paras menyebabkan terjadinya sementasi atau penggumpalan sehingga butiran-butiran tanah menjadi lebih besar. Besarnya butiran tanah ini akan meningkatkan berat tanah. Selain itu penyebab kenaikan berat volume kering maksimum juga disebabkan karena naiknya nilai berat jenis tanah, Hubungan berat isi kering maksimum dengan kadar air optimum dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Grafik hubungan antara berat volume kering maksimum dengan presentase limbah batu paras



Gambar 9. Grafik hubungan antara kadar air optimum dengan presentase limbah batu paras

**Uji Direct Shear Test (DST)**

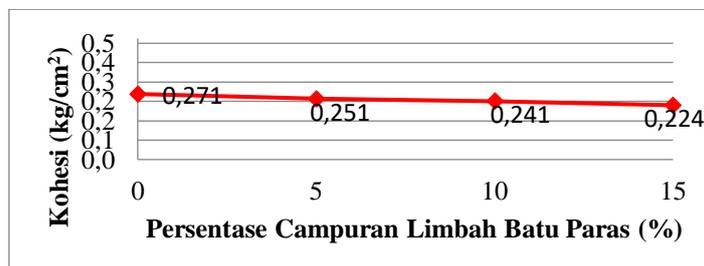
Pengujian kuat geser langsung (DST) dilakukan pada sampel tanah dengan persentase penambahan limbah batu paras sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai parameter kuat geser yaitu nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ), serta nilai kuat geser tanah. Hasil pengujian DST dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji DST tanah asli dan campuran limbah batu paras

No	Pengujian(Direct Shear Test)	Tanah Asli	Tanah Campuran Limbah Batu Paras		
			Lolos Saringan No 4		
			5%	10%	15%
1	Kohesi (kg/cm <sup>2</sup> )	0,271	0,251	0,241	0,224

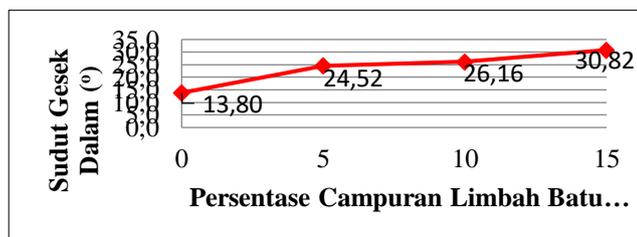
2	Sudut gesek dalam ( $\phi$ )	13,801	24,522	26,164	30,818
---	------------------------------	--------	--------	--------	--------

Hasil uji DST menunjukkan bahwa nilai kohesi ( $c$ ) mengalami penurunan dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) mengalami peningkatan seiring penambahan presentase limbah batu paras, sebagaimana yang tercantum dalam Tabel 3. Menurunnya nilai kohesi pada pengujian DST ini menunjukkan bahwa tanah memiliki ukuran butiran yang lebih besar sebagaimana dijelaskan pada pembahasan hasil uji batas cair dan batas plastis . Hubungan antara nilai kohesi dengan persentase penambahan limbah batu paras dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan antara nilai kohesi dengan persentase limbah batu paras.

Peningkatan sudut gesek dalam tanah ( $\phi$ ), disebabkan karena pencampuran limbah batu paras menimbulkan peristiwa *flokulasi-aglomerasi* yang menghasilkan massa tanah yang berukuran lebih besar, sehingga menambah atau memperbesar bidang kontak antar butiran ( $A_c$ ). Akibat bertambahnya bidang kontak antar butiran maka gaya geser yang terjadi pada bidang kontak antar butiran tanah semakin besar yang berarti nilai koefisien friksi meningkat. Meningkatnya nilai koefisien friksi ini akan menyebabkan meningkatnya nilai  $\phi$ , hal ini disebabkan hubungan nilai koefisien friksi berbanding lurus dengan nilai  $\phi$ . Hubungan antara nilai sudut gesek dalam dengan persentase penambahan abu batu dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan antara nilai sudut gesek dalam dengan persentase limbah batu paras

**Nilai Tegangan Normal dan Tegangan Geser Tanah**

Nilai dari tegangan normal dan tegangan geser dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel nilai tegangan normal dan tegangan geser tanah asli dengan presentase limbah batu paras

No	Nama Sampel	Tegangan	Tegangan	Kuat Geser
		Normal ( $\sigma$ )	Geser ( $\tau$ )	Tanah ( $\tau$ )
		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	Tanah Asli	0,313	0,344	0,347
2	Tanah Asli + Batu Paras 5% No 4	0,313	0,388	0,394
3	Tanah Asli + Batu Paras 10% No 4	0,313	0,395	0,395
4	Tanah Asli + Batu Paras 15% No 4	0,313	0,417	0,411

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa nilai tegangan geser ( $\tau$ ) mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase limbah batu paras. Peningkatan nilai tegangan geser ini dipengaruhi oleh naiknya parameter geser yaitu nilai sudut gesek dalam tanah. Naiknya sudut gesek dalam tanah akan mempengaruhi besarnya nilai tegangan geser tanah, hal ini disebabkan tegangan geser tanah berbanding lurus dengan sudut gesek dalam tanah.

**KESIMPULAN**

Didasarkan hasil uji di laboratorium dan analisa data penelitian sehingga bisa disimpulkan seperti berikut :

1. Dari hasil uji fisis pada tanah asli di dapatkan nilai kadar air sebesar 3,150%, berat jenis (*specific gravity*) sebesar 2,703 batas cair (LL) sebesar 57,380%, batas plastis (PL) 25,870%, batas susut (SL) 13,441%, indeks plastisitas (PI) 31,507% dan lolos saringan No. 200 sebesar 67%.
2. Berdasarkan klasifikasi *American Association of State Highway And Transporting Officials* (AASHTO ) tanah asli termasuk adalah dalam kelompok A-7-6. Pencampuran limbah batu paras tidak merubah klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah asli menurut *Unified Soil Classification System* (USCS) termasuk dalam spesifikasi CH. Pencampuran limbah batu paras sebesar 10% merubah klasifikasi tanah menjadi CL dan persentase 15% merubah klasifikasi tanah menjadi SC.
3. Pencampuran limbah batu paras dapat memperbaiki sifat fisi tanah ditandai dengan penurunan kadar air, batas cair dan indeks plastis, dan meningkatnya nilai berat jenis, batas plastis, dan batas susut tanah.
4. Meningkatnya nilai berat volume kering maksimum, menurunnya nilai kadar air optimum, menurunnya nilai kohesi dan naiknya nilai sudut gesek dalam tanah yang diikuti dengan naiknya nilai kuat geser, menunjukkan pencampuran tanah dengan limbah batu paras memperbaiki sifat mekanis tanah.

#### DAFTAR NOTASI

- $\tau$  : kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)  
 $c$  : kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : tegangan normal pada bidang runtuh (kN/cm<sup>2</sup>)  
 $\phi$  : sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (°)  
 $\sigma$  = tegangan normal (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  = tegangan geser (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $N$  = beban normal (kg)  
 $P$  = beban geser (kg)  
 $A$  = luas penampang (cm<sup>2</sup>)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Atterberg, A. 1911. *Uber die Physikalische Bodennuntersuchung und uber die plastizitatder Tone*. Int.Mitt.Boden, Vol.1.
- ASTM. (2006). *AnuualBook of ASTM Standart*. Volume 04.08. Philadelphia.
- Bowles, J.E., 1984, *Physical and Geotechnical Properties of Soil*, Mc Graw-Hill, USA.
- Chen, F.H., 1975, “ Foundations on Expansive Soil”, Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Hardiyatmo, H.C., (2012) *Mekanika Tanah 1*, Cetakan Pertama, Edisi Keenam.
- Hendrawan, Hadi. 2005. *Pemanfaatan Batu Kapur Sebagai Bahan Baku Batu Paras Palimanan Buatan*. Tugas Akhir Program S1, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- Kezdi, A., 1979, *Stabilized Earth Roads*, Scientific Publishing Company, Amsterdam – London - New York.
- Suryolelono, K.B., 1999, *Potensi Variasi Campuran Abu sekam Padi dan Kapur untuk Meningkatkan Karakteristik Tanah Lempung*, Forum Teknik Sipil No. VIII/1, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.