

Pengaruh Bentuk Serat Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Terhadap Kuat Geser dalam Tanah Pasir Berlempung Berdasarkan Uji Laboratorium (Studi Kasus Dusun Ujung Lauk Desa Kuta)

Andini Rahmawati^{1*}, Heni Pujiastuti², Nurul Hidayati³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram, Indonesia

andinnnrahmawati@gmail.com

ABSTRACT

Keywords:

Sandy-Clay Soil with
Polyethylene Fibers;
Terephthalate (PET);
Fiber Shape;
Soil Shear Strength;
Direct Shear Test.

Abstract: Clayey sand generally exhibits relatively low bearing capacity and shear strength due to its substantial fine-particle content, necessitating stabilization measures to improve its engineering performance. One potential alternative is the utilization of Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste as a reinforcement material, which also provides an environmentally friendly solution for reducing plastic waste. This study aims to analyze the effect of different PET fiber shapes on the cohesion (c) and internal friction angle (ϕ) of clayey sand and to determine the fiber shape that provides the most optimal improvement in shear strength. The study was conducted experimentally at the Soil Mechanics Laboratory, Universitas Muhammadiyah Mataram, using soil samples collected from Ujung Lauk Hamlet, Kuta Village, Pujut District, Central Lombok Regency. The soil was stabilized with 0.5% PET fibers in four different shapes, namely triangular, square, rectangular, and circular, and was subsequently subjected to physical properties testing, the standard Proctor compaction test, and the direct shear test. The test results showed that the untreated soil was classified as Clayey Sand (SC), with a cohesion value of 0.322 kg/cm² and an internal friction angle of 31.728°. The addition of PET fibers consistently reduced the cohesion value across all fiber shapes, with the highest reduction observed for the square shape (76.71%) and the lowest for the rectangular shape (40.37%). In contrast, the internal friction angle increased significantly for the triangular shape (17.48%) and square shape (10.71%), but decreased for the rectangular shape (2.13%) and circular shape (7.79%). Based on these results, triangular PET fibers were found to be the most effective in improving the overall shear strength parameters of the soil, particularly through the geometric interlocking mechanism of the angular fiber shape.

Kata Kunci:

Tanah Pasir Berlempung Serat
Polyethylene;
Terephthalate (PET);
Bentuk Serat;
Kuat Geser Tanah;
Direct Shear Test.

Abstrak: Tanah pasir berlempung umumnya memiliki daya dukung dan kuat geser yang relatif rendah karena didominasi oleh butiran halus, sehingga diperlukan upaya stabilisasi untuk meningkatkan kinerja tekniknya. Salah satu alternatif yang potensial adalah pemanfaatan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai material perkuatan, yang sekaligus menjadi solusi ramah lingkungan bagi pengurangan limbah plastik. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi bentuk serat PET terhadap nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) tanah pasir berlempung, serta menentukan bentuk serat yang memberikan peningkatan kuat geser paling optimal. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram menggunakan sampel tanah dari Dusun Ujung Lauk, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. Tanah distabilisasi dengan serat PET sebesar 0,5% dalam empat variasi bentuk, yaitu segitiga, bujur sangkar, persegi panjang, dan lingkaran, kemudian diuji melalui pengujian sifat fisik, uji pemadatan standar (standard proctor), dan uji geser langsung (direct shear test). Hasil pengujian menunjukkan tanah asli terklasifikasi sebagai Pasir Berlempung (SC) dengan nilai kohesi 0,322 kg/cm² dan sudut geser dalam 31,728°. Penambahan serat PET pada seluruh variasi bentuk secara konsisten menurunkan nilai kohesi, dengan penurunan tertinggi pada bentuk bujur sangkar (76,71%) dan terendah pada bentuk persegi panjang (40,37%). Sebaliknya, sudut geser dalam meningkat signifikan pada bentuk segitiga (17,48%) dan bujur sangkar (10,71%), namun menurun pada bentuk persegi panjang (2,13%) dan lingkaran (7,79%). Berdasarkan hasil tersebut, serat PET berbentuk segitiga terbukti paling efektif meningkatkan parameter kuat geser tanah secara keseluruhan, khususnya melalui mekanisme interlocking geometri sudut serat.

Article History:

Received : 01-10-2026

Accepted : 30-11-2026



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

A. PENDAHULUAN

Tanah merupakan komponen fundamental dalam perencanaan konstruksi sipil karena berfungsi sebagai pondasi hampir seluruh pekerjaan konstruksi, termasuk perencanaan pondasi, timbunan, dan lereng. Stabilitas suatu struktur sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah yang mendukungnya, karena parameter tersebut menentukan kemampuan lapisan tanah menahan beban dan mempertahankan bentuknya selama umur layan struktur. Kualitas kekuatan geser tanah yang buruk dapat memicu deformasi, penurunan (*settlement*), retak, hingga kegagalan struktur di atasnya (Hardiyatmo, 2010). Parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan geser tanah adalah nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), di mana kohesi merepresentasikan gaya ikat antarpartikel, sedangkan sudut geser dalam mencerminkan resistansi gesekan antarbutir.

Tanah pasir berlempung (*clayey sand*) tergolong jenis tanah yang sering dijumpai pada pekerjaan konstruksi. Tanah ini memiliki porositas tinggi dan ikatan antarbutir yang kurang solid, sehingga nilai kohesi dan sudut geser dalam yang dihasilkan cenderung rendah dan berpotensi menimbulkan ketidakstabilan konstruksi (Pujiastuti et al., 2025). Salah satu upaya perbaikan yang dapat dilakukan adalah penambahan bahan perkuatan berupa serat (*fiber reinforcement*), yang berfungsi meningkatkan interlocking antarpartikel tanah, mendistribusikan tegangan secara lebih merata, serta menahan gaya tarik akibat deformasi geser melalui pembentukan jaringan tiga dimensi pada struktur mikro tanah. Dalam konteks keberlanjutan, limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dari botol minuman menjadi alternatif material yang potensial sebagai bahan stabilisasi tanah karena memiliki kuat tarik tinggi, ringan, dan tahan terhadap degradasi (Amiri et al., 2026).

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan limbah PET sebagai bahan stabilisasi maupun perkuatan tanah, baik dalam bentuk serbuk (Fathonah et al., 2018), potongan berukuran tertentu (Muzaidi et al., 2022; Lumi et al., 2021), maupun dikombinasikan dengan bahan aditif lain (Eryunaningsih & Wulandari, 2024). Aspek kadar air dan jenis serat sintesis lain seperti *polypropylene* juga telah dikaji pada tanah pasir berlempung oleh (Pujiastuti et al. 2025). Meskipun demikian, belum ditemukan kajian spesifik mengenai pengaruh geometri penampang serat PET segitiga, lingkaran, bujur sangkar, dan persegi panjang terhadap perilaku kuat geser tanah pasir berlempung, padahal perbedaan geometri penampang berpotensi memengaruhi luas kontak, gaya friksi, serta efektivitas mekanisme interlocking antarbutir tanah (Thomason, 2023).

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, kajian ini menawarkan kebaruan berupa analisis pengaruh geometri serat PET terhadap perilaku kuat geser tanah pasir berlempung, yang belum banyak diulas pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi bentuk serat limbah plastik PET (segitiga, lingkaran, persegi panjang, dan bujur sangkar) terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah pasir berlempung dari Dusun Ujung Lauk, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, sekaligus menentukan bentuk serat yang memberikan peningkatan paling optimal terhadap kedua parameter kuat geser tersebut berdasarkan hasil uji laboratorium.

B. METODE

Sampel tanah pasir berlempung diambil dari Dusun Ujung Lauk, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Bahan perkuatan yang digunakan berupa serat limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang berasal dari botol plastik bekas, diproses menjadi empat variasi bentuk penampang dengan ukuran seragam, yaitu segitiga (panjang alas 10 mm, tinggi 10 mm), lingkaran (diameter 10 mm), persegi panjang (10 mm × 20 mm), dan bujur sangkar (10 mm ×

10 mm). Keseragaman dimensi pada setiap bentuk dimaksudkan agar perubahan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang teramati semata-mata disebabkan oleh perbedaan geometri serat, bukan oleh perbedaan ukuran.

Penelitian menggunakan metode eksperimental laboratorium. Serat PET ditambahkan pada tanah pasir berlempung dengan kadar konstan sebesar 0,5% terhadap berat kering tanah untuk setiap variasi bentuk, sehingga diperoleh dua belas benda uji yang terbagi ke dalam empat variasi bentuk serat dengan tiga pengulangan pada masing-masing variasi. Kadar 0,5% ditetapkan dengan merujuk pada ketentuan ASTM D7508/D7508M mengenai spesifikasi serat sintesis terpotong (*chopped strands*) serta kajian mekanika tanah mengenai perilaku *fiber-reinforced soil*, di mana pada kadar rendah tersebut serat dapat tersebar merata membentuk jaringan tiga dimensi tanpa mengganggu proses pemadatan.

Pengujian dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pengujian sifat fisik tanah asli yang meliputi kadar air (SNI 1965:2008), berat jenis (SNI 1964:2008), berat volume (SNI 03-3637- 1994), analisis saringan dan hidrometer (SNI 3423:2008), batas cair (SNI 1967:2008), dan batas plastis (SNI 1966:2008). Tahap kedua adalah pengujian sifat mekanis tanah yang meliputi pemadatan standar (*Standard Proctor*, SNI 1743:2008) untuk memperoleh kadar air optimum (OMC) dan berat volume kering maksimum, serta uji geser langsung (*direct shear test*) mengacu pada ASTM D3080 dan SNI 3420:2016 untuk memperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Benda uji untuk *direct shear test* dibentuk pada kondisi kadar air optimum hasil uji *Proctor Standar*, baik untuk tanah asli maupun tanah yang telah dicampur serat PET pada masing-masing bentuk. Pengujian geser langsung dilakukan pada tiga variasi beban normal, yaitu 3,733 kg, 7,466 kg, dan 14,358 kg. Parameter kuat geser ditentukan dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser maksimum menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb sebagaimana dituliskan pada Pers. (1), di mana nilai kohesi diperoleh dari titik potong garis regresi pada sumbu tegangan geser, dan sudut geser dalam diperoleh dari kemiringan garis tersebut.

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

dengan τ adalah tegangan geser pada bidang runtuh (kg/cm^2), c adalah kohesi (kg/cm^2), σ adalah tegangan normal (kg/cm^2), dan ϕ adalah sudut geser dalam ($^\circ$).

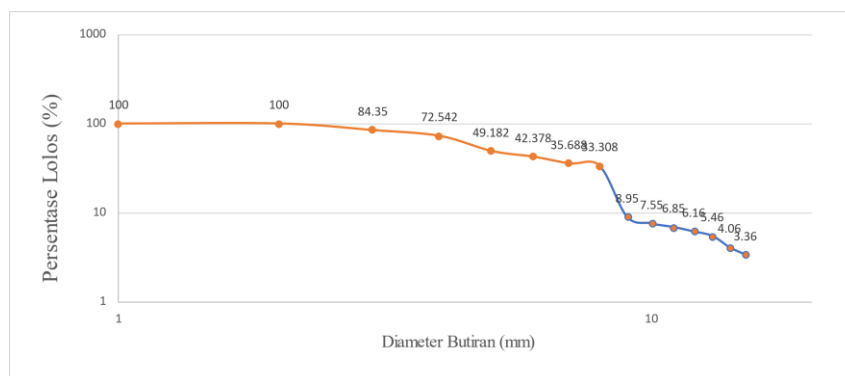
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat fisik tanah asli dari Dusun Ujung Lauk disajikan secara ringkas pada Tabel 1. Berdasarkan hasil analisis saringan dan hidrometer sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1, tanah didominasi oleh fraksi pasir (66,69%) dengan kandungan butir halus lolos saringan No. 200 sebesar 33,31%. Nilai batas cair (LL) sebesar 19,63% diperoleh dari kurva hubungan kadar air dan jumlah pukulan pada Gambar 2, sementara indeks plastisitas (PI) sebesar 7,40% menunjukkan bahwa tanah tergolong berplastisitas rendah, dengan posisi pada diagram plastisitas USCS berada di bawah Garis A. Berdasarkan kombinasi dominasi fraksi pasir dan sifat plastisitas fraksi halusanya, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai Pasir Berlempung (*Clayey Sand, SC*) menurut sistem *Unified Soil Classification System* (USCS).

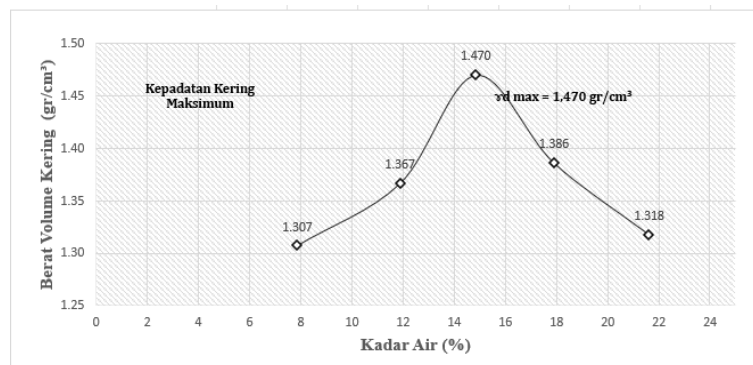
Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian sifat fisik tanah asli

Parameter	Hasil	Satuan
Kadar air alami (w)	44,52	%
Berat jenis tanah (G_s)	2,69	-
Lolos saringan No. 200	33,31	%
Batas cair (LL)	19,63	%
Batas plastis (PL)	12,23	%
Indeks plastisitas (PI)	7,40	%
Kadar air optimum (OMC)	14,85	%
Berat volume kering maks. (γ_d)	1,47	gr/cm ³

Sumber: Hasil Analisis, 2026

**Gambar 1.** Distribusi ukuran butiran hasil analisis saringan dan hidrometer
(Sumber: Hasil Analisis, 2026)**Gambar 2.** Hubungan kadar air dan jumlah pukulan pada uji batas cair
(Sumber: Hasil Analisis, 2026)

Sebelum pencampuran dengan serat PET, tanah asli dipadatkan dengan metode *Standard Proctor* untuk memperoleh kadar air optimum, yang selanjutnya menjadi acuan dalam pembuatan seluruh benda uji *direct shear test*. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering tanah asli ditampilkan pada Gambar 3, dengan nilai kadar air optimum (w_{opt}) sebesar 14,85% dan berat volume kering maksimum ($\gamma_d \text{ maks}$) sebesar 1,470 gr/cm³.



Gambar 3. Hubungan kadar air dan berat volume kering tanah asli
(Sumber: Hasil Analisis, 2026)

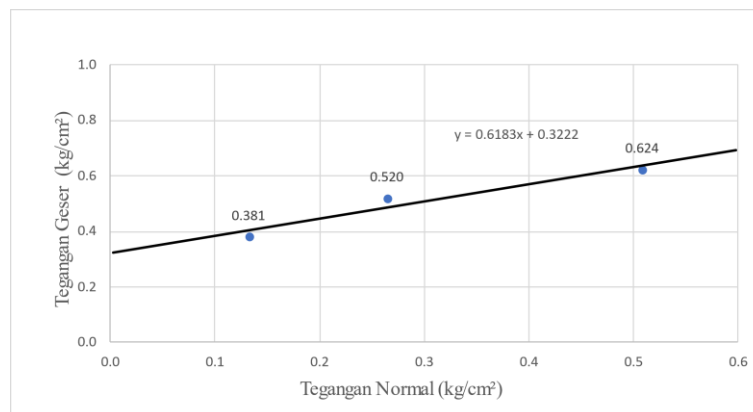
1. Kuat Geser Tanah Asli

Pengujian *direct shear test* pada tanah asli (*undisturbed*) menghasilkan hubungan tegangan normal dan tegangan geser maksimum pada tiga tingkat beban, sebagaimana disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4. Berdasarkan garis keruntuhan Mohr-Coulomb, diperoleh nilai kohesi tanah asli sebesar 0,322 kg/cm² dan sudut geser dalam sebesar 31,728°. Nilai ini selanjutnya digunakan sebagai acuan pembandingan dalam mengevaluasi pengaruh penambahan serat PET.

Tabel 2. Hasil pengujian *direct shear test* tanah asli

Beban normal (kg)	Tegangan normal (kg/cm ²)	Tegangan geser maks. (kg/cm ²)
3,733	0,132	0,381
7,466	0,264	0,520
14,358	0,508	0,624

Sumber: Hasil Analisis, 2026



Gambar 4. Hubungan tegangan normal dan tegangan geser tanah asli
(Sumber: Hasil Analisis, 2026)

2. Pengaruh bentuk serat PET terhadap kohesi dan sudut geser dalam

Penambahan serat PET dilakukan pada kadar konstan 0,5% terhadap berat kering tanah dalam kondisi kadar air optimum untuk setiap variasi bentuk. Rekapitulasi parameter kuat geser tanah untuk seluruh variasi bentuk serat PET disajikan pada Tabel 3, sedangkan perbandingan visualnya ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 3. Rekapitulasi parameter kuat geser tanah pada berbagai bentuk serat PET 0,5%

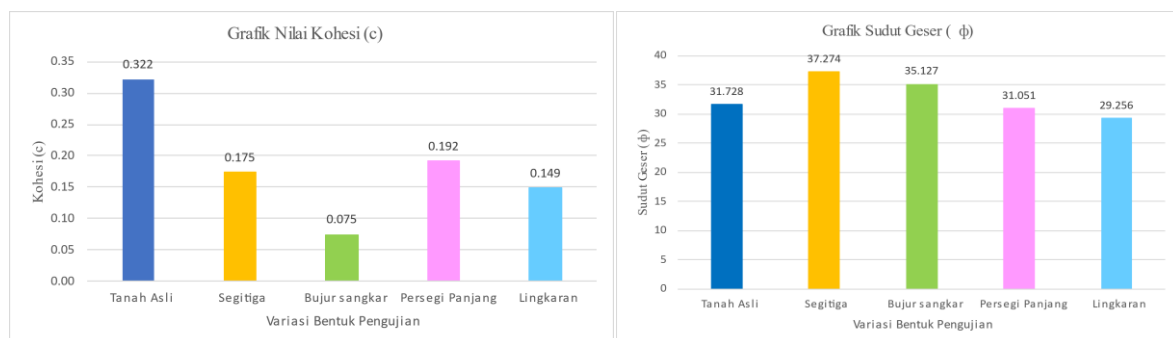
Variasi	Kohesi c (kg/cm ²)	Perubahan c (%)	Sudut geser ϕ (°)	Perubahan ϕ (%)
Tanah asli	0,322	–	31,728	–
Segitiga	0,175	turun 45,65	37,274	naik 17,48
Bujur sangkar	0,075	turun 76,71	35,127	naik 10,71
Persegi panjang	0,192	turun 40,37	31,051	turun 2,13
Lingkaran	0,149	turun 53,73	29,256	turun 7,79

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Berdasarkan Tabel 3, penambahan 0,5% serat PET pada seluruh variasi bentuk secara konsisten menurunkan nilai kohesi tanah dibandingkan tanah asli. Penurunan kohesi terbesar terjadi pada bentuk bujur sangkar (turun 76,71% menjadi 0,075 kg/cm²), diikuti bentuk lingkaran (turun 53,73% menjadi 0,149 kg/cm²) dan segitiga (turun 45,65% menjadi 0,175 kg/cm²). Penurunan kohesi terkecil diperoleh pada bentuk persegi panjang, yaitu turun 40,37% menjadi 0,192 kg/cm². Penurunan kohesi pada seluruh bentuk ini disebabkan oleh terganggunya ikatan antarbutir tanah akibat hadirnya permukaan serat PET yang licin (*smooth interface*), sehingga mengurangi interaksi gaya tarik-menarik antarpartikel tanah pada bidang geser (Khalid & Alshawmar, 2024).

Berbeda dengan kecenderungan pada nilai kohesi, perubahan sudut geser dalam bersifat bervariasi antarbentuk. Sudut geser dalam meningkat pada bentuk segitiga (naik 17,48% menjadi 37,274°) dan bujur sangkar (naik 10,71% menjadi 35,127°), tetapi menurun pada bentuk persegi panjang (turun 2,13% menjadi 31,051°) dan lingkaran (turun 7,79% menjadi 29,256°). Peningkatan sudut geser dalam pada serat berbentuk segitiga dan bujur sangkar berkaitan dengan mekanisme *interlocking* yang lebih efektif akibat bentuk serat bersudut tajam, sehingga meningkatkan gesekan antarpartikel tanah atau *internal friction* (Tang et al., 2020). Sebaliknya, penurunan sudut geser pada serat berbentuk lingkaran dan persegi panjang diduga disebabkan oleh geometri serat yang kurang optimal dalam menahan pergeseran tanah serta orientasi bidang kontak yang licin, sehingga mempermudah terjadinya bidang gelincir atau *sliding surface* (Bordoloi et al., 2021).

Penetapan kadar serat sebesar 0,5% dalam penelitian ini didukung kajian mekanika tanah mengenai perilaku *fiber-reinforced soil*. Pada kadar rendah tersebut, serat tersebar merata membentuk jaringan tiga dimensi yang menahan regangan tarik dan meningkatkan efek *interlocking* antarbutir tanpa mengganggu proses pemadatan (Hardiyatmo, 2017). Hasil pengujian mengonfirmasi bahwa pada kadar 0,5% mekanisme penguncian geometris masih bekerja efektif tanpa terganggu oleh fenomena penggumpalan serat atau fiber balling, sejalan dengan peningkatan sudut geser pada bentuk bersudut tajam (Ferreira et al., 2021).

**Gambar 5.** Nilai kohesi (c) tanah asli dan tanah terstabilisasi serat PET 0,5%

3. Analisis efektivitas geometri serat PET

Berdasarkan analisis gabungan parameter kohesi dan sudut geser dalam, serat berbentuk segitiga dinilai sebagai bentuk yang paling efektif dalam meningkatkan kuat geser tanah pasir berlempung secara keseluruhan. Bentuk segitiga menghasilkan peningkatan sudut geser dalam tertinggi, yaitu 17,48% dari 31,728° menjadi 37,274°, dengan penurunan kohesi pada tingkat moderat sebesar 45,65% menjadi 0,175 kg/cm². Peningkatan sudut geser yang signifikan ini dinilai mampu mengompensasi penurunan kohesi, terutama pada kondisi tegangan normal yang tinggi, akibat efektivitas penjangkaran atau *interlocking effect* dari geometri sudut segitiga.

Serat berbentuk persegi panjang menjadi pilihan paling efektif jika ditinjau khusus dari ketahanan nilai kohesi, karena mencatatkan persentase penurunan kohesi terkecil, yaitu 40,37% menjadi 0,192 kg/cm², meskipun kontribusinya terhadap sudut geser dalam relatif kecil bahkan sedikit menurun. Sebaliknya, serat berbentuk lingkaran merupakan variasi paling tidak efektif karena mengalami penurunan pada kedua parameter kuat geser sekaligus, yaitu penurunan sudut geser dalam terbesar (7,79%) serta penurunan kohesi yang cukup signifikan (53,73%), akibat tidak adanya mekanisme pengkuncian geometris pada permukaan lingkaran yang licin.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat PET sebesar 0,5% pada kondisi kadar air optimum secara konsisten menurunkan kohesi alami tanah akibat terputusnya ikatan lempung halus oleh bahan sintesis, sementara efektivitas peningkatan sudut geser dalam sangat bergantung pada geometri sudut serat. Bentuk bersudut tajam, yaitu segitiga dan bujur sangkar, terbukti lebih efektif meningkatkan sudut geser dalam dibandingkan bentuk lingkaran dan persegi panjang, yang justru berisiko memicu efek *slippage* dan pembentukan bidang lemah pada matriks tanah.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis data terhadap sampel tanah pasir berlempung dari Dusun Ujung Lauk, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, dapat disimpulkan bahwa penambahan serat *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebesar 0,5% pada kondisi kadar air optimum memberikan pengaruh nyata terhadap parameter kuat geser tanah pasir berlempung, dengan nilai acuan tanah asli berupa kohesi 0,322 kg/cm² dan sudut geser dalam 31,728°. Seluruh variasi bentuk serat secara konsisten menurunkan nilai kohesi, dengan persentase penurunan berturut-turut pada bentuk persegi panjang (40,37%), segitiga (45,65%), lingkaran (53,73%), dan bujur sangkar (76,71%), sementara nilai sudut geser dalam meningkat pada bentuk segitiga (naik 17,48%) dan bujur sangkar (naik 10,71%), tetapi menurun pada bentuk persegi panjang (turun 2,13%) dan lingkaran (turun 7,79%).

Berdasarkan analisis gabungan kedua parameter kuat geser, serat PET berbentuk segitiga merupakan bentuk yang paling optimal dalam meningkatkan kuat geser tanah pasir berlempung secara keseluruhan, dengan kenaikan sudut geser dalam sebesar 17,48% dan penurunan kohesi sebesar 45,65%. Sebagai perbandingan, bentuk persegi panjang mencatatkan ketahanan kohesi terbaik dengan penurunan terkecil sebesar 40,37%, sedangkan bentuk lingkaran merupakan variasi paling tidak optimal karena menurunkan nilai kohesi sebesar 53,73% sekaligus sudut geser dalam sebesar 7,79%. Temuan ini menegaskan bahwa geometri penampang serat PET berperan penting dalam menentukan efektivitas mekanisme perkuatan tanah pasir berlempung, sehingga pemilihan bentuk serat yang tepat, khususnya bentuk bersudut tajam, dapat menjadi strategi yang efektif dalam pemanfaatan limbah plastik PET sebagai bahan stabilisasi tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008a). SNI 1964-2008 Cara uji berat jenis tanah. Jakarta, Indonesia: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008b). SNI 1965-2008 Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium. Jakarta, Indonesia: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008c). SNI 1966-2008 Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah. Jakarta, Indonesia: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008d). SNI 1967-2008 Cara uji penentuan batas cair tanah. Jakarta, Indonesia: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008e). SNI 3423-2008 Cara uji analisis ukuran butir tanah. Jakarta, Indonesia: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). SNI 3420:2016 Metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase. Jakarta, Indonesia: BSN.
- 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>
- Fathonah, W., Intari, D. E., Mina, E., & Sulaiman, M. (2018). Pemanfaatan limbah plastik PET (Polyethylene Terephthalate) sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif. *Jurnal Fondasi*, 7(2), 1–10.
- Ferreira, J. W. S., Senez, P. C., & Casagrande, M. D. T. (2021). PET fiber reinforced sand performance under triaxial and plate load tests. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00741. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00741>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika tanah 1*. Yogyakarta, Indonesia: Universitas Gadjah Mada Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika tanah 1* (7th ed.). Yogyakarta, Indonesia: Universitas Gadjah Mada Press.
- Khalid, B., & Alshawmar, F. (2024). Comprehensive review of geotechnical engineering properties of recycled polyethylene terephthalate fibers and strips for soil stabilization. *Polymers*, 16(13), 1764. <https://doi.org/10.3390/polym16131764>
- Lumi, A. F., Mandagi, A. T., & Sumampouw, J. E. R. (2021). Studi eksperimental pengaruh sampah plastik terhadap kuat geser tanah lempung. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 4(2), 55–63.
- Muzaidi, I., Anggarini, E., & Hardiani, D. P. (2022). Solidifikasi struktur tanah lempung lunak Banjarmasin dengan limbah plastik PET (Polyethylene Terephthalate). *Jurnal Ekstrapolasi*, 19(1), 1–10.
- Pujiastuti, H., Fitrayudha, A., Hidayati, N., Hafiz, S., & Rachman, A. (2025). Analisis perilaku kuat geser tanah pasir berlempung yang distabilisasi dengan serat polypropylene daur ulang pada kondisi kadar air berbeda. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 9(2), 337–345.