

## Pengaruh Penambahan Serat Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap Nilai Kepadatan dan Kuat Geser Tanah Pasir Berlempung

Rizki Saputro<sup>1</sup>, Heni Pujiastuti<sup>2</sup>, M Khalis Ilmi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram, Indonesia

[rizkisaputro67@gmail.com](mailto:rizkisaputro67@gmail.com)

### ABSTRACT

#### Keywords:

Sandy-clay soil;  
Polyethylene Terephthalate (PET);  
Soil stabilization.

**Abstract:** Clayey sand is one of the types of subgrade soil whose characteristics are strongly influenced by moisture content, particle-size distribution, and degree of compaction, and therefore often requires stabilization to meet technical requirements. One environmentally friendly stabilization alternative is the utilization of Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste as an additive. This study aims to analyze the effect of PET plastic fiber addition on the density and shear strength of clayey sand and to determine the mixture content that provides the optimum results. The study was conducted using an experimental method at the Soil Mechanics Laboratory of Universitas Muhammadiyah Mataram. Soil samples were collected from Ujung Lauk Hamlet, Kuta Village, Pujut District, Central Lombok Regency, while PET waste was obtained from Kuranji, Labuapi District. The testing program included soil physical properties, the Standard Proctor compaction test, and the Direct Shear test on both untreated soil and soil mixed with PET at contents of 0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0% by dry weight of the soil. The results showed that the maximum dry unit weight increased from 1.139 g/cm<sup>3</sup> for the untreated soil to 1.295 g/cm<sup>3</sup> for the soil with 1.0% PET, representing an increase of 13.70%, and subsequently decreased at higher PET contents. In the shear strength test, cohesion increased from 3.750 kg/cm<sup>2</sup> to 6.665 kg/cm<sup>2</sup>, while the internal friction angle increased from 18.411° to 24.240° at the 1.0% PET content, corresponding to increases of 77.73% and 31.66%, respectively, compared with the untreated soil. Therefore, a PET content of 1.0% represents the optimum mixture, providing the highest improvements in density and shear strength of clayey sand.

#### Kata Kunci:

Tanah pasir berlempung;  
Polyethylene Terephthalate (PET);  
Stabilisasi tanah.

**Abstrak:** Tanah pasir berlempung merupakan salah satu jenis tanah dasar konstruksi yang karakteristiknya sangat dipengaruhi oleh kadar air, distribusi ukuran butir, dan tingkat kepadatan, sehingga sering memerlukan upaya stabilisasi agar memenuhi persyaratan teknis. Salah satu alternatif stabilisasi yang ramah lingkungan adalah pemanfaatan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai bahan tambah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan serat plastik PET terhadap nilai kepadatan dan kuat geser tanah pasir berlempung serta menentukan kadar campuran yang memberikan hasil optimum. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram. Sampel tanah diambil dari Dusun Ujung Lauk, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, sedangkan limbah PET diperoleh dari Kuranji, Kecamatan Labuapi. Pengujian meliputi sifat fisik tanah, uji pemadatan standar (Standard Proctor), dan uji geser langsung (Direct Shear) pada tanah asli dan tanah dengan variasi campuran PET sebesar 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% terhadap berat kering tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat volume kering maksimum meningkat dari 1,139 g/cm<sup>3</sup> pada tanah asli menjadi 1,295 g/cm<sup>3</sup> pada campuran PET 1,0%, atau naik 13,70%, kemudian menurun pada kadar PET yang lebih tinggi. Pada pengujian kuat geser, nilai kohesi meningkat dari 3,750 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 6,665 kg/cm<sup>2</sup>, dan sudut geser dalam meningkat dari 18,411° menjadi 24,240° pada campuran PET 1,0%, atau meningkat berturut-turut sebesar 77,73% dan 31,66% dibandingkan tanah asli. Dengan demikian, campuran PET 1,0% merupakan kadar optimum yang memberikan peningkatan kepadatan dan kuat geser tertinggi pada tanah pasir berlempung.

#### 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. LATAR BELAKANG

Tanah adalah salah satu komponen utama dalam pekerjaan konstruksi yang memiliki fungsi sebagai pendukung struktur bangunan, jalan, bendungan, maupun berbagai infrastruktur lainnya. Kinerja suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan mekanik tanah dasar, terutama parameter kepadatan dan kuat geser tanah. Tanah dengan kepadatan rendah dan kemampuan menahan gaya geser yang kurang baik dapat menyebabkan berbagai permasalahan geoteknik seperti penurunan berlebih, deformasi, serta berkurangnya stabilitas struktur di atasnya (Das & Sobhan, 2018).

Kepadatan tanah menunjukkan tingkat kerapatan susunan butiran tanah setelah mengalami proses pemadatan. Peningkatan kepadatan tanah umumnya menyebabkan berkurangnya rongga antarbutiran sehingga meningkatkan kemampuan tanah dalam menerima beban (Bowles, 1992). Selain kepadatan, kuat geser tanah merupakan parameter penting yang menentukan stabilitas suatu massa tanah karena menggambarkan kemampuan tanah dalam menahan gaya yang menyebabkan pergeseran antarpartikel. Parameter kuat geser terdiri atas kohesi dan sudut geser dalam yang dapat berpengaruh oleh jenis tanah, distribusi ukuran butir, kadar air, serta tingkat kepadatan tanah (Craig, 2012).

Tanah pasir berlempung merupakan salah satu jenis tanah yang sering dijumpai pada lokasi pembangunan. Jenis tanah ini memiliki kombinasi karakteristik antara pasir dan lempung, yaitu kemampuan drainase yang relatif baik namun masih memiliki sifat kohesif akibat keberadaan fraksi lempung (Hardiyatmo, 2017), sehingga pada kondisi tertentu daya dukungnya belum optimal dan memerlukan upaya stabilisasi. Salah satu metode yang banyak dikembangkan adalah stabilisasi tanah menggunakan material berbentuk serat (fiber reinforcement). Kajian Hejazi et al. (2012) menunjukkan bahwa penambahan serat, baik alami maupun sintesis, mampu meningkatkan interaksi antarbutir tanah melalui mekanisme interlocking sehingga tanah menjadi lebih stabil dan mengalami peningkatan kuat geser. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Yetimoglu dan Salbas (2003) yang membuktikan bahwa pasir yang diperkuat dengan serat diskret secara acak mengalami peningkatan kuat geser dibandingkan tanah tanpa perkuatan.

Di antara berbagai jenis serat sintesis, Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan material yang banyak mendapat perhatian sebagai bahan stabilisasi tanah. PET banyak digunakan sebagai bahan baku botol minuman sehingga menghasilkan limbah dalam jumlah besar (Awaja & Pavel, 2005). Plastik PET memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi, ringan, serta tahan terhadap degradasi biologis sehingga berpotensi digunakan sebagai material penguat tanah, sebagaimana halnya geosintetik pada umumnya (Koerner, 2012). Pemanfaatan limbah PET sebagai bahan stabilisasi tanah tidak hanya bertujuan meningkatkan sifat mekanik tanah, tetapi juga menjadi salah satu upaya mendukung pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan, sejalan dengan prinsip stabilisasi tanah yang efektif dan berkelanjutan (Ingles & Metcalf, 1972).

Berdasarkan uraian tersebut, penambahan serat plastik PET berpotensi meningkatkan karakteristik tanah pasir berlempung, terutama nilai kepadatan dan kuat geser. Meskipun demikian, hubungan antara peningkatan kepadatan dan kuat geser akibat penambahan PET masih memerlukan kajian lebih lanjut karena dipengaruhi oleh kadar serat yang digunakan, karakteristik tanah, serta mekanisme interaksi antara serat dan butiran tanah. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar plastik PET terhadap nilai kepadatan dan kuat geser tanah pasir berlempung, mengkaji korelasi antara kedua parameter tersebut, serta menentukan kadar PET yang paling efektif sebagai bahan stabilisasi tanah.

## **B. METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental terkontrol di laboratorium, dengan sampel tanah distabilisasi menggunakan variasi campuran serat plastik PET dan diuji untuk parameter pemadatan dan kuat geser. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan kontrol variabel secara presisi, berbeda dengan penelitian lapangan yang rentan terhadap variabilitas lingkungan. Sampel tanah pasir berlempung diambil dari Dusun Ujung Lauk, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, sedangkan limbah plastik PET yang telah dicacah diperoleh dari hasil pengolahan limbah di Kuranji, Kecamatan Labuapi. Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Tahap pertama penelitian adalah pengujian sifat fisik tanah yang meliputi kadar air, berat isi, berat jenis (specific gravity), analisis saringan dan hidrometer, serta batas-batas Atterberg (batas cair

dan batas plastis). Pengujian ini bertujuan mengetahui karakteristik dasar tanah asli sebagai acuan sebelum tanah dicampur dengan PET, sekaligus dasar klasifikasi tanah menurut sistem USCS.

### 1. Uji pemadatan (Standard Proctor Test)

Uji pemadatan standar dilakukan untuk memperoleh berat volume kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) dan kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) sesuai ASTM D698-12 (2012). Tanah dicampur air pada beberapa variasi kadar air, kemudian dipadatkan dalam cetakan (mold) Proctor sebanyak tiga lapisan, dengan setiap lapisan dipadatkan menggunakan palu Proctor seberat 2,5 kg dan tinggi palu 305 mm sebanyak 25 tumbukan yang tersebar merata. Berat isi basah dihitung dari berat tanah dalam cetakan dibagi volume cetakan, sedangkan berat isi kering dihitung menggunakan Pers. (1).

$$\gamma_d = \gamma_b / (1 + w) \quad (1)$$

dengan  $\gamma_d$  adalah berat volume kering ( $\text{gr/cm}^3$ ),  $\gamma_b$  adalah berat volume basah ( $\text{gr/cm}^3$ ), dan  $w$  adalah kadar air (%). Prosedur ini diulang untuk beberapa variasi kadar air sehingga diperoleh kurva hubungan antara kadar air dan berat volume kering. Titik optimum kurva menunjukkan berat volume kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (OMC), yang selanjutnya digunakan sebagai acuan pemadatan pada pembuatan benda uji geser. Pengujian dilakukan pada tanah asli dan pada tanah dengan campuran serat PET sebesar 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% terhadap berat kering tanah.

### 2. Uji kuat geser langsung (Direct Shear Test)

Uji kuat geser dilakukan menggunakan Direct Shear Test (DST) sesuai ASTM D3080-11 (2011) untuk memperoleh nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) pada kondisi consolidated-drained. Benda uji dipadatkan pada kondisi kadar air optimum (OMC) dan berat volume kering maksimum (MDD) yang diperoleh dari uji Proctor pada masing-masing variasi campuran, kemudian dimasukkan ke dalam kotak geser (shear box) yang dilengkapi batu berpori pada bagian atas dan bawah. Setiap benda uji diberi tiga variasi beban normal, kemudian digeser dengan kecepatan konstan hingga terjadi keruntuhan. Tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan geser ( $\tau$ ) saat keruntuhan dihitung menggunakan Pers. (2), kemudian diplot pada grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser untuk memperoleh garis keruntuhan (failure envelope) berdasarkan kriteria Mohr–Coulomb pada Pers. (3).

$$\tau = P / A \quad (2)$$

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3)$$

dengan  $\tau$  adalah tegangan geser ( $\text{kPa}$ ),  $P$  adalah gaya geser ( $\text{kN}$ ),  $A$  adalah luas bidang geser ( $\text{m}^2$ ),  $\sigma$  adalah tegangan normal ( $\text{kPa}$ ),  $c$  adalah kohesi ( $\text{kPa}$ ), dan  $\phi$  adalah sudut geser dalam ( $^\circ$ ). Nilai kohesi diperoleh dari titik potong garis keruntuhan terhadap sumbu tegangan geser, sedangkan sudut geser dalam diperoleh dari kemiringan garis tersebut. Kedua parameter dibandingkan antarvariasi campuran PET untuk mengetahui pengaruh penambahan serat terhadap peningkatan kuat geser tanah pasir berlempung.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Karakteristik fisik tanah

Hasil dari pengujian sifat fisik menunjukkan bahwa tanah asli memiliki kadar air alami rata-rata sebesar 46,66%, berat isi basah rata-rata  $1,65 \text{ gr/cm}^3$ , berat isi kering rata-rata  $1,13 \text{ gr/cm}^3$ , dan berat jenis ( $G_s$ ) rata-rata sebesar 2,42. Hasil pengujian batas Atterberg menunjukkan batas cair (LL) sebesar 47,76% dan batas plastis (PL) sebesar 37,12%, sehingga diperoleh indeks plastisitas (IP) sebesar 10,64%, yang menempatkan tanah pada kategori lempung dengan plastisitas sedang. Hasil analisis

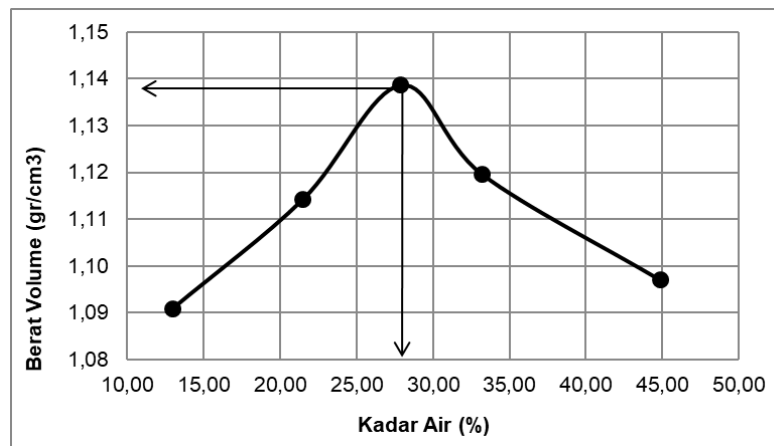
saringan menunjukkan bahwa 26,80% material lolos saringan No. 200, yang menunjukkan tanah mengandung fraksi halus cukup besar sehingga tergolong tanah pasir berlempung yang memerlukan perbaikan sifat mekanis sebelum digunakan sebagai tanah dasar konstruksi. Rekapitulasi hasil pengujian fisik tanah asli disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Rekapitulasi hasil pengujian sifat fisik tanah asli

| Parameter                       | Nilai                   |
|---------------------------------|-------------------------|
| Kadar air alami (w)             | 46,66 %                 |
| Berat isi basah ( $\gamma_b$ )  | 1,65 gr/cm <sup>3</sup> |
| Berat isi kering ( $\gamma_d$ ) | 1,13 gr/cm <sup>3</sup> |
| Berat jenis (Gs)                | 2,42                    |
| Batas cair (LL)                 | 47,76 %                 |
| Batas plastis (PL)              | 37,12 %                 |
| Indeks plastisitas (IP)         | 10,64 %                 |
| Lolos saringan No. 200          | 26,80 %                 |

## 2. Pengaruh PET terhadap karakteristik pemadatan

Hasil uji Proctor pada tanah asli menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat volume kering yang membentuk kurva pemadatan dengan satu titik puncak, sebagaimana disajikan pada Gambar 1. Berat volume kering meningkat ketika bertambahnya kadar air hingga mencapai nilai maksimum sebesar 1,139 gr/cm<sup>3</sup> pada kadar air optimum 27,90%, kemudian terjadi penurunan pada kadar air yang lebih tinggi karena air mulai mengisi rongga tanah dan mengurangi kontak antarpartikel.

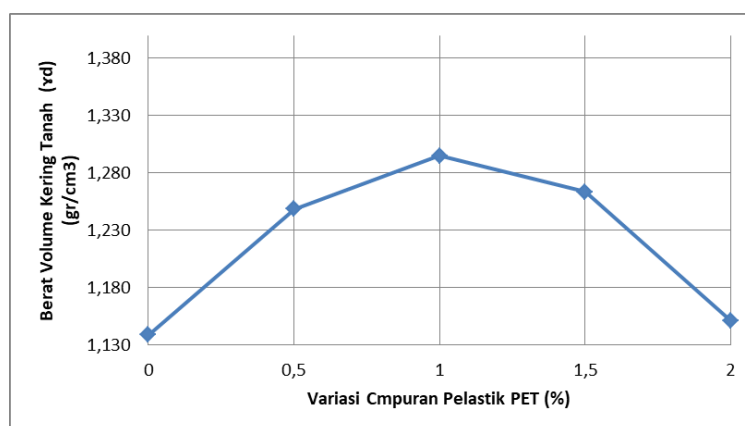


**Gambar 1.** Kurva pemadatan tanah asli

Setelah dilakukan penambahan PET, berat volume kering maksimum dan kadar air optimum pada setiap variasi campuran direkap pada Tabel 2 dan digambarkan pada Gambar 2.

**Tabel 2.** Hasil uji pemadatan pada variasi campuran PET

| Variasi PET (%) | OMC (%) | MDD (gr/cm <sup>3</sup> ) | Kenaikan (%) |
|-----------------|---------|---------------------------|--------------|
| 0 (asli)        | 27,90   | 1,139                     | -            |
| 0,5             | 33,82   | 1,248                     | 9,57         |
| 1,0             | 32,03   | 1,295                     | 13,70        |
| 1,5             | 33,29   | 1,264                     | 10,97        |
| 2,0             | 43,35   | 1,151                     | 1,05         |

**Gambar 2.** Hubungan variasi campuran PET dengan berat volume kering maksimum

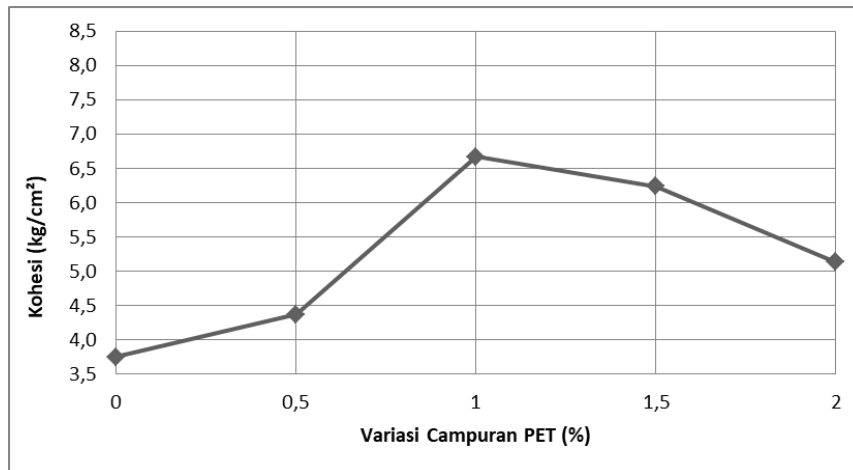
Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, penambahan PET hingga 1,0% memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kepadatan tanah, ditandai dengan kenaikan berat volume kering maksimum dari 1,139 gr/cm<sup>3</sup> pada tanah asli menjadi 1,295 gr/cm<sup>3</sup> pada PET 1,0%, atau naik sebesar 13,70%. Pada campuran PET 1,5% dan 2,0%, nilai berat volume kering maksimum kembali menurun menjadi 1,264 gr/cm<sup>3</sup> dan 1,151 gr/cm<sup>3</sup>. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan PET dalam jumlah tertentu mampu memperbaiki susunan partikel tanah sehingga rongga antarbutiran berkurang, namun apabila kadar PET terlalu tinggi, sebagian volume tanah digantikan oleh material PET yang memiliki berat jenis lebih rendah sehingga kepadatan tanah kembali menurun. Sejalan dengan itu, kadar air optimum juga cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar PET, dari 27,90% pada tanah asli menjadi 43,35% pada PET 2,0%, karena perubahan struktur campuran memerlukan lebih banyak air agar partikel tanah dapat tersusun secara maksimal.

### 3. Pengaruh PET terhadap parameter kuat geser

Hasil pengujian direct shear pada tanah asli menunjukkan hubungan linier antara tegangan normal dan tegangan geser sesuai kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb, dengan nilai kohesi sebesar 3,750 kg/cm<sup>2</sup> dan sudut geser dalam sebesar 18,411°. Rekapitulasi hasil pengujian kuat geser pada seluruh variasi campuran PET disajikan pada Tabel 3.

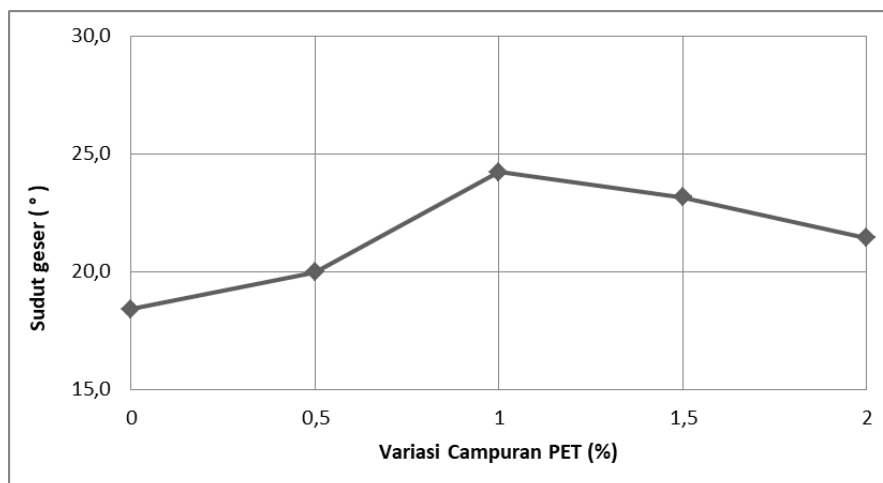
**Tabel 3.** Hasil uji kuat geser pada variasi campuran PET

| Variasi PET (%) | Kohesi c (kg/cm <sup>2</sup> ) | Sudut geser $\phi$ (°) |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|
| 0 (asli)        | 3,750                          | 18,411                 |
| 0,5             | 4,365                          | 19,980                 |
| 1,0             | 6,665                          | 24,240                 |
| 1,5             | 6,240                          | 23,162                 |
| 2,0             | 5,132                          | 21,428                 |



**Gambar 3.** Hubungan variasi campuran PET dengan nilai koheesi

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3, nilai koheesi tanah meningkat seiring bertambahnya kadar PET hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 6,665 kg/cm<sup>2</sup> pada campuran PET 1,0%, atau meningkat 77,73% dibandingkan tanah asli. Pada campuran PET 1,5% dan 2,0%, nilai koheesi menurun berturut-turut menjadi 6,240 kg/cm<sup>2</sup> dan 5,132 kg/cm<sup>2</sup>, meskipun keduanya masih lebih tinggi dibandingkan tanah asli.



**Gambar 4.** Hubungan variasi campuran PET dengan sudut geser dalam

Pola serupa juga terlihat pada nilai sudut geser dalam, sebagaimana disajikan pada Gambar 4. Sudut geser dalam meningkat dari 18,411° pada tanah asli menjadi 24,240° pada campuran PET 1,0%, atau naik 31,66%, kemudian menurun menjadi 23,162° pada PET 1,5% dan 21,428° pada PET 2,0%. Peningkatan koheesi dan sudut geser dalam hingga kadar PET 1,0% menunjukkan bahwa serat PET mampu meningkatkan ikatan dan tahanan gesek antarpartikel tanah melalui mekanisme interlocking antara serat dan butiran tanah. Namun, pada kadar PET yang lebih tinggi, distribusi serat yang kurang homogen serta berkurangnya kontak antarbutiran tanah menyebabkan efektivitas perkuatan menurun, sehingga kedua parameter kuat geser mengalami penurunan meskipun tetap berada di atas nilai tanah asli.

Perbandingan antara Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan kecenderungan hubungan yang positif antara kepadatan dan kuat geser tanah. Campuran PET yang menghasilkan berat volume kering maksimum tertinggi, yaitu PET 1,0%, juga menghasilkan nilai koheesi dan sudut geser dalam tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin padat struktur tanah, semakin baik kontak antarbutiran serta interlocking antara serat PET dan partikel tanah, sehingga tanah memiliki

kemampuan yang lebih besar dalam menahan beban geser. Dengan demikian, berdasarkan parameter kepadatan maupun kuat geser, campuran PET 1,0% merupakan kadar yang memberikan hasil paling optimum pada tanah pasir berlempung yang diteliti.

#### D. KESIMPULAN

Tanah pasir berlempung yang diteliti memiliki kadar air alami rata-rata 46,66%, indeks plastisitas 10,64% (plastisitas sedang), dan 26,80% fraksi lolos saringan No. 200, sehingga memerlukan upaya stabilisasi sebelum digunakan sebagai tanah dasar konstruksi. Penambahan serat plastik Polyethylene Terephthalate (PET) memberikan pengaruh terhadap peningkatan kepadatan dan kuat geser tanah, dengan berat volume kering maksimum meningkat dari 1,139 gr/cm<sup>3</sup> pada tanah asli menjadi 1,295 gr/cm<sup>3</sup> atau naik 13,70% pada campuran PET 1,0%. Pada kadar campuran yang sama, nilai kohesi meningkat dari 3,750 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 6,665 kg/cm<sup>2</sup> (naik 77,73%) dan sudut geser dalam meningkat dari 18,411° menjadi 24,240° (naik 31,66%) dibandingkan tanah asli. Penambahan PET melebihi 1,0% menyebabkan penurunan kepadatan maupun kuat geser tanah, meskipun nilainya tetap lebih tinggi dibandingkan tanah asli. Kepadatan dan kuat geser tanah menunjukkan hubungan yang positif, yaitu variasi campuran yang menghasilkan kepadatan tertinggi juga menghasilkan kuat geser tertinggi. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, campuran PET 1,0% merupakan kadar optimum yang direkomendasikan untuk meningkatkan kepadatan dan kuat geser tanah pasir berlempung, sekaligus menjadi alternatif pemanfaatan limbah plastik PET yang ramah lingkungan dalam pekerjaan perbaikan tanah dasar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2012). ASTM D698-12: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM International.
- ASTM. (2011). ASTM D3080-11: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ASTM International.
- ASTM. (2017). ASTM D4318-17: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM International.
- ASTM. (2014). ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. ASTM International.
- Awaja, F., & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453–1477. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>
- Bowles, J. E. (1992). *Engineering Properties of Soils and Their Measurement* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Craig, R. F. (2012). *Craig's Soil Mechanics* (8th ed.). CRC Press.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press.
- Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., & Zadhoush, A. (2012). A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 30, 100–116. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045>
- Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (1972). *Soil Stabilization: Principles and Practice*. Butterworths.
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with Geosynthetics* (6th ed.). Xlibris.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Yetimoglu, T., & Salbas, O. (2003). A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(2), 103–110. [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(03\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(03)00003-7)