

PENGARUH SUDUT GESER DALAM TERHADAP PENAMBAHAN PASIR *SUB-ROUNDED*, *SUB-ANGULAR*, DAN *ANGULAR* PADA PASIR *ROUNDED*

Badrul Miswar¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
badrul.325200092@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 26-06-2024, revisi: 09-07-2024, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2024

ABSTRACT

The physical form of sand grains is a critical factor influencing shear strength, where sharper/angular grain shapes tend to result in higher internal friction angles (ϕ) and stronger interlocking capabilities among grains, whereas rounder particle shapes generally lead to lower ϕ values. This study aims to quantify the significant differences in shear strength (ϕ) between sand with the most rounded shapes (*rounded* and *sub-rounded*) and those with sharper/angular shapes (*angular* and *sub-angular*). Additionally, the research involves creating and testing mixtures using primary rounded sand mixed with three other types (*sub-rounded*, *sub-angular*, and *angular*). Various mixtures of *sub-rounded*, *sub-angular*, and *angular* sands will be added to the rounded sand as the primary material, with mixture percentages of 5%, 8%, 12%, and 15%. The testing results indicate that the optimal mixture involves adding *sub-rounded* sand to rounded sand, which increases the internal friction angle (ϕ) by up to 65,4% during natural testing conditions

Keywords: Sand; grain shape; angle of internal friction (ϕ); direct shear test

ABSTRAK

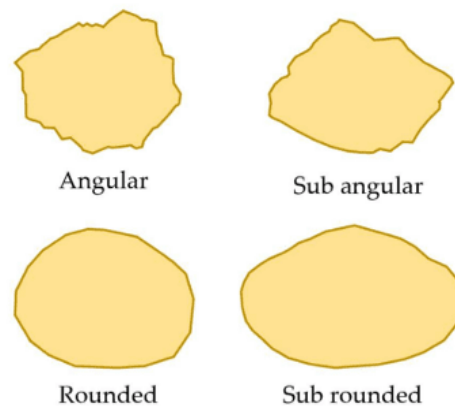
Bentuk fisik dari butiran pasir merupakan salah satu faktor penentu kekuatan geser yang akan dihasilkan dimana, semakin bersudut/tajam bentuk butiran pasir, maka cenderung menghasilkan sudut geser dalam (ϕ) yang tinggi serta memiliki kemampuan *interlocking* antar butiran yang kuat dan begitupun sebaliknya, semakin bulat bentuk partikel dari butiran pasir akan menghasilkan sudut geser dalam (ϕ) yang semakin rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mencoba membuktikan seberapa signifikan perbedaan dari kuat geser dalam (ϕ) pasir dengan bentuk yang paling bulat (*rounded*) dan cenderung bulat (*sub-rounded*) terhadap pasir dari bentuk yang tajam/bersudut (*angular*) dan cenderung tajam/bersudut (*sub-rounded*). Selain itu, penelitian ini membuat dan menguji campuran dengan material primer dari pasir jenis *rounded* yang dicampurkan dengan tiga jenis sampel lainnya (*sub-rounded*, *sub-angular* dan *angular*). Adapun variasi campuran pasir baik jenis *sub-rounded*, *sub-angular* maupun *angular* yang akan ditambahkan nantinya ke pasir jenis *rounded* sebagai material primer dengan persentase variasi campuran 5%, 8%, 12% dan 15%. Dari hasil pengujian didapatkan campuran optimum adalah pasir jenis *sub-rounded* yang ditambahkan terhadap pasir jenis *rounded* dimana, campuran pasir jenis *sub-rounded* dapat meningkatkan hingga 65,4% dari sudut geser dalam (ϕ) pasir *rounded* sewaktu pengujian natural.

Kata kunci: Pasir; bentuk butiran; sudut geser dalam (ϕ); uji geser langsung

1. PENDAHULUAN

Pasir merupakan tipe tanah yang mempunyai sifat yaitu non kohesif (*cohesionless soil*) dimana antar butirannya saling terlepas (*loose*). Hal ini dilihat pada kondisi pasir sewaktu kering yang mana butiran pasir yang akan terpisah-pisah, dan butiran pasir akan kembali bersatu pada kondisi basah. Hal ini terjadi dikarenakan adanya gaya tarik permukaan didalam air (Bowles, 1986). Dikarenakan pasir bersifat non-kohesif atau dapat diartikan nilai dari kohesi (c) sama dengan 0 (nol) atau $c = 0$. Nilai sudut geser (ϕ) pasir bergantung pada kepadatan pasir yang dipengaruhi juga oleh faktor gradasinya. Pasir yang padat mempunyai nilai sudut geser (ϕ) dengan range diantara $40^\circ - 45^\circ$, sedangkan pasir yang tidak padat mempunyai nilai sudut geser (ϕ) kurang lebih 30° (Wesley, 1977).

Pasir merupakan salah satu jenis tanah yang umum ditemui dalam rekayasa geoteknik. Bentuk butiran pasir memainkan peran penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan perilaku tanah tersebut. Pasir dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuknya menjadi 4 jenis utama (Gambar 1), antara *rounded* (bulat), *sub-rounded* (cenderung bulat), *angular* (tajam/bersudut), dan *sub-angular* (cenderung tajam/cenderung bersudut).



Gambar 1. 4 jenis umum pasir berdasarkan bentuk partikel-nya (Wang et al., 2022)

Dari sisi struktur, tanah pasir umumnya dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu struktur butir tunggal dan struktur sarang lebah. Pada struktur butir tunggal, butiran tanah berada dalam posisi yang stabil dan saling bersentuhan satu sama lain. Bentuk dan distribusi ukuran butiran tanah memiliki dampak pada kepadatan tanah. Sebagai contoh, untuk susunan yang sangat longgar, angka porositas mencapai 0,91, namun angka tersebut berubah menjadi 0,35 ketika pasir mengalami pemadatan. Sedangkan struktur sarang lebah, tanah membentuk lengkungan-lengkungan kecil dan terbentuk rantai butiran. Tanah dengan struktur ini memiliki porositas yang besar dan biasanya tidak dapat menopang beban statis yang berat. Oleh karena itu, ketika struktur tanah dengan jenis ini mengalami beban berat atau getaran, bisa menyebabkan kerusakan yang signifikan dan penurunan yang besar (Susilo et al., 2018).

Kekuatan butiran pasir ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk bentuk, ukuran, tekstur, susunan, dan struktur antar partikel pasir. Salah satu faktor yang penting adalah bentuk butiran pasir. Semakin tajam butiran pasir, maka semakin besar sudut geser (ϕ) yang dihasilkan. Ada enam jenis bentuk butiran pasir alami, yaitu *well rounded*, *rounded*, *sub-rounded*, *sub-angular*, *angular*, dan *very angular* (dari yang paling bulat bentuk butiran pasirnya hingga yang paling tajam). Setiap jenis bentuk butiran pasir tersebut memiliki pengaruh yang berbeda pada nilai sudut geser (ϕ) yang dihasilkan (Cho et al., 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa *signifikan* dapat menambah kuat geser pasir berbentuk *rounded* yang dikenal memiliki kuat geser yang rendah dibanding jenis pasir lainnya (berdasarkan bentuk partikel) dicampur dengan pasir bentuk lain (*sub-rounded*, *angular*, dan *sub-angular*), bentuk dari partikel pasir adalah sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kuat geser yang dihasilkan dalam ilmu mekanika tanah.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data pada penelitian ini adalah dari hasil uji laboratorium guna mendapatkan data-data dari sampel pasir yang diuji. Adapun pengujian yang dilakukan seperti mengetahui karakteristik dari masing-masing jenis pasir hingga pengujian geser langsung/*direct shear test* yang mengikuti standar SNI 3420:2016 dan ASTM D3080 baik pasir natural dan pasir setelah dicampur dimana. Sampel pasir terdiri atas pasir *rounded* yang berasal dari Lombok, sampel pasir *sub-rounded* yang berasal dari Garut, sampel pasir *sub-angular* (pasir kuarsa), dan sampel pasir *angular* yang berasal dari gunung dari sisa letusan gunung merapi tepatnya di Kabupaten Malang.

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap *index properties*, *sieve analysis*, dan uji geser langsung/*direct shear*. Menganalisis nilai kuat geser (ϕ) dari pasir yang natural (belum dicampur), kenaikan kuat geser (ϕ) pasir jenis *rounded* ketika sudah dicampur, dan campuran optimum variasi campuran 2 pasir yang berbeda.

Data yang telah dikumpulkan dari uji laboratorium sebelumnya akan diolah kembali menggunakan bantuan Microsoft Excel dan dianalisis sesuai dengan topik penelitian ini. Dimana, akhir dari hasil analisis dapat ditarik kesimpulan maupun saran baik melalui narasi penjelasan, tabel perhitungan, grafik hasil pengujian dan sebagainya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tarumanagara. Dari hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 1, semua sampel pasir jenis *rounded*, *sub-rounded*, dan *sub-angular* masuk ke dalam

klasifikasi pasir bergradasi buruk/*poorly graded sand* dan hanya sampel pasir jenis *angular* yang bergradasi bagus/*well graded sand* menurut USCS dari sumber ASTM D2487.

Tabel 1. Parameter tanah (pasir)

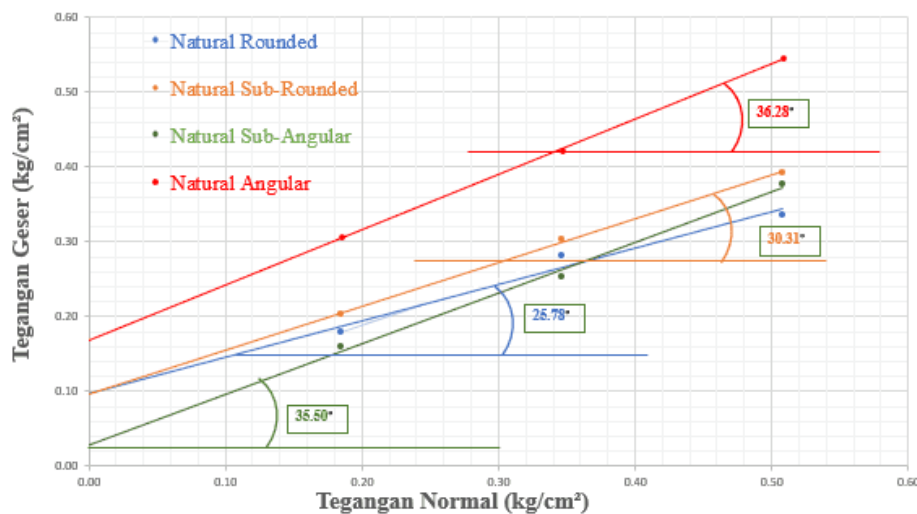
Uji Laboratorium	Sampel			
	<i>Rounded</i>	<i>Sub-Rounded</i>	<i>Sub-Angular</i>	<i>Angular</i>
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2,66	2,67	2,65	2,67
<i>Water Content</i> (%)	2,385	2,921	0,236	0,349
<i>Grain Size</i>				
Kerikil (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,47%
Pasir (%)	99,14%	99,73%	99,84%	98,73%
Lanau (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Lempung (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Klasifikasi Tanah (AASHTO)	A-1-b	A-3	A-1-a	A-1-a
Klasifikasi Tanah (USCS)	SP	SP	SP	SW

Hasil pengujian *direct shear* sampel natural

Dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2, pasir *rounded* memiliki sudut geser dalam (ϕ) yang terkecil diantara sampel pasir lainnya dan sampel pasir *angular* merupakan pasir dengan sudut geser dalam yang terbesar.

Tabel 2. Sudut geser dalam (ϕ) dari hasil pengujian uji geser langsung/*direct shear* manual natural sampel

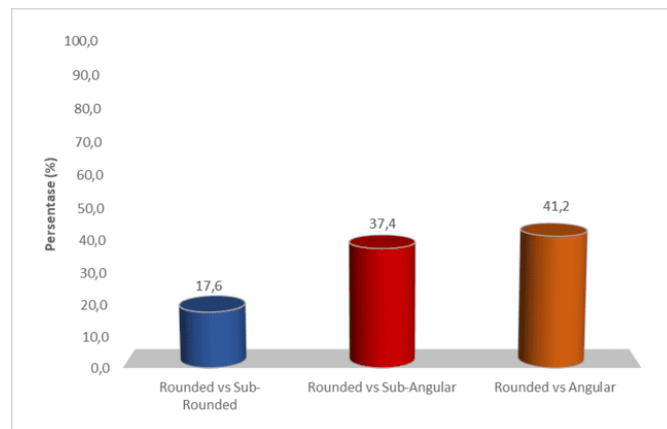
Jenis Pasir	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Pasir <i>Rounded</i>	25,83°
Pasir <i>Sub-Rounded</i>	30,37°
Pasir <i>Sub-Angular</i>	35,50°
Pasir <i>Angular</i>	36,46°



Gambar 2. Sudut geser dalam (ϕ) *direct shear* manual (sampel natural)

Dari hasil penginputan tegangan geser maksimal didapatkan sudut geser (ϕ) tertinggi dari pasir jenis *angular* sebesar 36,28°, sedangkan untuk sudut geser terendah dari pasir jenis *rounded* sebesar 26,78°. Untuk pasir jenis *sub-rounded* dan *sub-angular* masing-masing memiliki sudut geser sebesar 30,31° dan 35,50°.

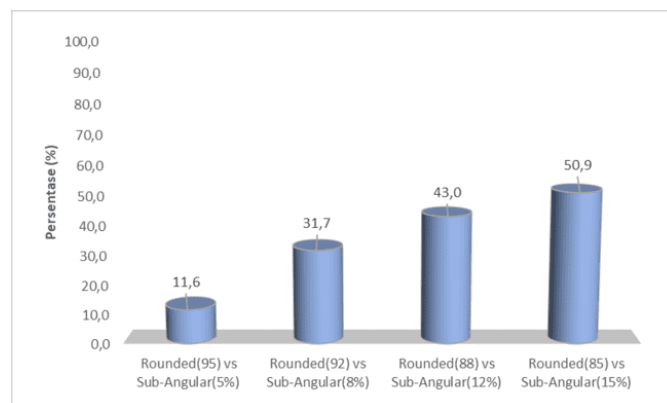
Dari Gambar 3 dapat dilihat persentase untuk hasil pengujian sampel pasir natural dimana, pasir *angular* sebagai sampel pasir dengan sudut geser yang tertinggi (Tabel 2) mencapai persentase perbedaan hingga 40,7%.



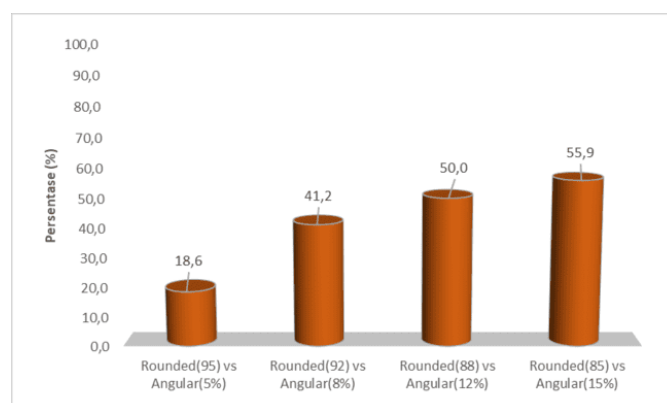
Gambar 3. Pebandingan sudut dalam pasir *rounded* natural dengan pasir *sub-rounded*, *sub-angular* dan *angular*

Hasil pengujian direct shear setelah dicampur

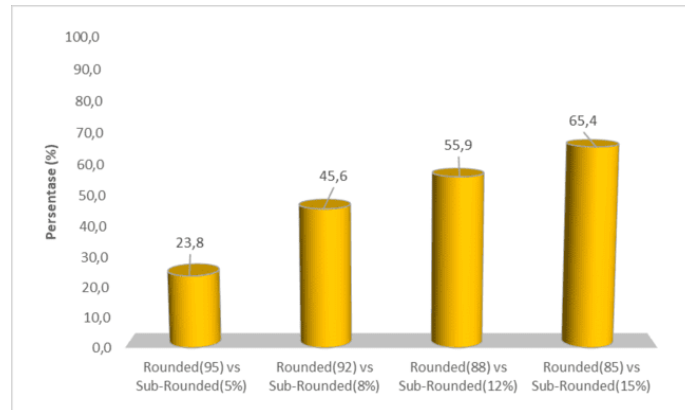
Dari hasil pengujian laboratorium didapatkan sampel dengan campuran 15% *sub-rounded* merupakan campuran dengan sudut geser (ϕ) tertinggi diantara campuran lainnya (Gambar 4-6). Dimana sudut geser (ϕ) yang dihasilkan adalah sebesar $42,7^\circ$ (**Error! Not a valid bookmark self-reference.**) dengan persentase kenaikan dari material primer yaitu pasir *rounded* pada penelitian ini sebesar 65,4% (Tabel 4).



Gambar 4. Persentase kenaikan sudut geser dalam (ϕ) pasir natural *rounded* setelah dicampur dengan pasir *sub-rounded*



Gambar 5. Persentase kenaikan sudut geser dalam (ϕ) pasir natural *rounded* setelah dicampur dengan pasir *Angular*



Gambar 6. Persentase kenaikan sudut geser dalam (ϕ) pasir natural *rounded* setelah dicampur dengan pasir *sub-Angular*

Tabel 3. Sudut geser dalam (ϕ) uji geser langsung/*direct shear* manual untuk sampel campuran

Jenis Pasir	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Pasir <i>Rounded</i> (95%) + <i>Sub-Rounded</i> (5%)	32,0°
Pasir <i>Rounded</i> (92%) + <i>Sub-Rounded</i> (8%)	37,6°
Pasir <i>Rounded</i> (88%) + <i>Sub-Rounded</i> (12%)	40,3°
Pasir <i>Rounded</i> (85%) + <i>Sub-Rounded</i> (15%)	42,7°
Pasir <i>Rounded</i> (95%) + <i>Sub-Angular</i> (5%)	28,8°
Pasir <i>Rounded</i> (92%) + <i>Sub-Angular</i> (8%)	34,0°
Pasir <i>Rounded</i> (88%) + <i>Sub-Angular</i> (12%)	36,9°
Pasir <i>Rounded</i> (85%) + <i>Sub-Angular</i> (15%)	39,0°
Pasir <i>Rounded</i> (95%) + <i>Angular</i> (5%)	30,6°
Pasir <i>Rounded</i> (92%) + <i>Angular</i> (8%)	36,5°
Pasir <i>Rounded</i> (88%) + <i>Angular</i> (12%)	38,7°
Pasir <i>Rounded</i> (85%) + <i>Angular</i> (15%)	40,3°

Tabel 4. Persentase kenaikan pasir *rounded* setelah dicampur

Jenis Pasir	Sudut geser dalam (ϕ)	Persentase Kenaikan Pasir <i>Rounded</i> (%) (Sebagai pembandingan)
Pasir <i>rounded</i>	25,8°	
Pasir <i>Rounded</i> (95%) + <i>Sub-rounded</i> (5%)	32,0°	23,8
Pasir <i>Rounded</i> (92%) + <i>Sub-rounded</i> (8%)	37,6°	45,6
Pasir <i>Rounded</i> (88%) + <i>Sub-rounded</i> (12%)	40,3°	55,9
Pasir <i>Rounded</i> (85%) + <i>Sub-rounded</i> (15%)	42,7°	65,4
Pasir <i>Rounded</i> (95%) + <i>Sub-Angular</i> (5%)	28,8°	11,6
Pasir <i>Rounded</i> (92%) + <i>Sub-Angular</i> (8%)	34,0°	31,7
Pasir <i>Rounded</i> (88%) + <i>Sub-Angular</i> (12%)	36,9°	43,0
Pasir <i>Rounded</i> (85%) + <i>Sub-Angular</i> (15%)	39,0°	50,9
Pasir <i>Rounded</i> (95%) + <i>Angular</i> (5%)	30,6°	18,6
Pasir <i>Rounded</i> (92%) + <i>Angular</i> (8%)	36,5°	41,2
Pasir <i>Rounded</i> (88%) + <i>Angular</i> (12%)	38,7°	50,0
Pasir <i>Rounded</i> (85%) + <i>Angular</i> (15%)	40,3°	55,9

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian laboratorium, pengolahan data hingga analisis data didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji laboratorium membuktikan bahwa semakin bulat (*rounded* dan *sub-rounded*) bentuk dari partikel pasir maka sudut geser dalam (ϕ) yang dihasilkan akan semakin kecil dan sebaliknya, jika bentuk partikel pasir semakin tajam/bersudut (*angular* dan *sub-angular*) maka akan menghasilkan sudut geser dalam

- (ϕ) semakin besar. Pasir *rounded* memiliki sudut geser sebesar $25,8^\circ$ cukup berbeda dengan pasir *angular* yang mencapai sudut tertinggi dari yang lain sebesar $37,4^\circ$ dengan persentase perbedaannya sebesar 41,2%.
2. Dari hasil pengujian didapatkan campuran optimum adalah campuran dengan pasir *sub-rounded*. Dimana, sudut geser tertinggi sebesar $42,7^\circ$, dan setelah dibandingkan dengan tanpa campuran (natural *rounded*) persentase perbaikan sampel pasir tersebut mencapai perbaikan tertinggi hingga 65,4% diatas pencampuran *angular* dan *sub-angular*.
 3. Pada penelitian ini didapatkan sudut geser dalam (ϕ) campuran *sub-rounded* merupakan campuran dengan sudut geser dalam (ϕ) yang terbesar. Hal ini dikarenakan, dari keempat jenis sampel (secara keseluruhan) pasir *sub-rounded* memiliki ukuran partikel butiran yang terkecil. Sehingga sewaktu dicampur dengan pasir *rounded* (material primer) pasir *sub-rounded* mampu mengisi rongga yang ada diantara partikel pasir *rounded*. Sehingga, meningkatkan sudut geser dalam (ϕ) yang lebih besar dari variasi campuran lainnya (campuran *sub-angular* dan campuran *angular*).

Saran

1. Sewaktu proses pengujian sampel campuran untuk uji *direct shear*, tidak dilakukan *grain size analysis* (*sieve analysis*) pada sampel yang tersisa setelah pengujian *direct shear*. Jika penelitian ini akan dilanjutkan atau dikembangkan, disarankan untuk melakukan *sieve analysis* terhadap sampel campuran untuk melihat kurva dari penyebaran butiran dari sampel campuran tersebut. Hal ini disebabkan karena hasil *plotting* distribusi butiran merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan geser tanah (ϕ), khususnya pada pasir, yang menjadi fokus penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2017). *Standard classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)* (ASTM D2487-17).
- ASTM International. (2011). *Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions* (ASTM D3080/D3080M-11).
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase* (SNI 3420:2016).
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill.
- Cho, G.-C., Dodds, J., & Santamarina, J. C. (2006). Particle shape effects on packing density, stiffness, and strength: Natural and crushed sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(5), 591–602. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2006\)132:5\(591\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2006)132:5(591))
- Das, B. M. 1985. *Soil mechanics (principles of geotechnical engineering)*. PWS Publishing Company.
- Susilo, A. J., Sentosa, G. S., Sumarli, I., & Prihatiningsih, A. (2018). Karakteristik parameter kekuatan tanah yang dipadatkan dengan uji triaksial metode UU. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, Dan Ilmu Kesehatan*, 2(2), 572–579. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v2i2.2721>
- Wang, R., Ong, D. E. L., Peerun, M. I., & Jeng, D. S. (2022). Influence of surface roughness and particle characteristics on soil–structure interactions: A state-of-the-art review. *Geosciences (Switzerland)*, 12(4), 1–36. <https://doi.org/10.3390/geosciences12040145>