

EVALUASI PERMEABILITAS CAMPURAN TANAH BSD DENGAN VARIASI BENTUK BUTIRAN PASIR MENGGUNAKAN METODE *FALLING HEAD*

Shauqy Azka Gumilar¹, Daniel Christianto¹, dan Amelia Yuwono^{1*}

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
*ameliay@dt.untar.ac.id

Masuk: 02-07-2025, revisi: 24-11-2025, diterima untuk diterbitkan: 07-01-2026

ABSTRACT

This study aims to evaluate the permeability levels of soil and various types of sand, as well as to examine the influence of their physical properties on permeability values. The soil sample was sourced from Bumi Serpong Damai (BSD), while the sand samples consisted of six variants: Red Malang Sand, Black Malang Sand, river sand, Cibeet Sand, Lombok Sand, and Garut Sand. The research involved a series of laboratory tests, including index properties, Atterberg limits, soil compaction, and permeability testing using the falling-head method. The falling head tests employed standpipes with three different diameters of 4 mm, 6 mm, and 10 mm. The findings reveal that the physical characteristics of the sand—such as grain size distribution, gradation, density, and moisture content—significantly affect the permeability values. Moreover, the combination of soil and sand with mixture variations of 20%, 30%, and 40% also influences permeability levels, with higher sand content generally resulting in greater permeability. These results provide insight into the permeability variations among different soil and sand types, which could serve as a valuable reference in construction planning and implementation. This study is also expected to contribute to more effective permeability control strategies.

Keywords: Permeability; index properties; atterberg limit; grainsize analysis; compaction

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat permeabilitas pada tanah dan berbagai jenis pasir serta menelaah pengaruh sifat-sifat fisik terhadap nilai permeabilitas tersebut. Tanah diambil dari Bumi Serpong Damai (BSD), sementara pasir yang digunakan terdiri dari enam varian, yaitu Pasir Malang Merah, Pasir Malang Hitam, pasir sungai, Pasir Cibeet, Pasir Lombok, dan Pasir Garut. Proses penelitian dilakukan melalui sejumlah uji laboratorium, meliputi pengujian *index properties*, *Atterberg limit*, pemadatan tanah (*compaction*), serta uji permeabilitas dengan metode *falling head*. Pengujian *falling head* ini menggunakan selang ukur dengan tiga variasi diameter yaitu 4 mm, 6 mm, dan 10mm. Temuan menunjukkan bahwa karakteristik fisik pasir, seperti distribusi ukuran butir, tingkat gradasi, densitas, dan kadar air, berpengaruh signifikan terhadap nilai permeabilitas. Selain itu, kombinasi tanah dan pasir dengan variasi campuran 20%, 30%, dan 40% juga memengaruhi tingkat permeabilitas; di mana proporsi pasir yang lebih tinggi cenderung meningkatkan permeabilitas campuran. Hasil ini memberikan pemahaman mengenai variasi permeabilitas pada berbagai jenis pasir dan tanah, yang berpotensi menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi dalam upaya pengendalian permeabilitas secara lebih efektif.

Kata Kunci: Permeabilitas; *index properties*; *Atterberg limit*; *grainsize analysis*; *compaction*

1. PENDAHULUAN

Mekanika tanah merupakan cabang ilmu yang mengkaji sifat dan perilaku tanah sebagai material dalam konstruksi. Ilmu ini mengenalkan berbagai parameter penting yang digunakan untuk menganalisis karakteristik lapisan tanah. Salah satu parameter tersebut adalah permeabilitas, yaitu kemampuan tanah dalam mengalirkan air melalui pori-porinya, seolah-olah berfungsi sebagai saluran. Nilai permeabilitas ini memiliki peran penting dalam berbagai aspek, termasuk kestabilan lereng, sistem pondasi, serta dinamika air tanah. Studi komparatif sering kali dilakukan untuk memvalidasi nilai koefisien permeabilitas (k) yang diperoleh dari berbagai metode pengujian, termasuk perbandingan antara hasil uji lapangan dan uji laboratorium (Chen & Sentosa, 2020).

Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis tanah, ukuran butiran, tingkat kepadatan, serta kadar kelembapan. Tanah berbutir halus seperti lempung cenderung memiliki tingkat permeabilitas yang rendah, sedangkan tanah berbutir kasar seperti pasir menunjukkan permeabilitas yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai variasi karakteristik ini sangat penting dalam tahap perencanaan dan pelaksanaan

konstruksi, khususnya pada proyek yang berlokasi di area dengan kondisi geologi kompleks atau persebaran tanah yang tidak merata. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai permeabilitas tanah dan pasir melalui pengujian laboratorium menggunakan metode uji permeabilitas.

Penelitian ini akan menggunakan sampel tanah yang berasal dari Bumi Serpong Damai (BSD) serta enam jenis pasir dari lokasi yang berbeda, yaitu Pasir Malang Merah, Pasir Malang Hitam, pasir sungai, Pasir Cibeet, Pasir Lombok, dan Pasir Garut. Selain bentuk butiran pasir, proporsi pasir yang dicampurkan ke dalam tanah juga memengaruhi tingkat permeabilitasnya. Dalam studi ini, variasi campuran pasir yang diterapkan adalah sebesar 20%, 30%, dan 40% dari total volume tanah, untuk memperoleh gambaran yang menyeluruh mengenai karakteristik permeabilitas di lokasi penelitian. Uji permeabilitas dilakukan menggunakan metode *falling head* dengan bantuan manometer berdiameter 4 mm, 6 mm, dan 10 mm untuk mengamati pengaruh variasi alat terhadap hasil pembacaan tekanan air.

Soil

Tanah merupakan kumpulan partikel mineral alami yang dapat terurai atau terpisah melalui proses mekanis, terutama ketika tercampur dengan air. Sebaliknya, batuan tersusun atas agregat mineral yang terikat kuat melalui gaya kohesi permanen, sehingga tidak mudah terpecah hanya dengan perlakuan mekanis biasa (Darwis, 2018).

Dalam klasifikasi tanah menurut sistem *unified soil classification system* (USCS), tanah lempung (*clay*) tergolong dalam jenis tanah berbutir halus (*fine-grained soil*) yang memiliki tingkat plastisitas yang tinggi. Tanah ini tersusun dari partikel mineral berukuran sangat kecil, biasanya kurang dari 0,002 mm.

Sand

Pasir adalah material granular yang tersusun dari partikel mineral dengan ukuran berkisar antara 0,075 mm hingga 4,75 mm. Material ini termasuk dalam klasifikasi tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*) dan dikenal memiliki sifat mekanik yang baik, seperti tingkat kekuatan geser yang tinggi dan kemampuan permeabilitas yang optimal (Holtz et al., 2017).

Menurut USCS, pasir (*sand*) termasuk dalam kategori tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*) yang tersusun dari partikel mineral berukuran antara 0,075 mm (saringan No. 200) hingga 4,75 mm (saringan No. 4). Sebagai tanah *granular*, pasir tidak memiliki sifat kohesi (tidak saling melekat) dan memiliki kemampuan drainase yang baik akibat porositasnya yang tinggi

Permeability

Permeabilitas adalah sifat tanah yang menentukan seberapa cepat air dapat mengalir melalui ruang pori di dalamnya. Tanah dengan butiran kasar, seperti pasir, umumnya memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi, sementara tanah berbutir halus, seperti lempung, menunjukkan permeabilitas yang relatif rendah (Brady & Well, 2016).

Menurut USCS, permeabilitas mengacu pada kemampuan tanah untuk meloloskan air melalui pori – porinya.

Falling head test

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bentuk butiran pasir terhadap nilai koefisien permeabilitas tanah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar campuran pasir terhadap nilai permeabilitas, serta mengkaji pengaruh variasi ukuran selang pada metode uji *falling head* terhadap hasil pengujian permeabilitas (Persamaan 1).

$$k = \frac{2,3 \times a \times L}{A \times t} \times \log 10 \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (1)$$

dengan k = koefisien permeabilitas, a = luas penampang tabung manometer, L = panjang sampel tanah, A = luas penampang sampel tanah, t = waktu perubahan *head*, h₁ = tinggi awal air, h₂ = tinggi akhir air.

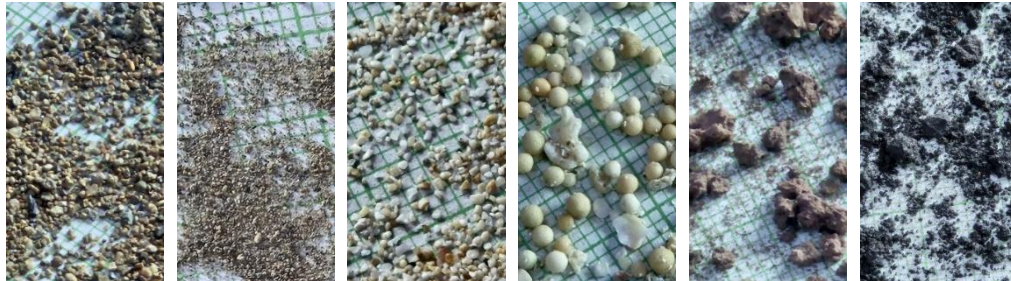
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur terhadap berbagai sumber yang relevan. Berdasarkan hasil studi yang telah dilaksanakan, diperoleh bahwa beberapa parameter perlu dicari terlebih dahulu sebagai landasan dalam pengambilan kesimpulan.

Sebagai batasan penelitian, sampel tanah yang digunakan berasal dari daerah Bumi Serpong Damai (BSD) dan enam jenis pasir (Pasir Cibeet, pasir sungai lumpur, Pasir Garut, Pasir Lombok, Pasir Malang Merah, dan Pasir Malang Hitam). Pembatasan ini penting untuk diperhatikan mengingat sifat tanah serta temuan penelitian kemungkinan akan bervariasi jika dibandingkan dengan lokasi lain.

Setiap jenis pasir yang digunakan memiliki bentuk butiran yang berbeda, yang dapat memengaruhi nilai permeabilitas tanah campuran.

Gambar 1 dari kiri ke kanan: Pasir Cibeet, pasir sungai lumpur, Pasir Garut, Pasir Lombok, Pasir Malang Merah, Pasir Malang Hitam.



Gambar 1. Bentuk butiran pasir

Adapun deskripsi umum bentuk butiran masing-masing pasir adalah sebagai berikut:

- a) Pasir Cibeet, *angular-subangular*.
- b) Pasir sungai lumpur, *subrounded-rounded*.
- c) Pasir Garut, *subangular-subrounded*.
- d) Pasir Lombok, *rounded*.
- e) Pasir Malang Merah, *angular-very angular*.
- f) Pasir Malang Hitam, *angular-very angular*.

Parameter yang diperlukan diperoleh melalui serangkaian pengujian sampel tanah di laboratorium, mengacu pada standar American Society of Testing Material (ASTM D422-63, ASTM D698-12, ASTM D5856-15, ASTM D2488-17e1, ASTM D4318-17, ASTM D7928-17). Beberapa jenis pengujian beserta parameter yang diamati antara lain adalah:

- 1) *Index Properties*
 - *Specific Gravity*
- 2) *Atterberg Limit Test*
 - *Liquid Limit*
 - *Plastic Limit*
 - *Plasticity Index*
- 3) *Grainsize Analysis*
 - *Sieve Analysis*
 - *Hydrometer Analysis*
- 4) *Compaction*
 - *Optimum Moisture Content*
 - *Compaction Curve*
- 5) *Permeability*
 - *Coefficient of Permeability*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

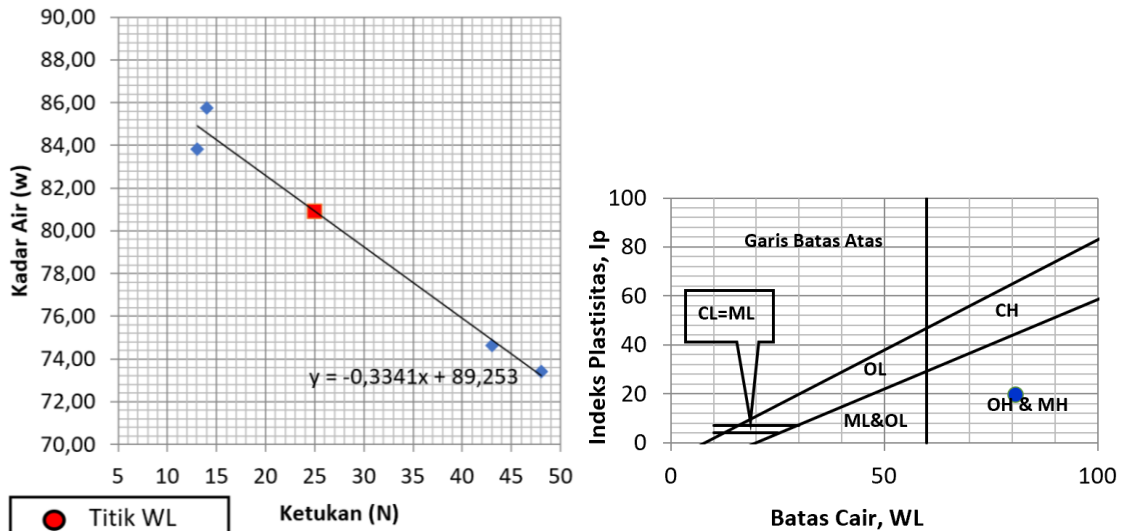
Hasil uji sampel dilampirkan pada Tabel 1-9 dan Gambar 2-8.

Tabel 1. Hasil uji index properties

Item	suhu			Value of K			Hasil Gs pengujian ke-		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tanah BSD	24	24	25	0,9991	0,9991	0,9989	2,64	2,64	2,62
Pasir Cibeet	24	24	24	0,9991	0,9991	0,9991	2,74	2,70	2,68
Pasir sungai lumpur	24	24	24	0,9991	0,9991	0,9991	2,66	2,69	2,60
Pasir Garut	24	24	24	0,9991	0,9991	0,9991	2,75	2,69	2,73
Pasir Lombok	24	24	24	0,9991	0,9991	0,9991	2,74	2,63	2,62
Pasir Malang Merah	24	24	24	0,9991	0,9991	0,9991	2,81	2,85	2,83
Pasir Malang Hitam	24	24	25	0,9991	0,9991	0,9989	2,84	2,81	2,75

Tabel 2. Hasil uji *Atterberg limit*

<i>Liquid Limit (LL)</i> =	80,9005%
<i>Plastic Limit (PL)</i> =	61,47%
<i>Index Plasticity (PI)</i> =	19,43%
<i>Liquidity Index (LI)</i> =	-2,56%



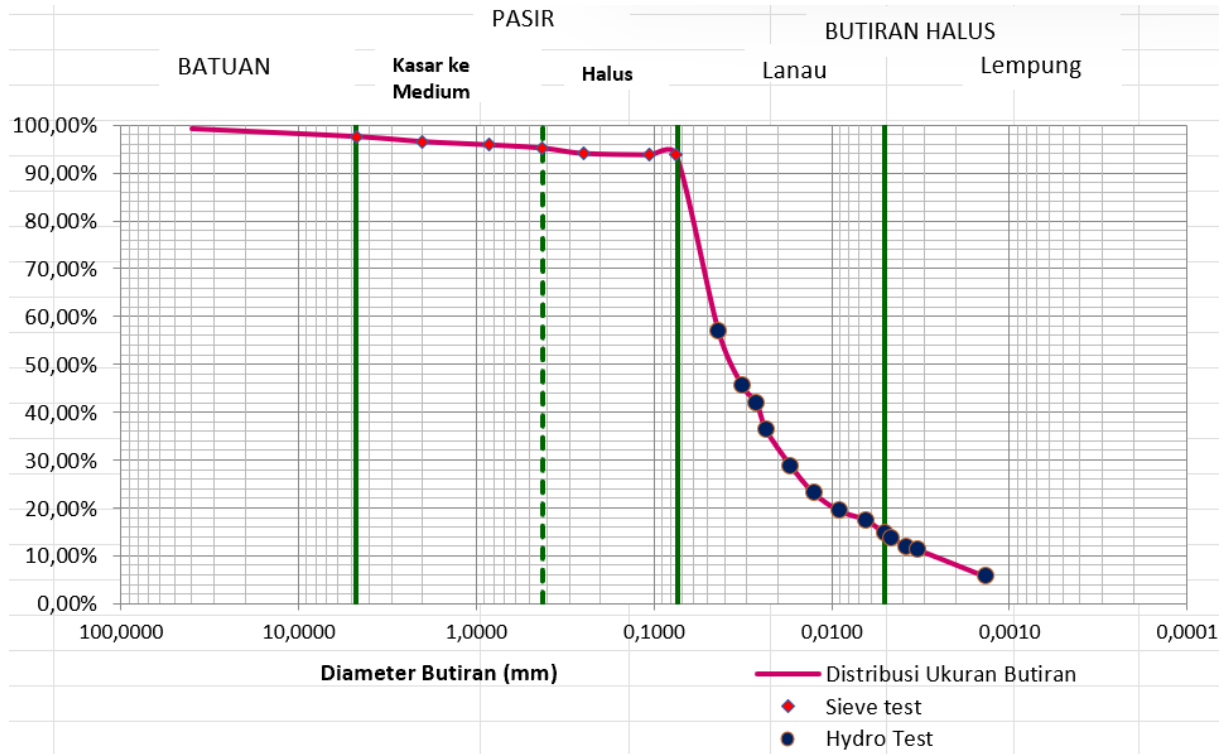
Gambar 2. Grafik LL dan IP

Tabel 3. Hasil uji *grainsize analysis*

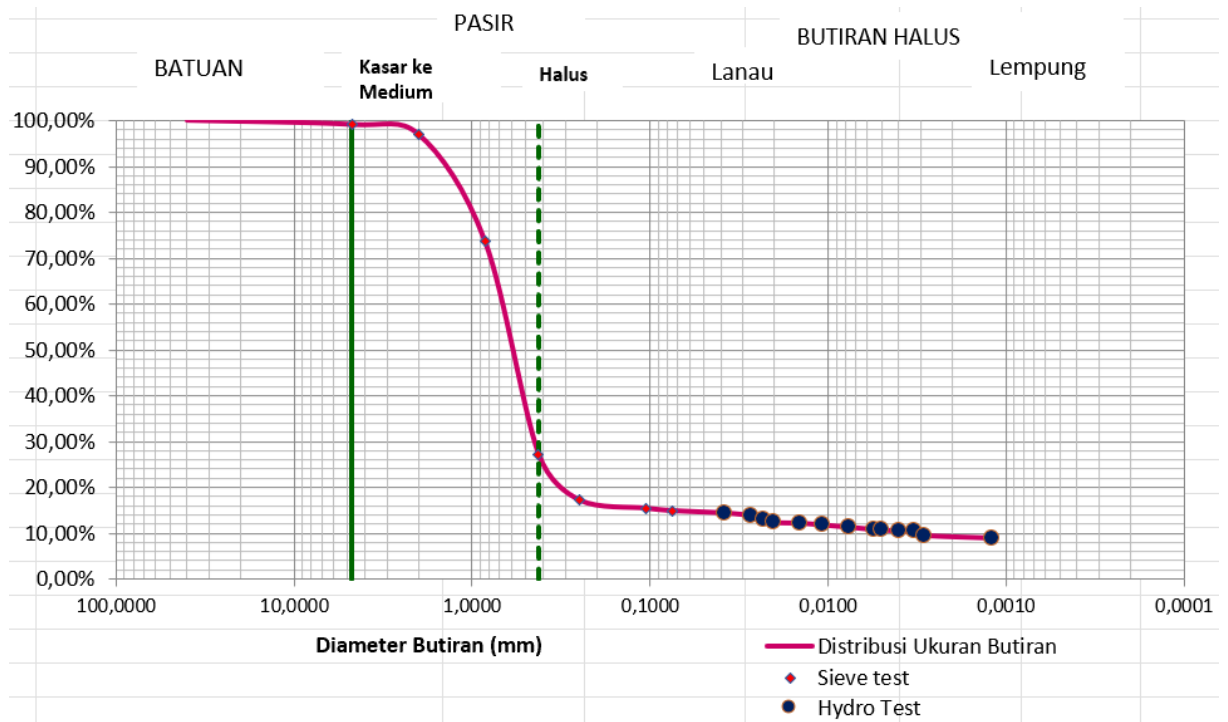
	<i>Percentage (%)</i>			
	<i>Gravel</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Clay</i>
Tanah BSD 1	2,38	5,48	79,19	14,59
Tanah BSD 2	5,06	5,45	75,76	15,55
Tanah BSD 3	4,44	4,45	73,20	19,07
Pasir Cibeet	0,92	85,12	4,24	10,64
Pasir sungai lumpur	0,88	85,00	5,86	9,12
Pasir Garut	0,22	89,04	5,35	5,61
Pasir Lombok	0	100	0	0
Pasir Malang Merah	44,5	43,78	4,79	6,93

Tabel 4. Hasil uji *compaction test*

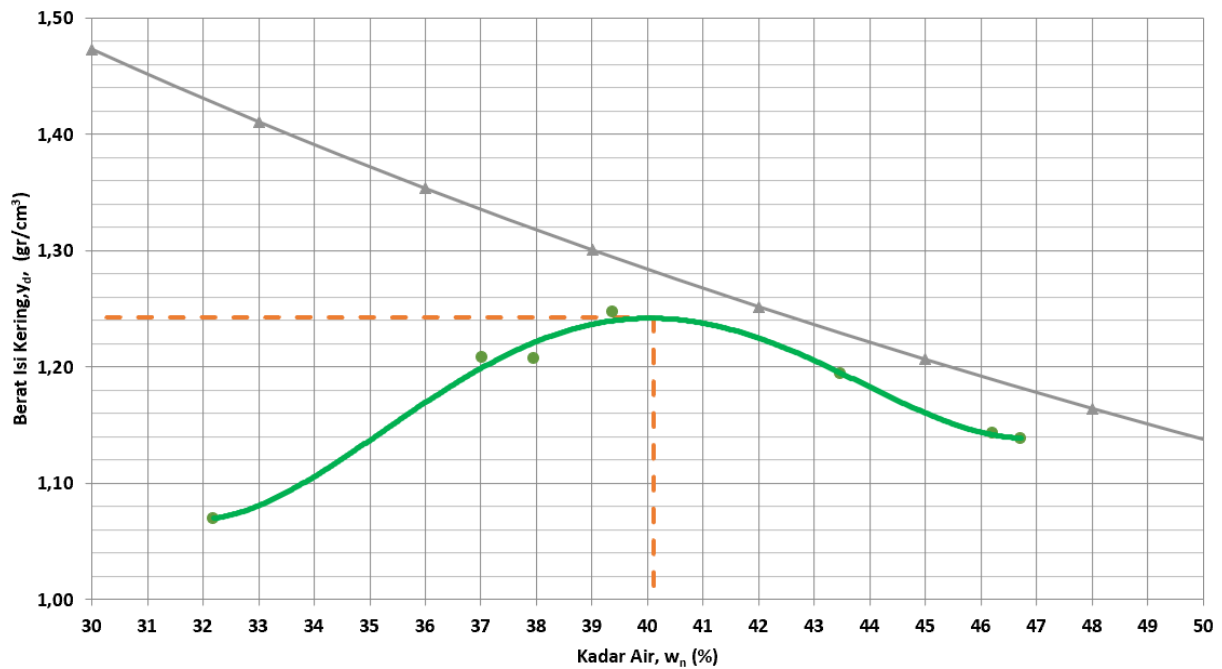
	<i>Water Content (%)</i>	<i>γ_{dry} (gr/cm³)</i>
Uji Pemadatan 1	24,64	1,09
Uji Pemadatan 2	30,21	1,07
Uji Pemadatan 3	32,19	1,07
Uji Pemadatan 4	37,04	1,21
Uji Pemadatan 5	37,96	1,21
Uji Pemadatan 6	39,38	1,25
Uji Pemadatan 7	43,47	1,19
Uji Pemadatan 8	46,73	1,14
Uji Pemadatan 9	46,22	1,14



Gambar 3. Contoh grafik *grainsize analysis* tanah BSD 1.



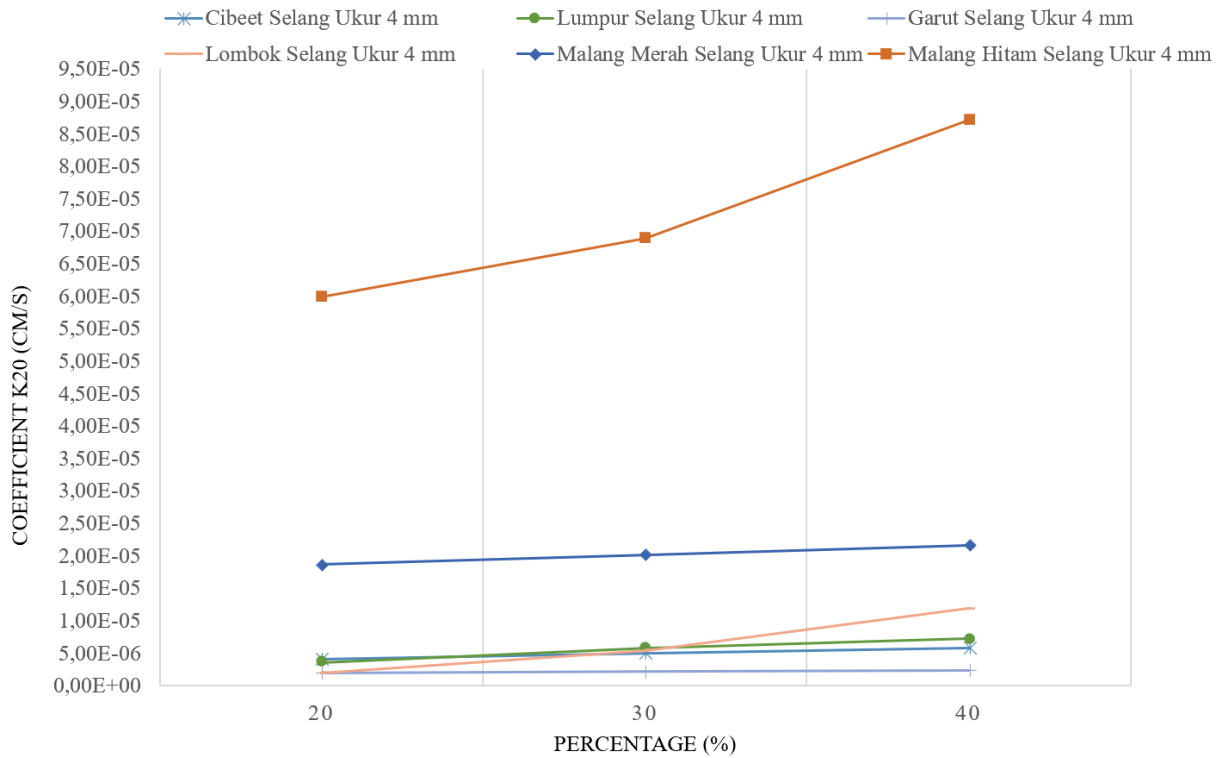
Gambar 4. Contoh grafik *grainsize analysis* Pasir Cibebet



Gambar 5. Grafik *compaction test standard of BSD soil*

Tabel 5. Hasil uji *permeability test* tanah BSD + pasir di selang ukur 4 mm

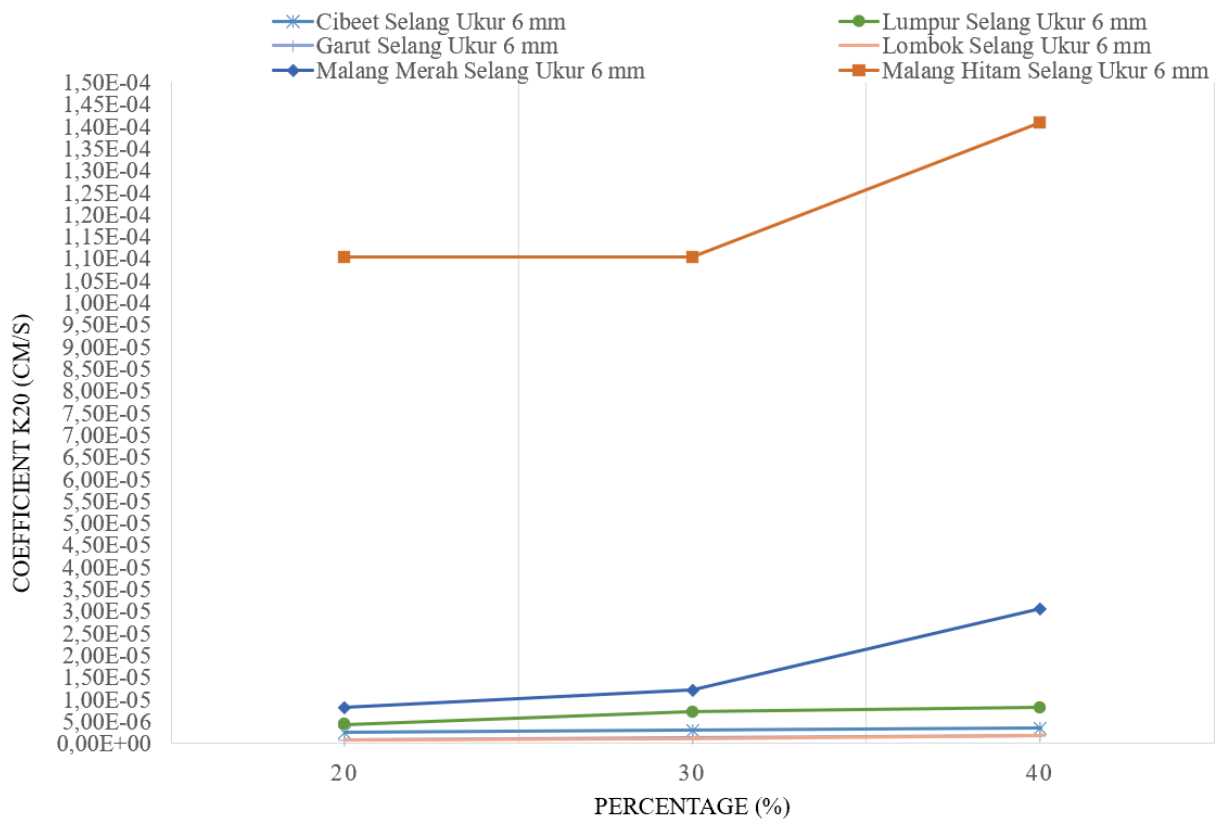
<i>Jenis Pasir</i>	<i>Coefficient of permeability (k) (cm/s)</i>	kt	k20, (cm/s)	<i>Jenis Pasir</i>	<i>Coefficient of permeability (k) (cm/s)</i>	kt	k20, (cm/s)
Cibeet 20%	$4,47 \times 10^{-6}$	0,906	$4,05 \times 10^{-6}$	Lombok	$5,94 \times 10^{-6}$	0,906	$5,38 \times 10^{-6}$
Cibeet 30%	$5,44 \times 10^{-6}$	0,906	$4,93 \times 10^{-6}$	Lombok	$1,31 \times 10^{-5}$	0,906	$1,19 \times 10^{-5}$
Cibeet 40%	$6,44 \times 10^{-6}$	0,906	$5,84 \times 10^{-6}$	Malang	$2,06 \times 10^{-5}$	0,906	$1,87 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 20%	$4,00 \times 10^{-6}$	0,906	$3,62 \times 10^{-6}$	Merah 20%	$2,22 \times 10^{-5}$	0,906	$2,01 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 30%	$6,44 \times 10^{-6}$	0,906	$5,84 \times 10^{-6}$	Merah 30%	$2,38 \times 10^{-5}$	0,906	$2,16 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 40%	$7,99 \times 10^{-6}$	0,906	$7,24 \times 10^{-6}$	Merah 40%	$6,61 \times 10^{-5}$	0,906	$5,99 \times 10^{-5}$
Garut 20%	$2,16 \times 10^{-6}$	0,906	$1,96 \times 10^{-6}$	Malang hitam 20%	$7,60 \times 10^{-5}$	0,906	$6,89 \times 10^{-5}$
Garut 30%	$2,39 \times 10^{-6}$	0,906	$2,16 \times 10^{-6}$	Malang hitam 30%	$9,62 \times 10^{-5}$	0,906	$8,72 \times 10^{-5}$
Garut 40%	$2,61 \times 10^{-6}$	0,906	$2,37 \times 10^{-6}$	Malang hitam 40%			
Lombok 20%	$2,16 \times 10^{-6}$	0,906	$1,96 \times 10^{-6}$				



Gambar 6. Grafik coefficient vs percentage permeability test of 4 mm standpipe

Tabel 6. Hasil uji permeability test tanah BSD + pasir di selang ukur 6 mm

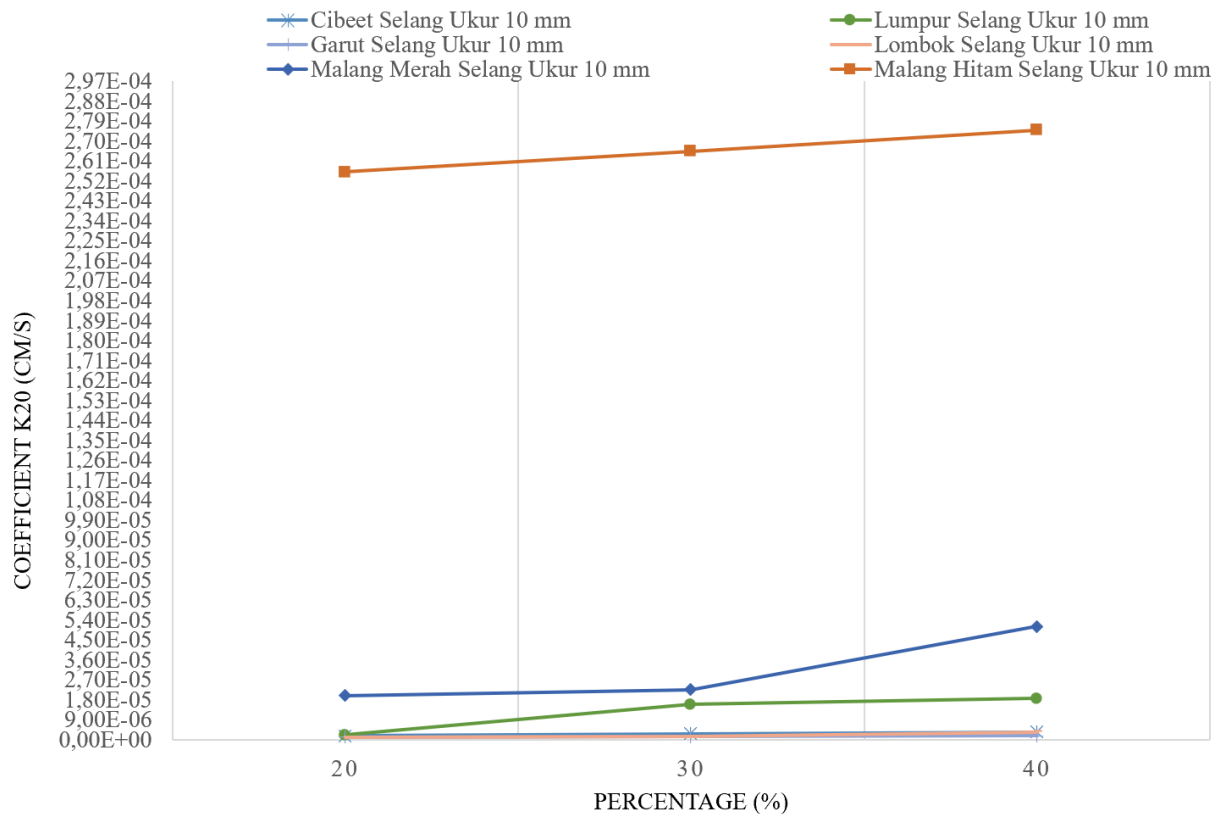
Jenis Pasir	Coefficient of permeability (k) (cm/s)	kt	k20, (cm/s)	Jenis Pasir	Coefficient of permeability (k) (cm/s)	kt	k20, (cm/s)
Cibeeet 20%	$2,89 \times 10^{-6}$	0,906	$2,61 \times 10^{-6}$	Lombok 30%	$1,33 \times 10^{-6}$	0,906	$1,21 \times 10^{-6}$
Cibeeet 30%	$3,28 \times 10^{-6}$	0,906	$2,97 \times 10^{-6}$	Lombok 40%	$1,91 \times 10^{-6}$	0,906	$1,73 \times 10^{-6}$
Cibeeet 40%	$3,87 \times 10^{-6}$	0,906	$3,51 \times 10^{-6}$	Malang Merah 20%	$9,00 \times 10^{-6}$	0,906	$8,15 \times 10^{-6}$
Sungai Lumpur 20%	$4,87 \times 10^{-6}$	0,906	$4,41 \times 10^{-6}$	Malang Merah 30%	$1,34 \times 10^{-5}$	0,906	$1,21 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 30%	$7,95 \times 10^{-6}$	0,906	$7,20 \times 10^{-6}$	Malang Merah 40%	$3,38 \times 10^{-5}$	0,906	$3,06 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 40%	$9,00 \times 10^{-6}$	0,906	$8,15 \times 10^{-6}$	Malang hitam 20%	$1,22 \times 10^{-4}$	0,906	$1,10 \times 10^{-4}$
Garut 20%	$9,50 \times 10^{-7}$	0,906	$8,61 \times 10^{-7}$	Malang hitam 30%	$1,27 \times 10^{-4}$	0,906	$1,15 \times 10^{-4}$
Garut 30%	$1,43 \times 10^{-6}$	0,906	$1,29 \times 10^{-6}$	Malang hitam 40%	$1,56 \times 10^{-4}$	0,906	$1,41 \times 10^{-4}$
Garut 40%	$1,91 \times 10^{-6}$	0,906	$1,73 \times 10^{-6}$				
Lombok 20%	$9,50 \times 10^{-7}$	0,906	$8,61 \times 10^{-7}$				



Gambar 7. Grafik *coefficient vs percentage permeability test of 6 mm standpipe*

Tabel 7. Hasil uji *permeability test tanah BSD + pasir di selang ukur 10 mm*

<i>Jenis Pasir</i>	<i>Coefficient of permeability (k) (cm/s)</i>	<i>kt</i>	<i>k20, (cm/s)</i>	<i>Jenis Pasir</i>	<i>Coefficient of permeability (k) (cm/s)</i>	<i>kt</i>	<i>k20, (cm/s)</i>
Cibeeet 20%	$2,11 \times 10^{-6}$	0,906	$1,91 \times 10^{-6}$	Lombok 30%	$1,84 \times 10^{-6}$	0,906	$1,67 \times 10^{-6}$
Cibeeet 30%	$2,90 \times 10^{-6}$	0,906	$2,63 \times 10^{-6}$	Lombok 40%	$2,64 \times 10^{-6}$	0,906	$2,39 \times 10^{-6}$
Cibeeet 40%	$3,97 \times 10^{-6}$	0,906	$3,60 \times 10^{-6}$	Malang Merah 20%	$2,21 \times 10^{-5}$	0,906	$2,00 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 20%	$2,64 \times 10^{-6}$	0,906	$2,39 \times 10^{-6}$	Malang Merah 30%	$2,50 \times 10^{-5}$	0,906	$2,27 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 30%	$1,78 \times 10^{-5}$	0,906	$1,61 \times 10^{-5}$	Malang Merah 40%	$5,67 \times 10^{-5}$	0,906	$5,14 \times 10^{-5}$
Sungai Lumpur 40%	$2,06 \times 10^{-5}$	0,906	$1,87 \times 10^{-5}$	Malang hitam 20%	$2,83 \times 10^{-4}$	0,906	$2,56 \times 10^{-4}$
Garut 20%	$1,32 \times 10^{-6}$	0,906	$1,19 \times 10^{-6}$	Malang hitam 30%	$2,93 \times 10^{-4}$	0,906	$2,65 \times 10^{-4}$
Garut 30%	$1,58 \times 10^{-6}$	0,906	$1,43 \times 10^{-6}$	Malang hitam 40%	$3,03 \times 10^{-4}$	0,906	$2,75 \times 10^{-4}$
Garut 40%	$2,11 \times 10^{-6}$	0,906	$1,91 \times 10^{-6}$				
Lombok 20%	$1,32 \times 10^{-6}$	0,906	$1,19 \times 10^{-6}$				



Gambar 8. Grafik coefficient vs percentage permeability test of 10 mm standpipe

Tabel 8. Reference values of permeability coefficient (k) (Das & Sobhan, 2018)

Kategori	Rentang k (m/s)	Jenis Tanah Umum
Sangat Permeabel	$> 10^{-1}$	Kerikil, pasir sangat kasar
Permeabel Tinggi	$10^{-1} - 10^{-2}$	Pasir kasar
Permeabel Sedang	$10^{-2} - 10^{-3}$	Pasir sedang
Permeabel Rendah	$10^{-3} - 10^{-4}$	Pasir halus / lanau
Hampir Tidak Permeabel	$10^{-4} - 10^{-5}$	Lanau berlempung / lempung
Sangat Kedap	$< 10^{-5}$	Lempung berat

Tabel 9. Tabel acuan parameter hydraulic conductivity (Powers et al., 2007)

USCS	Hydraulic Conductivity cm/sec
GP (open work)	> 1
GP (uniform gravel)	0,2 to 1
GW	0,05 to 0,3
SP	0,005 to 0,2
SW	0,001 to 0,1
SM	0,001 to 0,005
SC	0,0001 to 0,001
ML	0,00005 to 0,0001
CL	1×10^{-8} to 0,00001

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil pengujian *Index Properties* menunjukkan bahwa tanah asli Bumi Serpong Damai (BSD) dan keenam jenis pasir memiliki nilai *Specific Gravity* kurang dari 2,85.

2. Uji *Atterberg Limit* menghasilkan nilai *Liquid Limit (LL)* sebesar 80,90%, *Plastic Limit (PL)* sebesar 61,47%, dan *Plasticity Index (PI)* sebesar 19,43%. Nilai tersebut mengindikasikan tanah tergolong plastisitas tinggi ($LL > 50\%$, $PI > 17\%$). Sementara itu, nilai *Liquidity Index (LI)* sebesar -2,56% menunjukkan kadar air alami tanah berada di bawah *PL*, artinya tanah dalam kondisi kaku/semi-solid dan diklasifikasikan sebagai CH (*Clay with high plasticity*).
3. Berdasarkan *Grain Size Analysis*, tanah BSD tergolong *Silty Clay Soil*, Pasir Cibeet, Sungai Lumpur, Garut, dan Lombok tergolong *Sandy Soil*, sedangkan Pasir Malang Merah dan Hitam termasuk *Gravelly Sandy Soil*.
4. Hasil *Standard Compaction Test* menunjukkan nilai *Wopt* rata-rata sebesar 40,1% dan $\gamma_{dry\ max}$ sebesar 1,24 gr/cm³ pada tanah BSD.
5. Uji *Falling Head Permeability* terhadap campuran tanah BSD dan enam jenis pasir dengan tiga ukuran selamng ukur (4 mm, 6 mm, 10 mm) menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas (*k*) sangat dipengaruhi oleh jenis pasir, proporsi campuran, dan diameter selang ukur.
 - a) Pasir Garut: $k = 8,61 \times 10^{-7} - 1,91 \times 10^{-5}$ cm/s (sangat kedap – hampir tak permeabel).
 - b) Pasir Cibeet: $k = 1,91 \times 10^{-6} - 5,84 \times 10^{-6}$ cm/s (sangat kedap).
 - c) Pasir sungai lumpur: $k = 2,39 \times 10^{-6} - 1,87 \times 10^{-5}$ cm/s (sangat kedap – hampir tak permeabel).
 - d) Pasir Lombok: $k = 8,61 \times 10^{-7} - 2,39 \times 10^{-5}$ cm/s (sangat kedap – hampir tak permeabel).
 - e) Pasir Malang Merah: $k = 5,14 \times 10^{-5} - 1,10 \times 10^{-4}$ cm/s (hampir tak permeabel – permeabel rendah).
 - f) Pasir Malang Hitam: $k = 8,72 \times 10^{-5} - 2,75 \times 10^{-4}$ cm/s (hampir tak permeabel – permeabel rendah).
6. Berdasarkan klasifikasi USCS dan parameter *Hydraulic Conductivity*, campuran tanah BSD dengan Pasir Cibeet, Sungai Lumpur, Garut, dan Lombok tergolong CL (*Clay with low to medium plasticity*), sementara campuran dengan Pasir Malang Merah dan Hitam tergolong ML (*Silt with low plasticity*).
7. Hasil analisis menunjukkan bahwa bentuk butiran pasir berpengaruh signifikan terhadap nilai *k*. Pasir *angular* seperti Cibeet dan Garut menghasilkan permeabilitas rendah karena saling mengunci dan membentuk pori kecil. Pasir *rounded* seperti Lombok dan Sungai Lumpur membentuk pori lebih besar, sehingga meningkatkan permeabilitas. Pasir berpori besar seperti Malang Merah dan Hitam memberikan nilai *k* tertinggi, menegaskan bahwa struktur internal dan porositas alami juga penting.
8. Uji permeabilitas pada pasir murni menunjukkan variasi rata-rata *k* sebagai berikut:
 - a) Pasir sungai lumpur: $1,682 \times 10^{-4}$ cm/s (SC – *Clayey Sand*), tergolong rendah, dipengaruhi bentuk angular dan partikel halus.
 - b) Pasir Cibeet: $3,070 \times 10^{-3}$ cm/s (antara SC dan SP), menunjukkan kandungan halus meskipun butirannya bulat.
 - c) Pasir Garut: $6,085 \times 10^{-3}$ cm/s (SP – *Poorly Graded Sand*), menunjukkan sub-angular dengan distribusi tidak seragam.
 - d) Pasir Lombok: $1,835 \times 10^{-2}$ cm/s (SP), bentuk *rounded* mendukung permeabilitas lebih tinggi.
 - e) Pasir Malang Merah: $3,590 \times 10^{-2}$ cm/s dan Pasir Malang Hitam: $3,680 \times 10^{-2}$ cm/s, keduanya termasuk SP dengan nilai tinggi akibat butir kasar, berpori, dan distribusi ukuran yang baik.

Saran

1. Untuk mendapatkan hasil parameter tanah yang lebih maksimal dan tepat pada suatu pengujian, diperlukan sampel yang lebih banyak sehingga memungkinkan adanya pengujian yang memerlukan pengulangan untuk mendapat hasil yang lebih akurat.
2. Untuk mendapatkan hasil koefisien permeabilitas yang lebih maksimal dan tepat, diperlukan variasi pembacaan waktu yang lebih banyak pada semua jenis sampel agar mendapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Meskipun secara visual material yang digunakan tergolong pasir, beberapa jenis pasir dalam penelitian ini, menunjukkan indikasi perilaku seperti tanah berbutir halus. Hal ini dapat disebabkan oleh kandungan partikel halus yang menyumbat pori-pori atau bentuk butiran pasir yang saling mengunci. Oleh karena itu, diperlukan dilakukan analisis lanjutan terhadap kandungan partikel halus (*finer content*) dan sifat mineralogis pasir untuk memastikan pengaruhnya terhadap permeabilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2007). *Standard test method for particle-size analysis of soils* (ASTM D422-63). ASTM International.
- ASTM International. (2012). *Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort* (ASTM D698-12). ASTM International.
- ASTM International. (2015). *Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter* (ASTM D5856-15). ASTM International.

- ASTM International. (2017). *Standard practice for description and identification of soils (visual-manual procedure)* (ASTM D2488-17e1). ASTM International.
- ASTM International. (2017). *Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils* (ASTM D4318-17). ASTM International.
- ASTM International. (2017). *Standard test method for particle-size distribution (gradation) of fine-grained soils using the sedimentation (hydrometer) analysis* (ASTM D7928-17). ASTM International.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (edisi ke 15). Pearson Education.
- Chen, P., & Sentosa, G. S. (2020). Analisis perbandingan nilai koefisien permeabilitas tanah uji lapangan dan uji laboratorium. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(1), 97–108.
- Darwis, H. (2018). *Dasar-dasar mekanika tanah*. Pena Indis.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (edisi ke 9). Cengage Learning.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2017). *An introduction to geotechnical engineering* (edisi ke 2). Pearson.
- Powers, J. P., Corwin, A. B., Schmall, P. C., & Kaeck, W. E. (2007). *Construction dewatering and groundwater control: New methods and applications* (edisi ke 3). Wiley.

