

Pengaruh Penambahan Pasir Sungai Terhadap Permeabilitas Tanah Lempung

Gabriel Rasinan^{*1}, Benyamin Tanan ^{*2}, Irwan Lie Keng Wong^{*3}

^{*1} *Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia gabriel.rasinan99@gmail.com*

^{*2,3} *Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia ² nyamintan2002@yahoo.com^{*2} dan Irwanliekengwong@gmail.com^{*3}*

Corresponding Author: gabriel.rasinan99@gmail.com

Abstrak

Penelitian dilaksanakan agar melihat pengaruh pasir pada permeabilitas tanah lempung. Hal ini karena salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam pengerjaan jalan adalah karakteristik tanah yang lunak seperti tanah lempung. Karakteristik ini menjadikan tanah lempung kurang stabil untuk digunakan sebagai dasar pengerjaan konstruksi jalan, karena bisa terjadi kerusakan seperti retak, berlubang dan terjadi genangan air. Oleh karena itu, pelaksana konstruksi harus melakukan penambahan sesuatu pada sampel untuk memperbaiki nilai rembesan agar sesuai dengan pengerjaan sipil. Metode penelitian yang digunakan dikenal dengan *constant head* yaitu dengan menghitung banyaknya debit air yang lewat melalui sampel tanah dalam satuan waktu. Percobaan ini akan memperlihatkan nilai dari permeabilitas tanah yang dirumuskan dalam hukum Darcy. Sedangkan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, UKI Paulus Makassar dengan sampel tanah dari Toraja Utara dan pasir dari Sungai Jenebarang. Metode pengambilan sampel dilakukan pada 3 titik dengan jarak dan kedalaman yang sama namun persentase kadar air yang berbeda. Adapun dari pengujian yang telah dilakukan ditemukan hasil yaitu baik dari titik 1, titik 2, dan titik 3 yang telah mendapatkan penambahan hingga 15% terjadi peningkatan nilai permeabilitas. Sehingga penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase penambahan pasir maka semakin tinggi nilai permeabilitasnya.

Kata kunci: Karakteristik, Permeabilitas, Pasir Sungai

Abstract

This study aim to see the effect of sand in clay soil permeability. Because the problems that oftenly happened in road construction is the characteristics of clay that unstable to be used as the basis for road construction. It can be damage such as cracks, holes, and puddle. Therefore, there must be some solution to take for fix the seepage value. The resarch method used constant head to calculating the water flow through the soil sample in units of time that have been formulated in Darcy's law. The experiment was tested in the Soil Mechanics Laboratory UKI Paulus Makassar with the soil samples from North Toraja and the sand from the Jenebarang River. The experiment result found that after adding 15% of sand from point 1, 2, and 3 have increased up the permeability value. Afterall this study shows that the higher addition of sand, the higher the permeability.

Keywords: Characteristics, Permeability, River Sand

PENDAHULUAN

Pada pekerjaan jalan yang dibangun terdapat diantaranya yang biasa terjadi masalah di lahan yang mempunyai tanah dengan karakteristik lunak seperti tanah lempung. Tanah lempung dapat mengembang dan menyusut dengan mudah yang disebabkan oleh perubahan kadar air. Hal tersebut menjadikan tanah lempung kurang stabil digunakan sebagai dasar pada pekerjaan konstruksi jalan karena dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan baik retak, berlubang, dan terjadi genangan air.

Suatu persoalan yang sering ditemui oleh perencana dan pelaksana konstruksi (khususnya dalam sebuah pembangunan konstruksi jalan) yaitu cara memperbaiki tanah yang akan di tempati untuk pekerjaan konstruksi jalan karena di setiap tempat atau daerah yang akan dilakukan konstruksi pekerjaan jalan memiliki suatu keadaan dan sifat-sifat tanah yang berbeda-beda. Maka dari itu, harus ada yang dilakukan untuk memperbaiki nilai rembesan tanah yaitu dengan tambahan sesuatu pada sampel agar pada nilai rembesan yang didapatkan sesuai setandar pekerjaan sipil yang akan dikerjakan.

Hal ini sejalan dengan kondisi geografis di Indonesia yang sebagian besar wilayahnya memiliki karakteristik tanah yaitu tanah lempung. Sehingga dalam perencanaan konstruksi memerlukan tindakan membuat tanah lempung menjadi lebih stabil. Mengingat tanah lempung memiliki sifat mekanis yang tidak bisa diprediksi kestabilan tanahnya [1].

Berdasarkan pendapat Das (1995), pada istilah teknik secara luas, tanah diartikan suatu yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahan organik yang sudah lapuk berpartikel padat dengan zat cair dan gas yang menempati ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut [2]. Sedangkan Setiawan, dkk (2015) berpendapat bahwa tanah adalah sekumpulan partikel padat yang berongga. Rongga-rongga ini dapat dialiri oleh air dari satu titik yang lebih tinggi menuju titik yang lebih rendah [3]. Fungsi tanah telah dijelaskan oleh Jusi, dkk (2020) khususnya pada sektor konstruksi jalan. Tanah berfungsi sebagai penahan dan penerima beban struktur atas hal ini menjadikan tanah sebagai sesuatu yang sangat penting [4].

Klasifikasi tanah memiliki tujuan kelompok dalam beberapa golongan dengan keadaan sifat yang sejenis ditandai nama dan simbol yang sama. Sistem pengelompokan tanah pada kebutuhan teknik didasarkan untuk sifat indeks tanah seperti distribusi plastisitasnya dan ukuran butir [5]. Terdapat dua sistem pengelompokan yang biasa digunakan dalam bidang teknik yaitu sistem klasifikasi *Unified* dan AASHTO. Salah satu klasifikasi tanah berdasarkan sistem *Unified* yaitu dikenal dengan tanah lempung. Tanah lempung adalah jenis tanah yang memiliki ukuran mikroskopis-submikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat kering dengan kadar air yang sedang. Selain itu tanah lempung bersifat kohesif dan memiliki koefisien permeabilitas tanah yang cukup rendah [6].

Tanah lempung terdiri atas campuran pasir, tanah liat dan debu yang hampir sama. Hanafiah (2005) menjelaskan bahwa tanah liat memiliki karakteristik yang mengandung banyak pori mikro. Hal ini menyebabkan struktur tanah akan memadat dan memiliki sangat sedikit celah atau ruang [7]. Oleh karena itu tanah lempung yang terdiri atas campuran tanah liat akan sangat sulit meloloskan air atau dengan kata lain memiliki nilai permeabilitas yang rendah.

Permeabilitas Tanah yaitu air yang lolos didalam tanah, ini merupakan kemampuan tanah. Permeabilitas tanah juga ialah suatu kesamaan yang meliputi infiltrasi tanah dan berfungsi dalam perwujudan dalam membantu tanah. Tanah yang memiliki koefisien tinggi akan menaikkan laju infiltrasi akibatnya turunnya laju air larian [8]. Adapun dalam ilmu tanah, definisi mengenai koefisien tanah dijelaskan untuk pengurangan gas, cairan dan penetrasi akar tanaman. Permeabilitas tanah dapat didefinisikan sebagai pengukuran hantaran hidraulik tanah yang timbul akibat dari pori kapiler yang saling bersambungan dengan satu sama lain [9].

Arya, dkk (2019) berpendapat bahwa permeabilitas tanah juga sangat besar kaitannya dengan kuat geser tanah. Hal ini karena air yang masuk melalui pori-pori tanah secara berlebihan akan membentuk gaya dorong

atau gaya penyebab longsor yang akan melemahkan kuat geser dari suatu tanah [10]. Pengukuran terhadap koefisien permeabilitas tanah sangatlah penting untuk beberapa hal utamanya dalam bidang infrastruktur sipil. Misalnya masuknya air ke dalam tanah, aliran air pada drianase ataupun evaporasi air pada permukaan tanah dimana semua hal ini dipengaruhi oleh permeabilitas tanah [11]. Sehingga koefisien permeabilitas tanah bergantung pada distribusi ukuran dari partikel-partikel tanah baik secara bentuk maupun struktur. Permeabilitas tanah sangat mempengaruhi biaya serta kerumitan dari sebuah proses pengerjaan konstruksi [12].

Dalam penelitian ini, dilakukan percobaan untuk perbaikan tanah lempung dengan mencampurkan pasir sungai. Pasir sungai baik digunakan pada tanah karena dapat membuat pori-pori dalam tanah agar air mudah merembes. Pemilihan penggunaan pasir sungai untuk perbaikan tanah karena pasir sungai mudah didapatkan. Dengan adanya perbaikan tanah menggunakan pasir sungai maka secara tidak langsung dapat mengurangi terjadinya kerusakan jalan.

METODOLOGI

1. Metode Analisis Data

Constant Head yaitu proses yang dilakukan dalam percobaan yaitu air pada permeameter dengan tinggi tekanan yang konstan dibebaskan agar mengalir menembus sampel tanah yang sudah dimasukkan dalam suatu silinder yang mempunyai luas penampang. Prosedur pengujian dengan menggunakan metode *constant head* pada perhitungan permeabilitas tanah dilakukan dengan tujuan untuk menemukan (k) atau koefisien permeabilitas yang akan diuji. Fungsi dari koefisien rembesan adalah untuk mendapatkan hitungan air yang hilang pada bagian penadah air dengan menghitung debit dari aliran rembesan.

Setelah itu banyak debit air (Q) yang melewati tanah dihitung dengan satuan waktu (t) kemudian air yang telah lewat pada tanah dikumpul dalam gelas ukur. Piezometer yang dipasang pada silinder tersebut menunjukkan tinggi tekanan (h) pada panjang sampel (L). Maka percobaan pada permeabilitas tanah bisa dihitung berdasarkan banyak air yang merembes melalui tanah dalam waktu tertentu, yang dirumuskan dalam hukum Darcy.

Rumus metode *Constant Head* :

$$k = \frac{VL}{Aht} \dots \dots \dots (1)$$

keterangan :

K = koefisien permeabilitas (cm/det)

V = volume rembesan (cm³)

A = luas penampang (cm²)

h = tinggi tekanan (cm)

L = ketinggian tanah (cm)

t = waktu (det)

Pengujian permeabilitas tanah dengan menggunakan metode *constant head* membutuhkan sampel tanah asli yang akan dicampur dengan pasir sungai. Penambahan pasir sungai dilakukan dengan variasi 0%, 5% 10% dan 15%.

2. Metode Pengambilan Sampel Tanah dan Bahan Tambah

Sampel yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan tanah yang berasal dari Kecamatan Rantepao, Kabupaten Toraja Utara dan pasir sungai yang diambil di Sungai Jenebarang. Pengujian koefisien sampel dilaksanakan dalam laboratorium mekanika tanah Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar.

Sampel Tanah

Hal yang dilakukan pada pengambilan sampel yaitu :

- a. Sampel diambil di Bolu Kecamatan Rantepao, Kabupaten Toraja Utara dimana sampel tanah diambil 3 titik dengan jarak masing-masing $\pm 20-30$ m dan kedalaman masing-masing titik ± 60 cm dari permukaan tanah.
- b. Sampel dibersihkan dari akar dan kotoran lainnya. Kemudian semua sampel tanah dibawa kembali ke laboratorium untuk diuji sifat fisik sampel tanah dan mengetahui pengaruh permeabilitas dari tanah yang akan diuji terhadap penambahan pasir sungai

Pasir Sungai

Pasir sungai yang digunakan diambil dari Sungai Jenebarang dengan proses yaitu :

- a. Dicuci dan dibersihkan lalu dikeringkan
- b. Setelah pasir kering, akan dilakukan uji berat jenis dan analisa saringan
- c. Pasir yang disaring, menggunakan alat ayakan no. 30 lalu kemudian dijadikan bahan tambah pada tanah lempung

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

a. Hasil Analisis Karakteristik

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian sifat fisik tanah

No	Pemeriksaan		Titik 1	Titik2	Titik 3
1	Kadar air	(w) %	25,722	21,767	25,566
2	Berat Jenis	(Gs)gr/cm ³	2,62	2,62	2,61
3	Batas-batas Atterberg	Batas Cair (Liquid Limit) , %	44,10	57,88	56,48
		Batas Plastis (Plastic Limit) , %	20,88	38,10	44,74
		Batas Susut (Shrinkage Limit) , %	6,377	5,622	5,808
		Indeks Plastisitas (Plasticity Index) , %	23,22	19,78	11,74
		Persen Lolos Saringan No. 200 %	54,74	63,90	53,73
4	Gradasi	Kerikil G %	0	0	0
		Pasir S %	45,26	36,10	46,27
		Lanau C %	51,42	57,46	49,4
		Lempung M %	3,32	6,44	4,33

b. Hasil Pengujian Permeabilitas Tanah

Diketahui :

Tinggi tekanan (h1) = 110 cm

Diameter dalam tabung (D) = 6.4 cm

Luas penampang sampel tanah :

$$(A) = \frac{1}{4} \times \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi (6,4)^2$$

$$= 32,15 \text{ cm}^2$$

Waktu (t) = 561 det

Tinggi tanah dalam tabung (L) = 17,000 cm

Tinggi Volume air (V) = 80 ml

Ditanyakan :

Koefisien Permeabilitas ?

Penyelesaian :

$$k = \frac{VL}{Aht}$$

$$k = \frac{80 \times 17}{32,15 \times 110 \times 561}$$

$$k = 6,78 \times 10^{-4} \text{ cm/det}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Pengujian Permeabilitas Titik 1

No	SAMPSEL		(h) (cm)	(V) (cm)	0%		5%		10%		15%	
	(A) (CM)	(L) (cm)			(t)	(K)	(t)	(K)	(t)	(K)	(t)	(K)
1	32,15	17	110	80	561	$6,85 \times 10^{-4}$	509	$7,56 \times 10^{-4}$	453	$8,49 \times 10^{-4}$	420	$9,16 \times 10^{-4}$
2	32,15	17	110	90	631	$6,86 \times 10^{-4}$	575	$7,52 \times 10^{-4}$	541	$8,00 \times 10^{-4}$	480	$9,01 \times 10^{-4}$
3	32,15	17	110	100	724	$6,64 \times 10^{-4}$	664	$7,24 \times 10^{-4}$	604	$7,96 \times 10^{-4}$	510	$9,43 \times 10^{-4}$
KOEFSIEN PERMEABILITAS (K)						$6,78 \times 10^{-4}$		$7,44 \times 10^{-4}$		$8,15 \times 10^{-4}$		$9,20 \times 10^{-4}$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Pengujian Permeabilitas Titik 2

No	SAMPSEL		(h) (cm)	(V) (cm)	0%		5%		10%		15%	
	(A) (CM)	(L) (cm)			(t)	(K)	(t)	(K)	(t)	(K)	(t)	(K)
1	32,15	17	110	80	570	$6,70 \times 10^{-4}$	530	$7,30 \times 10^{-4}$	480	$8,01 \times 10^{-4}$	444	$8,66 \times 10^{-4}$
2	32,15	17	110	90	633	$6,80 \times 10^{-4}$	605	$7,15 \times 10^{-4}$	552	$7,84 \times 10^{-4}$	489	$8,85 \times 10^{-4}$
3	32,15	17	110	100	729	$6,60 \times 10^{-4}$	680	$7,07 \times 10^{-4}$	610	$7,88 \times 10^{-4}$	534	$9,00 \times 10^{-4}$
KOEFSIEN PERMEABILITAS (K)						$6,73 \times 10^{-4}$		$7,16 \times 10^{-4}$		$7,91 \times 10^{-4}$		$8,84 \times 10^{-4}$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Pengujian Permeabilitas Titik 3

No	SAMPSEL		(h) (cm)	(V) (cm)	0%		5%		10%		15%	
	(A) (CM)	(L) (cm)			(t)	(K)	(t)	(K)	(t)	(K)	(t)	(K)
1	32,15	17	110	80	550	$6,99 \times 10^{-4}$	526	$7,30 \times 10^{-4}$	476	$8,08 \times 10^{-4}$	439	$8,76 \times 10^{-4}$
2	32,15	17	110	90	621	$6,96 \times 10^{-4}$	594	$7,28 \times 10^{-4}$	548	$7,89 \times 10^{-4}$	479	$9,03 \times 10^{-4}$
3	32,15	17	110	100	718	$6,69 \times 10^{-4}$	678	$7,09 \times 10^{-4}$	606	$7,93 \times 10^{-4}$	528	$9,10 \times 10^{-4}$
KOEFSIEN PERMEABILITAS (K)						$6,88 \times 10^{-4}$		$7,23 \times 10^{-4}$		$7,97 \times 10^{-4}$		$8,97 \times 10^{-4}$

2. Pembahasan

a. Uji Sifat Fisik Tanah

- Titik 1

a) Klasifikasi USCS

Menurut klasifikasi USCS tanah Titik 1 termasuk berbutir halus karena persen lolos saringan 200 > 50%, Sebesar 54,74%. Nilai Indeks Plastisitas diperoleh 23,22%, berdasarkan Tabel 2 sampel titik 1 mempunyai sifat plastisitas tinggi. Pada grafik 7 *plasticity chart*, sampel titik 1 termasuk *OH* (Lempung organik dan lempung lanauan organik).

b) Klasifikasi AASTHO

Klasifikasi tanah menurut AASTHO, tanah Titik 1, tergolong butir halus sebab persen lolos saringan 200 > 35% (54,74%). Nilai Indeks Plastisitas diperoleh 23,22% dan Batas Cair diperoleh 44,10% maka sampel tanah tergolong A-7-6 dengan jenis material pokok tanah lempung.

- Titik 2

a) Klasifikasi USCS

Pada Titik 2 menurut USCS , tanah termasuk berbutir halus karena persen lolos saringan 200 > 50% sebesar 63,90. Nilai Indeks Plastisitas didapatkan 19,78% yang mempunyai sifat plastisitas tinggi. Pada grafik *plasticity chart* diatas tanah yang diuji ini tergolong MH (Lempung atau tanah lanauan).

b) Klasifikasi AASTHO

Tanah titik 2 termasuk kedalam berbutir halus karena persen lolos saringan 200 > 35% (63,90). Nilai Indeks Plastisitas yang diperoleh yaitu 19,78 dan Batas Cair 57,88%. Oleh karena itu sampel tanah tergolong kedalam A-7-5 dengan jenis material tanah lempung.

- Titik 3

a) Klasifikasi USCS

Menurut USCS pada titik 3 tanah termasuk dalam berbutir halus karena persen lolos saringan 200 > 50% sebesar 53,73. Nilai Indeks Plastisitas didapatkan 11,74% yang mempunyai sifat plastisitas sedang. Pada grafik *plasticity chart* diatas tanah yang diuji ini tergolong MH (Lempung atau tanah lanauan).

b) Klasifikasi AASTHO

Klasifikasi menurut AASTHO tanah titik 2 tergolong dalam butir halus karena persen lolos saringan 200 > 35%. Nilai Indeks Plastisitas yang diperoleh yaitu 11,74 dan Batas Cair 56,48%. Oleh karena itu sampel tanah tergolong kedalam A-7-5 dengan jenis material tanah lempung

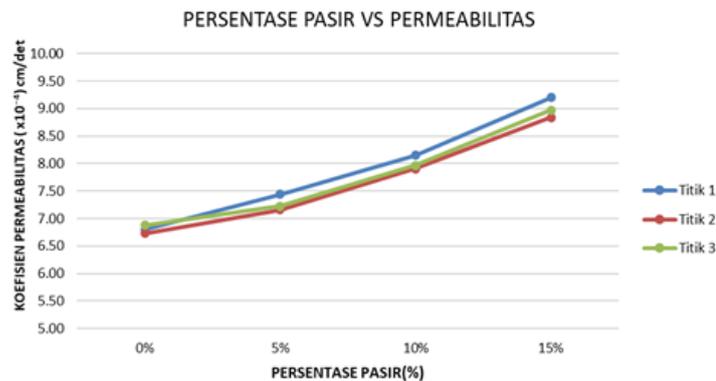
b. Pengujian Pengaruh Pasir Sungai Terhadap Tanah

a) Pengujian Permeabilitas

Hasil rekapitulasi pada pengujian permeabilitas yang didapat dengan tambahan pasir sungai yaitu:

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Pasir	Permeabilitas k (cm/det)		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3
0%	6.78×10^{-4}	6.73×10^{-4}	6.88×10^{-4}
5%	7.44×10^{-4}	7.16×10^{-4}	7.23×10^{-4}
10%	8.15×10^{-4}	7.91×10^{-4}	7.97×10^{-4}
15%	9.20×10^{-4}	8.84×10^{-4}	8.97×10^{-4}



Gambar 1. Pasir Sungai (%) Vs Permeabilitas (cm/detik)

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisa dan pengujian yang didapatkan dalam laboratorium bisa disimpulkan antara lain :

1. Pada hasil pengujian uji fisis sampel mendapatkan nilai rata-rata dari titik 1,2, dan 3 ialah kadar air = 23,681% , berat jenis = 2,61 gr/cm³, batas-batas Atterberg LL= 52,82% , PL= 34,57% , IP= 18,24%. Klasifikasi tanah berdasarkan USCS tanah pada titik 1 tergolong dalam OH (lempung organik dan lempung lanauan organik), titik 2 dan titik 3 tergolong dalam MH(lempung atau tanah lanauan). Dan berdasarkan AASHTO tanah pada titik 1 termasuk dalam A-7-6, dan pada titik 2 dan titik 3 tergolong dalam A-7-5 dengan jenis material tanah lempung.
2. Pengaruh penambahan pasir sungai terhadap nilai koefisien permeabilitas dengan metode *constan head* ;
 - a. Sampel 1 setelah penambahan pasir sungai hingga 15% terjadi peningkatan nilai koefisien permeabilitas sebesar 35,693 %
 - b. Pada sampel 2 setelah penambahan pasir sungai hingga 15% terjadi peningkatan nilai koefisien permeabilitas sebesar 31,352 %
 - c. Sampel 3 setelah penambahan pasir sungai hingga 15% terjadi peningkatan nilai koefisien permeabilitas sebesar 30,377 %

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Paresa and A. Doloksaribu, "Pemanfaatan Semen Portland sebagai Bahan Stabilisasi Tanah terhadap Kecepatan Permeabilitas pada Bangunan Air di Kabupaten Merauke," *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha*, vol. 5, no. 3, pp. 258-270, 2016.
- [2] B. M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip Rekaya Geoteknis) Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 1995.
- [3] D. Setiawan and L. Afriani, "Studi Dan Analisa Campuran Tanah Lempung Dan Abu Sekam Padi," *JRSDD*, vol. 3, no. 3, pp. 493-506, 2015.
- [4] U. Jusi, D. Yasri and G. Gabriel, "Pengaruh Penambahan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Terhadap Kecepatan Permeabilitas Pada Tanah Pasir Kelempungan," *Construction Engineering and Sustainable Development*, vol. 3, no. 1, pp. 30-34, 2020.
- [5] B. M. Das, *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jakarta: PT. Erlangga, 1998.
- [6] Y. Amran, "Analisa Permeabilitas Tanah Lempung menggunakan Bahan Campuran Abu Sekam Padi (Studi Kasus Tanah Lempung Desa Rejomulyo Kecamatan Metro Selatan Kota Metro)," *TAPAK*, vol. 5, no. 1, pp. 74-78, 2015.

- [7] A. H. Kusuma, M. Izzati and E. Saptiningsih, "Pengaruh Penambahan Arang dan Abu Sekam dengan Proporsi yang Berbeda terhadap Permeabilitas dan Porositas Tanah Liat serta Pertumbuhan Kacang Hijau (*Vigna radiata*L)," *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, vol. XXI, no. 1, pp. 1-5, 2013.
- [8] D. Rohmat, *Tipikal Kuantitas infiltrasi Menurut karaktereristik lahan*, Bandung, 2009.
- [9] I. Suryani, "Permeabilitas Berbagai Kedalaman Tanah pada Areal Konversi Lahan Hutan," *Jurnal Agrisistem*, vol. 10, no. 1, pp. 92-98, 2014.
- [10] I. W. Arya, I. W. Intara, I. N. Ramia, I. W. Wiraga and I. G. A. G. Suryanegara, "Pengaruh Injeksi Semen pada Lereng Tanah Berpasir terhadap Permeabilitas Tanah," *Wahana TEKNIK SIPIL*, vol. 24, no. 1, pp. 1-12, 2019.
- [11] L. E. Hutabarat, "Peningkatan Koefisien Permeabilitas Lapangan pada Tanah Lempung Akibat Pengaruh Lubang Resapan Bio Pori (LRB)," *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana FT-UI*, vol. 1, no. 1, pp. 214-221, 2018.
- [12] R. A. Jembise, F. Jansen and O. B. Sompie, "Penambahan Campuran Bentonit dan Kaolin pada Tanah Pasir Terhadap Koefisien Permeabilitas dengan Kondisi Plastisitas Berbeda pada Tingkat Kepadatan Maksimum," *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 127-134, 2014.