

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN DAN EPS
PADA PERMEABILITAS TANAH YANG DIPADATKAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MARGARITHA MIRANDA WENI
D011 19 1129**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN DAN EPS
PADA PERMEABILITAS TANAH YANG DIPADATKAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**MARGARITHA MIRANDA WENI
D011 19 1129**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

BAB 1 LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN DAN EPS PADA PERMEABILITAS TANAH YANG DIPADATKAN

Disusun dan diajukan oleh

Telah di
Per



am rangka
Sipil

Menyetujui,

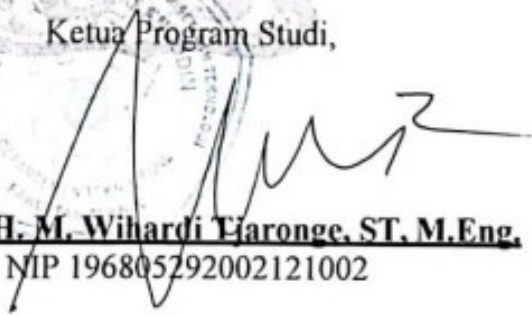
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Ir.H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D
NIP 196007301986031003


Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M.Eng.Sc
NIP 197607072005011002

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng.
NIP 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Margaritha Miranda Weni
NIM : D011 19 1129
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Penambahan Semen Dan EPS Pada Permeabilitas Tanah Yang
Dipadatkan}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Mei 2023

Yang Menyatakan



Margaritha Miranda Weni

ABSTRAK

MARGARITHA MIRANDA WENI. *Pengaruh Penambahan Semen Dan EPS Pada Permeabilitas Tanah Yang Dipadatkan* (Pembimbing: Achmad Bakri Muhiddin, dan Ardy Arsyad.)

Kondisi tanah dengan tekanan air pori yang tinggi dapat menyebabkan tanah menjadi tidak stabil dan berpotensi mengalami longsor atau keruntuhan. Kondisi tanah seperti ini memerlukan perbaikan. Perbaikan tanah dapat menstabilisasi tanah sehingga karakteristik tanah menjadi lebih baik. Untuk memperbaiki sifat geoteknis tanah, perbaikan dapat dilakukan dengan penambahan material, yang dapat berfungsi sebagai filtrasi, separasi, dan separator atau dengan cara memadatkan tanah itu sendiri. Penting untuk mengetahui jenis tanah dan nilai koefisien permeabilitas tanah tersebut agar dapat memilih metode perbaikan tanah yang tepat. Permeabilitas tanah menggambarkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui permeabilitas tanah yang dipadatkan, mengetahui pengaruh penambahan semen pada permeabilitas tanah yang dipadatkan, serta mengetahui pengaruh penambahan semen dan EPS pada permeabilitas tanah yang dipadatkan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan adalah tanah sedimen hasil kerukan Bendungan Bili-bili, yang berlokasi di Kabupaten Gowa. Tanah tersebut kemudian di uji permeabilitas dengan metode *falling head*, dengan bahan pencampur semen portland dan EPS. Digunakan variasi semen 3%, 5%, 7%, dan 9%. Sedangkan variasi EPS adalah 0,5% dan 0,75%. Hasil dari penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa benda uji yang ditambahkan bahan campur semen memiliki koefisien permeabilitas yang rendah, nilai kadar air yang rendah, serta nilai berat isi kering yang tinggi. Sedangkan benda uji yang terdiri dari tanah dan semen dengan bahan campur EPS memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi, nilai kadar air yang tinggi, serta nilai berat isi yang rendah.

Kata Kunci: Permeabilitas, Semen, EPS.

ABSTRACT

MARGARITHA MIRANDA WENI. *The Effect of Adding Cement and EPS on the Permeability of Compacted Soil* (Advisor: Achmad Bakri Muhiddin, MSc and Ardy Arsyad.)

Soil conditions with high pore water pressure can cause the soil to become unstable and have the potential to experience landslides or collapses. This kind of soil condition requires improvement. Soil improvement can stabilize the soil so that soil characteristics become better. To improve the geotechnical properties of the soil, improvement can be made by the addition of material, which can serve as filtration, separation and separator or by compacting the soil itself. It is important to know the type of soil and the value of the soil permeability coefficient in order to determine the right soil improvement method. Soil permeability describes the ability of the soil to escape water. The purpose of this study is to determine the permeability of compacted soil, determine the effect of adding cement on the permeability of compacted soil, and determine the effect of adding cement and EPS on the permeability of compacted soil. This research was conducted at the Soil Mechanics Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. In this study, the sample used was sedimentary soil dredged by the Bili-bili Dam, located in Gowa Regency. The soil is then tested for permeability by *the falling head* method, with portland cement mixing material and EPS. Variations of cement 3%, 5%, 7%, and 9% are used. While the EPS variation is 0.5% and 0.75%. The results of research in the laboratory show that test specimens added to cement mix materials have a low permeability coefficient, low moisture content value, and high dry unit weight value. While the test specimen consisting of soil and cement with EPS mixed materials has a high permeability coefficient, high moisture content value, and low unit weight value.

Keywords: permeability, cement, EPS.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Definisi Tanah	6
2.2 Klasifikasi Tanah.....	7
2.2.1 Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur	7
2.2.2 Sistem klasifikasi berdasarkan pemakaian	9
2.3 Karakteristik Lanau	12
2.4 Permeabilitas	13

2.4.1 Metode <i>falling head</i>	15
2.4.2 Metode <i>constant head</i>	16
2.5 Berat Jenis, Kadar Air, dan Berat Isi	17
2.6 Semen	22
2.7 <i>Expanded Polysterene (EPS)</i>	24
2.8 Penelitian Terdahulu.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Lokasi Penelitian	30
3.1.1 Lokasi pengambil sampel	30
3.1.2 Waktu penelitian.....	30
3.1.3 Lokasi penelitian.....	30
3.2 Metode Pengumpulan Data	30
3.3 Kerangka Alir Penelitian	31
3.4 Rancangan Penelitian	32
3.4.1 Peralatan laboratorium.....	32
3.4.2 Penyiapan bahan	33
3.5 Pengujian Sampel	34
3.6 Prosedur Pelaksanaan	34
3.6.1 Dimensi benda uji.....	34
3.6.2 Alat pendukung.....	35
3.6.3 Proses pencampuran dan pencetakan benda uji.....	35
3.6.4 Prosedur penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Permeabilitas Tanah Tanpa Bahan Campur	39
4.2 Permeabilitas Tanah dengan Bahan Campur Semen.....	40
4.2.1 Permeabilitas tanah + C3%.....	40

4.2.2 Permeabilitas tanah + C5%.....	41
4.2.3 Permeabilitas tanah + C7%.....	41
4.2.4 Permeabilitas tanah + C9%.....	42
4.3 Permeabilitas Tanah dengan Bahan Campur Semen, dan <i>Expanded Polysterene</i> (EPS).....	43
4.3.1 Koefisien permeabilitas tanah + semen + EPS 0,5%.....	43
4.3.2 Koefisien permeabilitas tanah + semen + EPS 0,75%.....	47
4.4 Pengaruh Penambahan Bahan Campur Terhadap Perubahan Kadar Air.....	52
4.5 Pengaruh Penambahan Bahan Campur Terhadap Perubahan Berat Isi	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	59
Lampiran 1. Dokumentasi	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur oleh departemen pertanian Amerika Serikat / USDA. Sumber: (Das et al., 2002)	8
Gambar 2 Klasifikasi tanah sistem AASHTO. Sumber: Das et al. (2002)	10
Gambar 3 Sistem klasifikasi Unified. Sumber: Das et al. (2002)	12
Gambar 4 Uji rembesan dengan metode <i>falling head</i>	15
Gambar 5 Uji rembesan dengan metode <i>constant head</i>	16
Gambar 6 Komposisi tanah dalam berbagai kondisi.....	17
Gambar 7 Diagram fase tanah. (Sumber: Hardiyatmo, 2002)	18
Gambar 8 Semen portland yang terjual di pasaran	23
Gambar 9 <i>Expanded Polysterene</i> (EPS)	25
Gambar 10 Bagan alir penelitian.....	32
Gambar 11 Dimensi benda uji.....	35
Gambar 12 Rekapitulasi nilai berat volume tanah	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai biasa dari koefisien rembesan	14
Tabel 2 Berat jenis tanah (<i>specific gravity</i>).....	19
Tabel 3 Variasi nilai faktor koreksi (A)	19
Tabel 4 Derajat kejenuhan dan kondisi tanah	21
Tabel 5 Penelitian terdahulu.....	26
Tabel 6 Gambar peralatan laboratorium pengujian sifat mekanis	32
Tabel 7 Gambar peralatan laboratorium pengujian sifat mekanis	33
Tabel 8 Material yang digunakan dalam penelitian	33
Tabel 9 Standar pengujian sifat fisis dan mekanis tanah berdasarkan ASTM.....	34
Tabel 10 Rencana komposisi benda uji.....	36
Tabel 11 Berat jenis tanah.....	38
Tabel 12 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	39
Tabel 13 Nilai biasa dari koefisien rembesan	40
Tabel 14 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	40
Tabel 15 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	41
Tabel 16 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	41
Tabel 17 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	42
Tabel 18 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	43
Tabel 19 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	44
Tabel 20 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	45
Tabel 21 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	45
Tabel 22 Nilai pembacaan koefisien permeabilitas	47
Tabel 23 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	48
Tabel 24 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	48
Tabel 25 Nilai pembacaan pengujian permeabilitas	49
Tabel 26 Rekapitulasi nilai koefisien permeabilitas	50
Tabel 27 Persentase perubahan nilai koefisien permeabilitas setelah penambahan EPS.....	51
Tabel 28 Rekapitulasi nilai kadar air	53

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas penampang melintang contoh tanah (cm ²)
a	Luas penampang melintang pipa inlet (cm ²)
C	<i>Cement</i>
EPS	<i>Expanded polystyrene</i>
G_s	Berat jenis tanah
h	Tinggi muka air (cm)
h_1	Tinggi muka air awal (cm)
h_2	Tinggi muka air setelah penurunan (cm)
k	Koefisien rembesan (cm/detik)
L	Panjang contoh tanah (cm)
Q	Volume air yang dikumpulkan (ml)
t	Waktu yang digunakan untuk mengumpulkan air (detik)
V	Volume tanah (cm ³)
w	Kadar air (%)
W_s	Berat jenis tanah kering (gram)
W_1	Berat piknometer dan air suling (gram)
W_2	Berat piknometer, tanah, dan air suling (gram)
W_{w1}	Berat tinbox kosong (gram)
W_{w2}	Berat tinbox kosong + tanah basah (gram)
W_{w3}	Berat tinbox kosong + tanah kering (gram)
γ	Berat isi (gram/cm ³)
γ_d	Berat isi tanah kering (gram/cm ³)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	59
Lampiran 1. Dokumentasi	59

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan program studi sarjana di departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanudin.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak mudah dan singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dukungan moril. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu mama **Fransina A. Yana** dan juga papa **Absalom Weni** atas kasih sayang dan juga dukungan selama ini, baik secara material maupun spiritual, karena penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa nasihat, nasihat, dan doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Tuhan Yesus.
2. **Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN Eng.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.**, dan **Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Ketua dan Sekertaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin MSc, Ph.D** selaku dosen pembimbing I, yang telah memberi bimbingan dan arahan serta waktu yang telah diluangkan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
5. **Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Eng.Sc.** selaku dosen pembimbing II, atas segala arahan dan bimbingannya hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. **Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, MT**, selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberi izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.

7. Seluruh dosen, staff, dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan mendukung penulisan tugas akhir ini.
8. **Kakak Nurul Marfu'ah As** yang telah membantu penulis dalam pengerjaan penelitian di laboratorium dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. **Musdalifa**, teman baik dari maba sampai sekarang, terimakasih atas segala dukungan dan bantuan selama perkuliahan dan penelitian hingga terselesaikannya penulisan tugas akhir ini
10. **Teman – teman seperjuangan KKD Geoteknik 2019**, terkhususnya Irsa dan Sultan yang membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian di laboratorium.
11. **Teman – teman Angkatan 2019 (Portland 2020)** yang telah menemani dalam menjalani kehidupan sehari-hari di kampus, terimakasih atas segala bantuan dan semua cerita yang telah terukir, semoga tali silaturahmi tetap terjalin.
12. **Keluarga besar KMKO Sipil** terkhususnya **Geometrik** dan **saudara - saudara kelompok kecil “Liora”**, yang saling mendukung dan mendoakan satu sama lain.
13. **Saudara tercinta, Charlipy Yana, Octavia E. S. Weni. S.Pd., Euzebio Ch. Weni Bler, dan Ester Anzela Weni Yana** yang selalu memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
14. **Pemilik Nomor Induk Mahasiswa 4519091082** korban PHP yang selalu setia menemani dan mendukung penulis di kala susah dan senang dalam mengerjakan tugas akhir ini.
15. **Sobat “Komposit”** yang selalu memberikan semangat dalam menjalani proses perkuliahan sampai pada pengerjaan tuags akhir ini.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan hingga terselesainya penyusunan tugas akhir ini.

Tiada kata yang dapat mendeskripsikan rasa terimakasih penulis selain memohon kepada Tuhan Yang Maha Esa agar selalu melimpahkan berkat-Nya kepada kita semua. Akhir kata, penulis menyadari setiap karya manusia tiada yang sempurna. Oleh karena itu saran dan masukan yang membangun diharapkan penulis untuk pengembangan penelitian di masa mendatang. Semoga karya ini dapat bermanfaat.

Gowa, Mei 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah terdiri atas partikel-partikel padat dengan pori yang saling berhubungan sehingga tanah memiliki sifat permeabilitas. Permeabilitas merupakan suatu keadaan dimana air dapat mengalir atau merembes melalui partikel tanah, walaupun memiliki kecepatan yang sangat lambat pada jenis tanah tertentu, seperti tanah berbutir halus yaitu lempung dan lanau. Air rembesan akan masuk dan mengisi pori tanah.

Rembesan air ke dalam tanah dapat meningkatkan tekanan air pori, yang selanjutnya dapat mengakibatkan bertambahnya tegangan geser serta berkurangnya kuat geser tanah. Kondisi tanah dengan tekanan air pori yang tinggi dapat menyebabkan tanah menjadi tidak stabil dan berpotensi mengalami longsor atau keruntuhan.

Kondisi tanah seperti ini memerlukan perbaikan. Perbaikan tanah dapat menstabilisasi tanah sehingga karakteristik tanah menjadi lebih baik. Perbaikan tanah dapat meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah serta mempengaruhi tingkat permeabilitas tanah. Untuk memperbaiki sifat geoteknis tanah, perbaikan dapat dilakukan dengan penambahan material, yang dapat berfungsi sebagai filtrasi, separasi, dan separator atau dengan cara memadatkan tanah itu sendiri.

Teknik perbaikan tanah memiliki prinsip dasar bahwa kapasitas tanah yang kurang baik (dalam berbagai aspek), dapat diperbaiki melalui peningkatan sifat-sifat (*properties*) dari pada tanah, sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan. Dalam upaya memperbaiki parameter tanah, maka berbagai teknik perbaikan tanah yang telah dihasilkan oleh para rekayasawan (*engineer*). Berbagai jenis perbaikan tanah yang telah dikembangkan selama ini, antara lain perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*), perbaikan tanah dengan kapur (*soil lime*), perbaikan tanah dengan abu (*soil ash*), perbaikan tanah dengan larutan kimia (*solvent stabilization*), perbaikan tanah dengan pemadatan, perbaikan tanah dengan konsolidasi, perbaikan tanah dengan teknik pengeringan (*dewatering*),

perbaikan tanah dengan penggantian tanah (*replacement*), dan perbaikan tanah dengan *permeation resin*. Perbaikan tanah dengan *permeation resin* adalah metode perbaikan tanah dengan pengaliran bahan perekat (resin) yang memiliki viskositas rendah ke dalam pori-pori tanah tanpa menggusur atau mengubah struktur tanah, dalam keadaan ini karakteristik tanah akan dimodifikasi oleh aliran perekat resin yang akan menjadi busa atau gel (Panguriseng, 2017).

Perbaikan tanah dengan pemadatan bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah. Pemadatan dapat diartikan sebagai usaha untuk merapatkan butir-butir tanah. Pemadatan yang dilakukan dapat mengurangi udara dalam tanah, volume pori dan volume tanah namun tidak mengurangi volume butir tanah. Dengan pemadatan kerapatan butir tanah akan bertambah.

Perbaikan tanah dapat dilakukan secara fisik dan kimiawi. Kedua metode ini mempunyai tujuan yang sama. Perbaikan secara kimiawi, banyak digunakan semen, abu, atau kapur sebagai bahan pencampur. Senyawa hidrat pada semen mampu menghasilkan ikatan yang kuat dan keras pada material yang dicampur. EPS (*Expanded Polystyrene*) Geofom sendiri digunakan sebagai bahan pengisi tanah. Hal ini didukung dengan sifat EPS Geofom yang ringan namun memiliki daya tekan yang kuat.

Penambahan material EPS pada campuran tanah terstabilisasi pada umumnya digunakan untuk mereduksi berat material campuran. Ini disebabkan oleh karakteristik material EPS yang ringan. Umumnya pengujian karakteristik pada material terstabilisasi yang dilakukan hanyalah untuk menguji kekuatan dan durabilitas dari material campuran. Di antara lain pengujian kuat tekan, dan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Karakteristik fisis seperti permeabilitas seringkali diabaikan pada material terstabilisasi karena dianggap terlalu kecil sehingga diabaikan.

Namun, belum banyak bukti konkret mengenai efek penambahan EPS pada tanah terstabilisasi terhadap nilai koefisien permeabilitasnya. Dalam penelitian ini, bermaksud untuk mengidentifikasi apakah penambahan EPS memiliki pengaruh yang signifikan pada peningkatan permeabilitas. Digunakan metode perbaikan tanah secara fisik dan kimiawi. Semen dan EPS digunakan sebagai bahan pencampur pada tanah yang kemudian dipadatkan. Melalui

pengujian ini, dapat dilihat pengaruh dari penambahan semen dan EPS pada permeabilitas tanah yang dipadatkan. Sehingga dari hasil yang diperoleh dapat diketahui perbandingan serta dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam usaha meningkatkan permeabilitas tanah.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tugas akhir dengan judul:

**“PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN DAN EPS
PADA PERMEABILITAS TANAH YANG DIPADATKAN”.**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka penulis merumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana permeabilitas tanah yang dipadatkan?
2. Bagaimana pengaruh penambahan semen pada permeabilitas tanah yang dipadatkan?
3. Bagaimana pengaruh penambahan semen dan EPS pada permeabilitas tanah yang dipadatkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui permeabilitas tanah yang dipadatkan.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan semen pada permeabilitas tanah yang dipadatkan.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan semen dan EPS pada permeabilitas tanah yang dipadatkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat berupa:

1. Dapat mengetahui pengaruh penambahan semen dan EPS pada permeabilitas tanah yang dipadatkan.

2. Dapat dijadikan bahan referensi atau bahan pertimbangan dalam melakukan pengujian permeabilitas.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai, maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Jenis tanah yang digunakan adalah lanau, hasil kerukan sedimen dari Bendungan Bili-Bili.
2. Variasi semen yang digunakan adalah 3%, 5%, 7%, dan 9%. Jenis semen yang digunakan adalah semen Portland.
3. Variasi EPS yang digunakan adalah 0,5% dan 0,75% berdasarkan perbandingan berat. EPS yang digunakan adalah EPS lolos saringan no. 4 tertahan saringan no. 10 dengan berat isi $0,022 \text{ gr/cm}^3$.
4. Penelitian yang dilakukan adalah uji permeabilitas dengan metode *Falling head*.
5. Sifat fisis yang dianalisis adalah pengujian berat jenis dan pengujian kadar air.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini digunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan gambaran singkat mengenai pentingnya penelitian ini dilakukan. Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori – teori dan tinjauan umum terkait objek dan/atau metode penelitian yang digunakan untuk mendukung pencapaian tujuan penelitian.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan data dan metode penelitian, lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, serta cara pengujian yang dilakukan dengan memperhatikan batasan masalah yang telah ditetapkan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil perhitungan data penelitian serta pembahasan yang diperoleh dari hasil pengujian.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian sebagai jawaban dari masalah yang diangkat dalam penelitian beserta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel (Hardiyatmo, 2002).

Selain itu, dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu sama lain sehingga air dapat mengalir dari satu titik yang mempunyai energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi yang lebih rendah (Das et al., 2002).

Adapun pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan campuran butir tanah menurut Santosa, 1996 yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa pasir dan kerikil.
- b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lempung dan lanau.
- c. Tanah organik adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatnya, tanah dikelompokkan menjadi:

- a. Tanah kohesif yaitu tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya (mengandung lempung cukup banyak).
- b. Tanah non kohesif yaitu tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misalnya pasir).

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok – kelompok dan subkelompok – subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das et al., 2002).

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang didasarkan pada tekstur dan pemakaian yaitu:

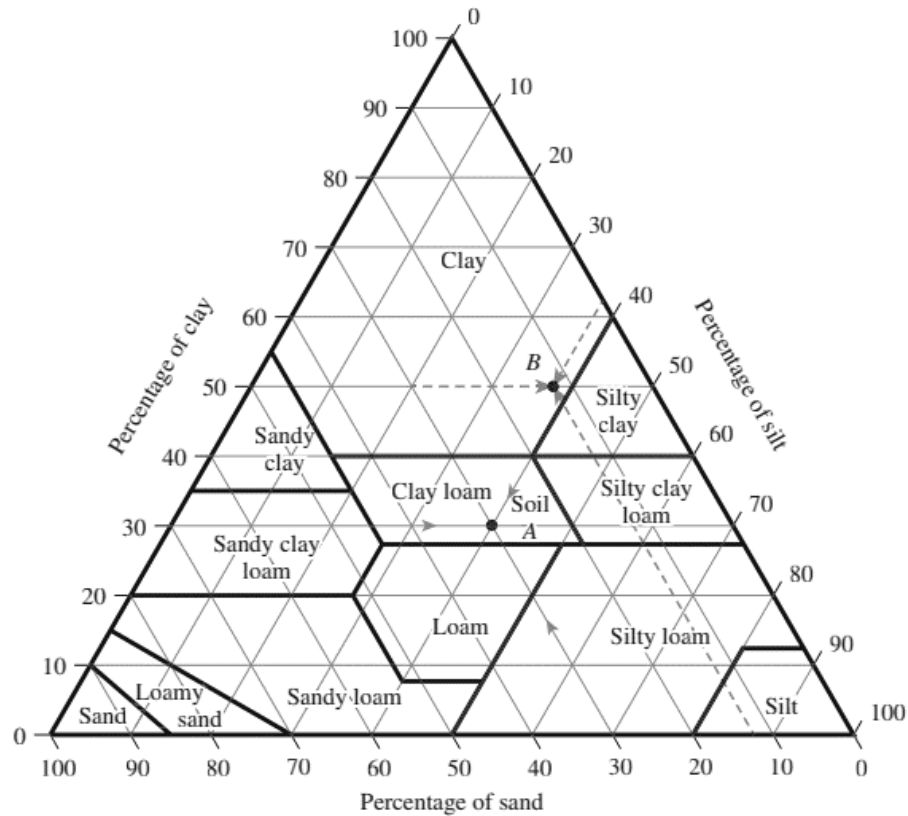
2.2.1 Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur

Dalam artian umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap butiran tanah yang ada di dalam tanah. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.

Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari sistem-sistem tersebut masih dipakai sampai saat ini seperti sistem klasifikasi berdasarkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA).

Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang dijelaskan oleh sistem USDA, yaitu:

- a. Pasir: butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- b. Lanau: butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- c. Lempung: butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 1 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur oleh departemen pertanian Amerika Serikat / USDA. Sumber: (Das et al., 2002)

Pemakaian bagan dalam Gambar 1 ini dapat diterangkan secara jelas dengan menggunakan sebuah contoh. Apabila distribusi ukuran butir tanah A adalah: 30% pasir, 40% lanau dan 30% butiran dengan ukuran lempung ($<0,002$ mm), klasifikasi tekstur tanah yang bersangkutan dapat ditentukan dengan cara seperti yang ditunjukkan dengan arah anak panah dalam Gambar 1. Jenis tanah A termasuk dalam daerah lempung tanah liat. Perhatikan bahwa bagan ini hanya didasarkan pada bagian tanah yang lolos ayakan No. 10. Oleh karena itu, apabila tanahnya mengandung butiran berdiameter lebih besar dari 2 mm dalam persentase tertentu, maka perlu di adakan koreksi.

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Karena

sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut di anggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik (Das et al., 2002).

2.2.2 Sistem klasifikasi berdasarkan pemakaian

Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem-sistem tersebut adalah Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified. Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi Unified pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain.

2.2.2.1 Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan; versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M 145).

Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam Gambar 2. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7.

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone, fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel, and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)						
Group classification	A-4			A-5	A-6		A-7 A-7-5 ^a A-7-6 ^b
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10							
No. 40							
No. 200			36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit			40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	
Plasticity index			10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	
Usual types of significant constituent materials				Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor						

^aFor A-7-5, $PI \leq LL - 30$

^bFor A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 2 Klasifikasi tanah sistem AASHTO. Sumber: Das et al. (2002)

2.2.2.2 Sistem klasifikasi UNIFIED

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Sistem Klasifikasi Unified diberikan dalam Gambar 3. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil

(*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

- W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)
- P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)
- L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)
- H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$).

Klasifikasi Umum		Symbol klasifikasi	Nama Jenis	Kriteria klasifikasi	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % tertahan pada ayakan 75 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada saringan 4.76 mm	Kerikil Bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3 Tidak sesuai dengan kriteria GW Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7 Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsirdari diagram dibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir sedikit atau tanpa butiran halus	
		Kerikil Berikut butiran halusya	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	
			GC	Kerikil berlempung campuran kerikil, pasir dan lempung	
	50 % atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4.76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3 Tidak sesuai dengan kriteria SW Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4 Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index Plastisitas > 7 Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsirdari diagram dibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	
		Pasir berikut butiran halusya	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50 % lolos pada ayakan 75 μ	Lanau dan lempung LL \leq 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas untuk mengklarifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah (4 - 7 atau CL - ML) berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua symbol	
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah		
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik		
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae) lanau elastis		
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar organik tinggi lainnya	Dapat dibedakan dengan mata dan tangan, ASTM D 2488 - 66 T		

Gambar 3 Sistem klasifikasi Unified. Sumber: Das et al. (2002)

2.3 Karakteristik Lanau

Lanau merupakan peralihan antara lempung dan pasir. Lanau bersifat kurang plastis dibanding lempung (lanau “asli” sebenarnya tidak memiliki sifat plastis). Lanau memiliki permeabilitas yang lebih tinggi. Lanau juga menunjukkan sifat-sifat khusus, yaitu *quick behavior* dan dilatasi yang tidak ditemukan pada lempung. *Quick behavior* menunjukkan kecenderungan lanau

untuk menjadi cair ketika digetarkan, dan dilatansi merupakan kecenderungan untuk mengalami penambahan volume ketika berubah bentuk.

Lanau adalah istilah yang digunakan seperti lempung dan kadar lanau adalah bagian (menurut perbandingan berat) yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,06 mm. Boleh jadi ada tanah yang terdiri semata-mata atas butir dengan ukuran 0,002 mm tetapi tidak berperilaku seperti lempung, yaitu tidak termasuk golongan lempung karena sifatnya seperti lanau (Wesley, 2012).

Tanah lanau biasanya terbentuk oleh pecahnya kristal kuarsa berukuran pasir. Beberapa pustaka berbahasa Indonesia menyebut objek ini sebagai debu. Lanau dapat membentuk endapan yang mengapung di permukaan air maupun yang tenggelam. Pemecahan secara alami melibatkan pelapukan batuan dan regolith secara kimiawi maupun pelapukan secara fisik melalui embun beku (*frost*) haloclasty. Proses utama melibatkan abrasi, baik padat (oleh gletser), cair (pengendapan sungai), maupun oleh angin. Di wilayah – wilayah setengah kering produksi lanau biasanya cukup tinggi.

Lanau terbentuk secara glasial (oleh gletser) dalam bahasa Inggris kadang-kadang disebut *rock flour* atau *stone dust*. Secara komposisi mineral lanau tersusun dari kuarsa feldspar. Sifat fisik tanah lanau umumnya terletak di antara sifat tanah lempung dan pasir. Selain itu, tanah lanau merupakan tanah berbutir halus yang berukuran lebih kecil dari 0,074 mm (No. 200). Lanau terdiri dari dua jenis yaitu lanau anorganik (*inorganic silt*) yang merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil mengandung butiran kuarsa sedimen yang kadang disebut tepung batuan (*rock flour*) dan tanah lanau organik (*organic silt*) tanah agak plastis berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus, warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap. Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A dan lempung berada di atas garis A (Panguriseng, 2017).

2.4 Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan lainnya,

sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi ke titik dengan energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah.

Di dalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan). Walaupun secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam praktek, istilah mudah meloloskan air (*permeable*) dimaksudkan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil (Hardiyatmo, 2002).

Koefisien rembesan (*coefficient of permeability*) mempunyai satuan yang sama seperti kecepatan. Koefisien rembesan tanah tergantung pada beberapa faktor, yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran-pori, distribusi ukuran-butir, angka pori, kekerasan permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Harga koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda (Das et al., 2002). Beberapa harga koefisien rembesan diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Nilai biasa dari koefisien rembesan

Bahan	Koefisien Rembesan (m/detik)	Uraian
Kerikil	$\geq 0,01$	Dapat dikeringkan dengan pemompaan, yaitu air akan keluar dari rongga karena gravitasi.
Pasir Kasar	10^{-2} sampai 10^{-3}	
Pasir Sedang	10^{-3} sampai 10^{-4}	
Pasir Halus	10^{-5} sampai 10^{-6}	
Lanau	10^{-6} sampai 10^{-7}	Air tidak dapat mengalir keluar dari rongga karena gravitasi.
Lempung Kelanauan	10^{-7} sampai 10^{-9}	
Lempung	10^{-8} sampai 10^{-11}	Hampir tidak dapat di rembes air.

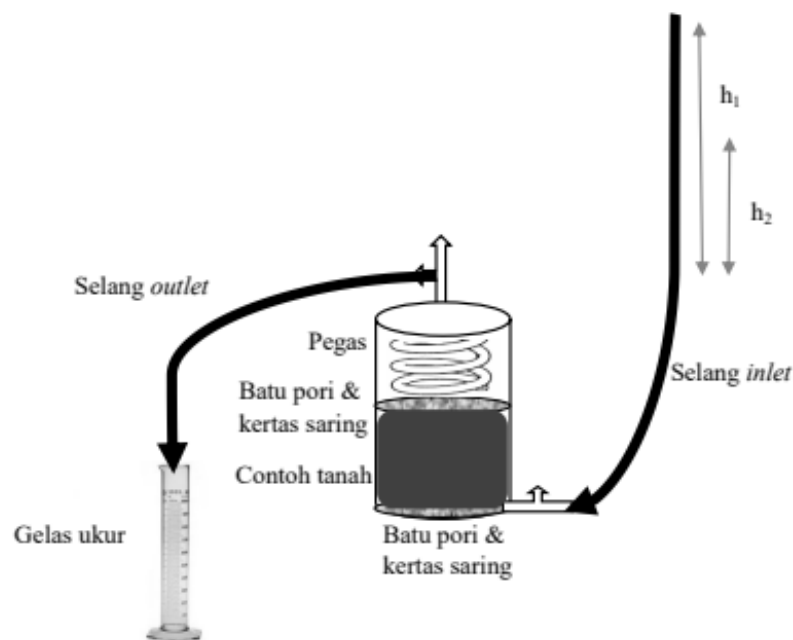
Sumber: (Wesley, 2012)

Koefisien rembesan tanah yang tidak jenuh air adalah rendah, harga tersebut akan bertambah secara cepat dengan bertambahnya derajat kejenuhan tanah yang bersangkutan. Ada dua macam uji standar di laboratorium yang digunakan untuk menentukan harga koefisien rembesan suatu tanah, yaitu: uji *constant head* dan uji *falling head*.

2.4.1 Metode *falling head*

Susunan alat yang digunakan untuk metode *falling head* ditunjukkan dalam Gambar 4. Air dari dalam pipa-tegak yang dipasang di atas contoh tanah mengalir melalui contoh tanah. Pada mulanya, perbedaan tinggi air pada waktu $t = 0$ adalah h_1 ; kemudian air dibiarkan mengalir melalui contoh tanah hingga perbedaan tinggi air pada waktu $t = t_F$ adalah h_2 .

Metode pengujian ini sangat cocok digunakan untuk jenis tanah lempung dan lanau, dengan nilai koefisien permeabilitas berkisar 1×10^{-5} sampai 1×10^{-9} cm/detik.



Gambar 4 Uji rembesan dengan metode *falling head*

Untuk menghitung koefisien permeabilitas dengan metode *falling head*, digunakan persamaan dibawah ini:

$$k = 2,303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (2)$$

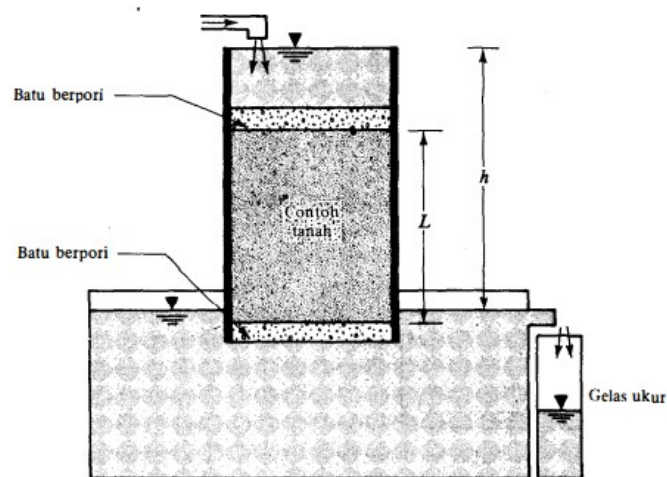
dimana,

k	= koefisien rembesan	(cm/detik)
a	= luas penampang melintang pipa inlet	(cm ²)
L	= panjang contoh tanah	(cm)
A	= luas penampang melintang contoh tanah	(cm ²)
h_1	= tinggi muka air awal	(cm)
h_2	= tinggi muka air setelah penurunan	(cm)
t	= waktu yang digunakan untuk mengumpulkan air	(detik)

Metode *falling head* sangat cocok untuk tanah berbutir halus dengan koefisien rembesan yang kecil.

2.4.2 Metode *constant head*

Susunan alat untuk metode *constant head* di tunjukan dalam Gambar 5 dibawah ini. Pada tipe percobaan ini, pemberian air dalam saluran pipa masuk (*inlet*) dijaga sedemikian rupa hingga perbedaan tinggi air di dalam pipa-masuk dan pipa-keluar (*outlet*) selalu konstan selama percobaan. Setelah kecepatan aliran air yang melalui contoh tanah menjadi konstan, air dikumpulkan dalam gelas ukur selama suatu waktu yang diketahui.



Gambar 5 Uji rembesan dengan metode *constant head*

Untuk menghitung koefisien permeabilitas dengan metode *constant head*, digunakan persamaan dibawah ini:

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (1)$$

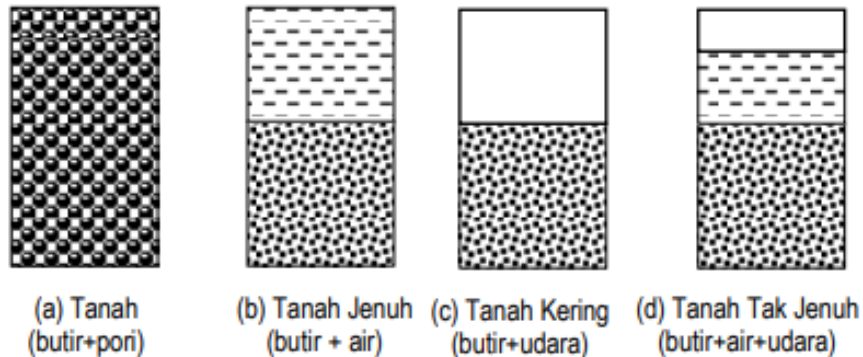
dimana,

k	= koefisien rembesan	(cm/detik)
Q	= volume air yang dikumpulkan	(ml)
L	= panjang contoh tanah	(cm)
A	= luas penampang melintang contoh tanah	(cm ²)
h	= tinggi muka air	(cm)
t	= waktu yang digunakan untuk mengumpulkan air	(detik)

Metode *constant head* lebih cocok untuk tanah berbutir kasar dengan koefisien rembesan yang cukup besar.

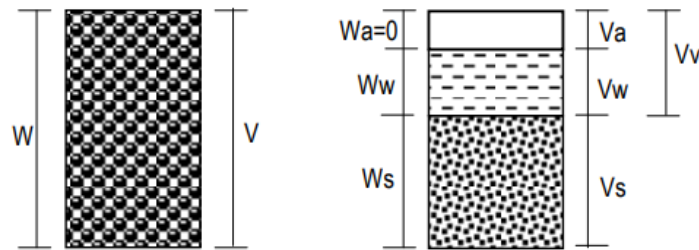
2.5 Berat Jenis, Kadar Air, dan Berat Isi

Material tanah dapat terdiri atas dua atau tiga unsur, yakni butiran, air, dan udara. Dalam kondisi tanah jenuh, terdapat terdapat dua unsur yakni butiran dan air, dan pada tanah yang kering juga hanya terdapat dua unsur yakni butiran dan udara. Sedangkan pada tanah dengan kondisi tak jenuh, terdapat tiga unsur yakni butiran, air, dan udara. Ketiga kondisi tersebut dapat di ilustrasikan pada Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6 Komposisi tanah dalam berbagai kondisi.

Masing-masing elemen tanah tersebut (butir, air, dan udara) memiliki volume dan berat. Untuk memahami sifat-sifat tanah secara fisis, maka parameter tanah harus dijabarkan lebih terperinci pada Gambar 7 dibawah ini:



Gambar 7 Diagram fase tanah. (Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Keterangan:

W	= berat total tanah	(gram)
Wa	= berat udara = 0 (diabaikan)	(gram)
Ww	= berat air	(gram)
Ws	= berat butir	(gram)
V	= volume total tanah	(cm ³)
Va	= volume udara	(cm ³)
Vw	= volume air	(cm ³)
Vv	= volume pori	(cm ³)
Vs	= volume butir	(cm ³)

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air pada temperatur waktu tertentu. G_s tidak berdimensi. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat jenis $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi. Sedang untuk tanah kohesif tak organik berkisar di antara 2,68 sampai 2,72.

Untuk menghitung nilai berat jenis tanah, digunakan persamaan dibawah ini:

$$G_s = \frac{W_s}{(W_1 + W_s) - W_2} \quad (3)$$

dimana,

G_s	= berat jenis tanah	
W_s	= berat jenis tanah kering	(gram)
W_1	= berat piknometer dan air suling	(gram)
W_2	= berat piknometer, tanah, dan air suling	(gram)

Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Macam Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Sumber: Hardiyatmo (2002)

Pada saat pengujian berat jenis, temperatur ruangan tempat pengujian memiliki pengaruh terhadap hasilnya. Oleh karena itu, dalam perhitungannya nilai berat tanah dikalikan dengan nilai faktor koreksi sesuai dengan temperatur ruangan. Pada umumnya temperatur standar yang digunakan untuk destilasi air adalah 20°C, maka digunakan persamaan:

$$G_{S(20^{\circ}\text{C})} = \frac{W_s}{(W_1 + W_s) - W_2} \times A \quad (4)$$

dimana,

G_s = berat jenis tanah

W_s = berat jenis tanah kering (gram)

W_1 = berat piknometer dan air suling (gram)

W_2 = berat piknometer, tanah, dan air suling (gram)

A = faktor koreksi

Variasi nilai faktor koreksi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Variasi nilai faktor koreksi (A)

Temperatur	A
16	1.007
17	1.006
18	1.004
19	1.002
20	1.000
21	0.9998
22	0.9996
23	0.9993
24	0.9991
25	0.9988
26	0.9986
27	0.9983
28	0.9980
29	0.9977
30	0.9974

Sumber: Das (2002)

Umumnya massa tanah terdiri dari partikel padat berupa butiran tanah dari berbagai bentuk dan ukuran, serta ruang pori yang terdiri dari air dan udara sebagai pengisi rongga kosong diantara rongga tanah. Perbandingan antara berat air didalam suatu massa tanah terhadap berat partikel padatnya disebut kadar air, dinyatakan dalam persen. Bila kadar air suatu tanah rendah maka tanah tersebut akan keras atau kaku dan sukar dipadatkan, bila air ditambahkan maka air itu akan berlaku sebagai pelumas sehingga tanah akan lebih mudah dipadatkan dan ruangan kosong antar butir tanah menjadi lebih kecil. Pada kadar air yang tinggi, nilai kepadatan akan turun karena pori-pori tanah akan penuh terisi air yang tidak dapat dikeluarkan dengan cara memadatkan.

Jika tanah berada dalam kondisi kering maka tidak ada air dalam porinya. Kondisi seperti ini dapat ditemui pada tanah asli di lapangan. Air hanya dapat dihilangkan dari tanah apabila dilakukan tindakan khusus, seperti menjemur atau memanaskan tanah tersebut dalam oven. Kadar air didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) tanah dan

dinyatakan dalam persen. Untuk menghitung nilai kadar air tanah, digunakan persamaan dibawah ini:

$$w = \frac{(W_{w2} - W_{w3})}{(W_{w3} - W_{w1})} \times 100\% \quad (5)$$

dimana,

w	= kadar air	(%)
W_{w1}	= berat tinbox kosong	(gram)
W_{w2}	= berat tinbox kosong + tanah basah	(gram)
W_{w3}	= berat tinbox kosong + tanah kering	(gram)

Bila tanah dalam keadaan jenuh air, maka $S = 1$. Tabel 4 di bawah ini menunjukkan berbagai macam derajat kejenuhan tanah untuk maksud klarifikasi.

Tabel 4 Derajat kejenuhan dan kondisi tanah

Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (S)
Tanah kering	0
Tanah agak lembab	>0 – 0,25
Tanah lembab	0,26 – 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
Tanah basah	0,76 – 0,99
Tanah jenuh air	1

Sumber: Hardiyatmo (2002)

Berat isi tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat tanah asli seluruhnya dengan isi tanah asli seluruhnya. Berat isi adalah berat suatu volume tanah dalam keadaan utuh, dinyatakan dalam gram/cm^3 . Faktor yang mempengaruhi berat isi tanah adalah besarnya ruang pori tanah. Semakin besar ruang pori maka akan semakin kecil berat isi tanah. Untuk menghitung berat isi tanah, digunakan persamaan dibawah ini:

$$\gamma = \frac{(1+w) \times W_s}{V} \quad (6)$$

Untuk menghitung berat isi tanah kering, digunakan persamaan dibawah ini:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (7)$$

dimana:

γ	= berat isi	(gram/cm^3)
γ_d	= berat isi tanah kering	(gram/cm^3)

w	= kadar air	(%)
W_s	= berat tanah kering	(gram)
V	= volume tanah	(cm^3)

2.6 Semen

Semen merupakan material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam dua jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air, seperti semen portland, semen putih, dan sebagainya. Sedangkan semen non hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Perbaikan tanah dengan semen dilakukan dengan mencampurkan suatu campuran tanah, semen dan air yang kemudian dilakukan proses pemadatan yang akan menghasilkan suatu bahan baru yang disebut material tanah semen. Reaksi semen dengan material tanah dan air akan membuat senyawa yang mengeras sehingga memperbaiki kekuatan tanah dan sifat-sifat teknis tanah tersebut menjadi lebih kuat dan lebih tahan terhadap air. Semen Portland sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silica (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3), dalam oven dengan suhu kira-kira 1450°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips, untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat.

Berdasarkan penelitian terdahulu jenis semen yang paling efektif dipergunakan sebagai bahan stabilizer dalam pekerjaan perbaikan tanah adalah semen portland. Hal ini dikarenakan ukuran partikel semen Portland relatif halus (± 20 micron), sehingga proses hidrasi lebih cepat. Menurut Ingles & Metcalf (1972), bahwa penggunaan semen yang memiliki partikel lebih halus dari saringan No. 300, akan memberikan tambahan kuat geser sampai 40%. Oleh karena itu dalam spesifikasi yang ditentukan dalam SNI 03 – 3438 – 1994, disyaratkan jenis semen untuk pekerjaan perbaikan tanah adalah semen portland.



Gambar 8 Semen portland yang terjual di pasaran

Sesuai dengan tujuan penggunaannya, semen Portland di Indonesia dapat dibagi menjadi beberapa tipe yaitu:

- a. Tipe I: adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah 49% (C3S), 25% (C2S), 12% (C3A), 8% (C4AF), 2,8% (MgO), 2,9% (SO₃). Semen Portland tipe I dipergunakan untuk pengerasan jalan, jembatan, dan lain-lain jenis konstruksi yang tidak ada kemungkinan mendapat serangan sulfat dari tanah dan timbulnya panas hidrasi yang tinggi.
- b. Tipe II: semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Komposisinya: 46% (C3S), 29% (C2S), 6% (C3A), 11% (C4AF), 2,9% (MgO), 2,5% (SO₃). Semen Portland tipe II dipergunakan untuk bangunan tepi laut, bendungan, dan irigasi atau beton masa yang membutuhkan panas hidrasi rendah.
- c. Tipe III: semua jenis semen ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi pengikatan. Kadar C3S-nya sangat tinggi dan butirannya sangat halus. Semen Portland tipe III dipergunakan untuk bangunan yang memerlukan

kekuatan tekan yang tinggi (sangat kuat) seperti jembatan dan pondasi berat.

- d. Tipe IV: semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah, sehingga kadar C3S dan C3A rendah. Semen Portland tipe IV dipergunakan untuk tipe pengecoran yang tidak menimbulkan panas, pengecoran dengan penyemprotan (setting time lama).
- e. Tipe V: semen Portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah 43% (C3S), 36% (C2S), 4% (C3A), 12% (C4AF), 1,9% (MgO), 1,8% (SO₃). Semen Portland tipe V dipergunakan untuk instalasi pengolahan.

Hal lain yang memerlukan perhatian di dalam pekerjaan perbaikan tanah dengan semen, adalah kualitas air pencampur. Pengalaman dari beberapa penelitian membuktikan bahwa air yang mengandung bahan organik dan/atau garam sulfat, akan memberikan hasil yang kurang baik dalam stabilisasi semen-tanah. Oleh karena itu air pencampur yang digunakan sebaiknya air yang sekualitas dengan air minum. Dalam penerapan semen tanah, desain campuran sangat penting memperhatikan tiga hal berikut:

1. Kondisi tanah asli secara menyeluruh.
2. Karakteristik semen yang digunakan.
3. Tujuan tindakan perbaikan yang diinginkan.

Ketiga faktor tersebut akan mempengaruhi jumlah (kadar) semen yang diperlukan dalam tindakan perbaikan yang akan dilakukan (Panguriseng, 2017).

2.7 Expanded Polysterene (EPS)

Expanded Polysterene (EPS) tergolong sebagai salah satu bahan insulasi. *Expanded Polysterene (EPS)* pada umumnya berbentuk plastik jenis *Polysterene (PS)* yang bisa mengembang, hal ini dikarenakan *Polysterene (PS)* berisi gas pentane (C₅H₁₂). Keunggulan dari EPS ini adalah bobot jenisnya yang lebih ringan 25% dari bobot pasangan bata sehingga banyak digunakan dalam dunia konstruksi.



Gambar 9 *Expanded Polysterene (EPS)*

EPS merupakan busa polymeric (*plastic*) yang berwarna putih. Penggunaan EPS sebagai material pengemasan sudah banyak diketahui. EPS memiliki termal konduktifitasnya yang sangat rendah dan hampir 98% volumenya terdiri dari udara. EPS pada aplikasinya dapat digunakan dalam bentuk balok (disebut juga sebagai EPS Geofom) atau partikulat. EPS Geofom sudah rutin digunakan sejak tahun 1960an untuk menggantikan *subgrade* perkerasan, sistem rel kereta api, dan timbunan pada tanah yang memiliki daya dukung rendah. Penggunaan EPS sangat luas, karena karakteristiknya yang menguntungkan, seperti berat-isi yang sangat rendah, tahan benturan, kaku, keras, kedap suara, mudah dipotong, sifat insulasi yang baik, tahan terhadap bahan kimia dan air, biaya rendah dan kemudahan pemakaian pada saat konstruksi.

Secara visual, *Expanded Polysterene (EPS)* terlihat menyerupai sterofoam, hanya saja bahan dasar pembuatannya berbeda. Sterofoam akan mudah terbakar jika terkena percikan api, sedangkan sifat ini tidak terjadi pada EPS. Hal ini dikarenakan EPS dibuat dengan tingkat kepadatan yang lebih tinggi serta mengandung zat aditif khusus, sehingga EPS tidak menyalurkan api ketika terbakar.

Expanded Polysterene (EPS) adalah bahan plastik yang butirannya berisi udara. Ruang-ruang antara butiran EPS ini tidak dapat menghantarkan panas. Keadaan ini membuat EPS menjadi isolator yang baik. Karena karakteristiknya sebagai insulasi termal, EPS bisa dimanfaatkan sebagai dinding ataupun lapisan luar bangunan karena EPS dapat menghalangi panas matahari dari luar ruangan.

Untuk mengetahui keefektifan EPS dalam menghambat penyebaran panas, dapat dilakukan pengujian dengan menyinari EPS berukuran 30×30 cm dengan lampu sorot atau meletakkan sumber panas sebagai pengganti panas matahari dengan jarak tertentu. Lakukan pengukuran suhu pada sisi lainnya untuk mengetahui perbandingannya dengan permukaan yang disinari.

Akhir – akhir ini, para ahli rancang bangunan mulai menggunakan sterofoam sebagai dinding bangunan. Apabila dibandingkan dengan batu bata, dinding yang dilapisi EPS mampu menghambat panas hingga mencapai 90%. Selain itu, ruangan yang menggunakan dinding EPS juga kedap suara.

2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 5 Penelitian terdahulu

Penulis	Judul	Hasil penelitian	Publikasi
Abdulkadir Kana, Ramazan Demirboğa	<i>Effect of cement and EPS beads ratios on compressive strength and density of lightweight concrete</i>	Diketahui bahwa kepadatan beton dapat dikontrol dengan memvariasikan volume PC (<i>Portland Cement</i>) dalam campuran. Kekuatan beton EPS tampaknya meningkat secara linear dengan peningkatan kepadatan beton, atau dengan peningkatan volume PC. Manik-manik EPS mengurangi kemampuan kerja beton. Serupa dengan beton dengan berat normal, kemampuan kerja beton agregat <i>polystyrene</i> dipengaruhi oleh rasio air terhadap semen dan kadar air. Kekuatan beton EPS ditemukan berbanding lurus dengan kepadatan beton.	Indian Journal of Engineering & Materials Sciences Volume 14, April 2007, pages 158-162.
Andri Krisnandi Somantri, Syahril, Hendry, Iskandar, Aditia Febriansya	Pengaruh Penambahan Partikulat <i>Expanded Polystyrene</i> pada Tanah yang Distabilisasi dengan <i>Fly</i>	Berdasarkan hasil penelitian campuran tanah asli, <i>fly ash</i> , dan EPS sebagai salah satu potensi solusi perbaikan tanah. Dapat disimpulkan penambahan <i>fly ash</i> pada campuran tanah dapat meningkatkan berat isi kering maksimum dan menurunkan	9 th Industrial Research Workshop and National Seminar.

	<p><i>Ash</i> terhadap Kadar Air Optimum dan Berat-Isi Kering Maksimum sebagai Material Timbunan Ringan</p>	<p>kadar air optimum campuran secara signifikan. Peningkatan berat-isi kering ini diakibatkan oleh karakteristik <i>fly ash</i> itu sendiri karena memiliki ukuran partikel yang sangat kecil, sehingga mengisi rongga-rongga dalam tanah. Penurunan kadar air optimum yang signifikan memberikan keuntungan, yaitu dapat mengurangi penggunaan jumlah air pada saat proses konstruksi timbunan.</p>	
<p>Mehdi Maghfouri, Vahid Alimohammad, Rishi Gupta, Mohammad Saberian, Pejman Azarsa, Mohammad Hashemi, Iman Asadi, Rajeev Roychand</p>	<p><i>Drying Shrinkage Properties of Expanded Polystyrene (EPS) Lightweight Aggregate Concrete: A Review</i></p>	<p>Beton ringan yang mengandung EPS memiliki susut kering yang lebih besar daripada beton dengan berat normal karena agregat EPS memiliki sifat mekanik dan kekakuan yang lebih rendah. Penambahan berbagai jenis bahan tambah seperti abu sekam padi, <i>silica fume</i>, dan serat <i>polypropylene</i> di dalam beton <i>polystyrene</i> yang diperluas dapat mempengaruhi laju penyusutan pengeringan. Dimasukkannya <i>silica fume</i> dan abu sekam padi menyebabkan peningkatan susut pengeringan pada tingkat yang lebih rendah. Sedangkan penambahan serat baja pada beton EPS secara signifikan meningkatkan sifat ketahanan susut dan memberikan kontrol yang baik terhadap retak susut pengeringan jangka Panjang. Hal ini disebabkan oleh ikatan antara EPS dan pasta semen.</p>	<p>Elsevier Journal, Case Studies in Construction Materials, Volume 16, Juni 2022. Pages 1-12.</p>

<p>Mohammad Yogi Alnasir, Lusmeilia Afriani, Idharmahadi Adha</p>	<p>Analisis Permeabilitas Tanah yang Dipadatkan dengan Menggunakan Metoda Cubic Permeameter</p>	<p>Diperoleh hasil bahwa tekanan mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas. Semakin besar tekanan yang diberikan maka semakin kecil Koefisien permeabilitasnya. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya tekanan pada tanah akan membuat pori-pori yang terdapat pada tanah semakin kecil menyebabkan rasio kekosongan (<i>void</i>) semakin kecil. Dalam Hukum Darcy menjelaskan permeabilitas adalah kemampuan air mengalir pada rongga (pori-pori) sehingga semakin kecil rongga atau pori tersebut menyebabkan semakin kecil koefisien permeabilitas pada tanah.</p>	<p>Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD) Volume 8 Nomor 1, Maret 2020, Halaman 213-220.</p>
<p>Sagar Bedanta, Sonam Mishra, Alok Kumar Rout, Abinash Mohanty, Ananya Punyotoya Parida</p>	<p><i>Expanded Polystyrene Concrete</i></p>	<p>Biaya penggunaan EPS lebih murah dibandingkan dengan beton normal. Peningkatan kandungan manik-manik EPS dalam campuran beton dapat mengurangi kuat tekan dan tarik beton. Semua beton yang mengandung EPS tanpa bahan pengikat khusus menunjukkan kemampuan kerja yang baik dan dapat dengan mudah dipadatkan. Penggantian dengan menggunakan EPS telah menunjukkan hasil yang baik dalam pengaplikasiannya sebagai bahan alternatif dalam pembangunan, dimana dapat digunakan dalam pekerjaan nonstruktural, seperti dinding.</p>	<p>International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Volume 10 Issue V, May 2022, pages 1466-1470.</p>

Sisilia Mira Tangdiombo, Benyamin Tanan, Irwan Lie Keng Wong	Analisis Permeabilitas Menggunakan Metode <i>Falling head</i> pada Tanah dengan Penambahan Abu Serabut Kelapa	Hasil pengujian menunjukkan bahwa apabila penambahan abu serabut kelapa diatas batas minimum maka koefisien permeabilitas akan menjadi lebih besar. Pengaruh penambahan abu serabut kelapa terhadap tanah yaitu terjadi penurunan nilai permeabilitas dimana semakin tinggi persentase abu serabut kelapa maka nilai permeabilitas semakin kecil hingga penambahan 15%.	Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ) Makassar, Volume 3 Issue 3, September 2021, Halaman 353-360.
S Indira Adhi Ariana, Iswan, Aminudin Syah	Hubungan Sifat-Sifat Fisik Tanah dan Aktivitas Tanah Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas yang Dipengaruhi Campuran Semen Berdasarkan Uji Laboratorium	Hasil penelitian dari pengujian sifat fisik dan mekanik tanah lempung menunjukkan bahwa penambahan semen berpengaruh pada perubahan klasifikasi tanah, menaikkan berat jenis dan menurunkan kadar persentase lolos saringan no. 200. Selain itu menurunkan nilai kadar air optimum dan berat volume kering maksimum dari pengujian pemadatan tanah oleh <i>standard proctor</i> .	Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSDD), Volume 9, Nomor 2, Juni 2021, Halaman 365 – 376.
Ulfa Jusi, Desi Yasri, Giovanni Gabriel	Pengaruh Penambahan Semen Sebagai I Stabilisasi Tanah Terhadap Kecepatan Permeabilitas Pada Tanah Pasir Kelempungan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya kadar semen untuk campuran tanah pasir kelempungan maka nilai koefisien permeabilitasnya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semen dapat mengisi pori-pori antara butiran tanah.	Indonesian Journal on Construction Engineering and Sustainable Development (CESD), Volume 3 No. 1, Juli 2020, Pages 30-34