

SKRIPSI

ANALISIS HUBUNGAN ANGKA PORI (e) DENGAN PARAMETER

WAKTU KEJUT KAPILER PADA TANAH BERBUTIR HALUS



FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2022

**ANALISIS HUBUNGAN ANGKA PORI (e) DENGAN PARAMETER
WAKTU KEJUT KAPILER PADA TANAH BERBUTIR HALUS**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar



Disusun dan Diajukan Oleh :

RISWANDA

10581 11087 17

INA FATONAH

10581 11156 17

PRODI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

03/09/2022

1 cap
Sub. Alumnus

P/0043/SIP/22 CO

FAT

a


 بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Riswanda** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11087 17 dan **Ina Fatonah** dengan nomor induk mahasiswa 105 81 11156 17, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0008/SK-Y/22201/091004/2022, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 13 Agustus 2022

Makassar, 15 Muharram 1444 H
13 Agustus 2022 M.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.

2. Penguji :

a. Ketua : Kasmawati, ST., MT

b. Sekertaris : Dr. Fithriyah Arief Wangsa, ST., MT

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM

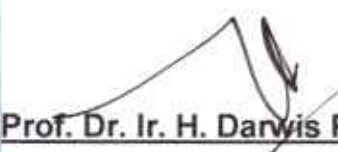
2. Dr. Eng. H. Farouk Maricar, ST., MT

3. Muh. Amir Zainuddin, ST., MT., IPM

Mengetahui:

Pembimbing I

Pembimbing II


 Prof. Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.Sc


 Lutfi Hair Djunur, ST., MT

Dekan Fakultas Teknik


 Dr. Ir. H. Nurnawaty, S.T., M.T., IPM

NBM : 795 108



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir ini di ajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Judul Skripsi : ANALISIS HUBUNGAN ANGKA PORI (e) DENGAN PARAMETER WAKTU KEJUT KAPILER PADA TANAH BERBUTIR HALUS

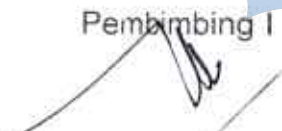
Nama : RISWANDA
INA FATONAH

No. Stambuk : 105 81 111087 17
105 81 11156 17

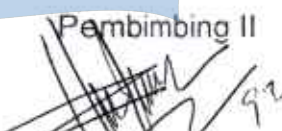
Makassar, 13 Agustus 2022

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I


Prof. Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M. Sc.

Pembimbing II


Lutfi Hair Djuhur, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Pengairan


Mr. M. Agus Salim, S.T., M.T

ANALISIS HUBUNGAN ANGKA PORI DENGAN PARAMETER WAKTU KEJUT KAPILER

Riswanda¹⁾, Ina Fatonah²⁾, Lutfi Hair Djunur³⁾

^{1,2)}Prodi Teknik Pengairan FT Universitas Muhammadiyah Makassar

Email: inafatonah190429@gmail.com

ABSTRAK

Tanah adalah kumpulan butiran alami yang bisa dipisah secara mekanis bila agregat tersebut diaduk dalam air. Angka pori sebagai perbandingan antara besarnya volume ruang kosong dan volume butir padat. Semakin besar nilai angka pori maka daya dukung tanah semakin kecil. Besar kecilnya angka pori sangat mempengaruhi tekanan kapiler pada tanah sehingga menyebabkan penurunan muka air tanah yang dinamakan kejut kapiler. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis hubungan antara angka pori dengan waktu kejut kapiler dan tinggi kejut kapiler pada tanah berbutir halus. Metode yang digunakan adalah metode simulasi (uji laboratorium) dalam bentuk eksperimental model (*Model Experimental Research*) mengenai analisis hubungan antara angka pori (e) dengan waktu kejut kapiler pada tanah berbutir halus (*Sandy Silty Clay, Silty Sandy Clay, Sandy Clayey Silt*) melalui metode simulasi (uji Laboratorium) yang menggunakan hujan buatan dengan alat simulasi yang telah didesain khusus (*Specific Equipment*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada model alat simulasi diperoleh lempung lanau berpasir memiliki nilai angka pori terkecil dengan waktu kejut kapiler terbesar dan tinggi kejut kapiler tertinggi, dengan nilai angka pori $e = 0,51$, nilai waktu kejut kapiler = 172, dan tinggi kejut kapiler = 10,70, begitu pula dengan jenis tanah lempung pasir berlanau dan lanau lempung berpasir menunjukkan semakin besar nilai angka pori maka waktu kejut kapiler semakin kecil dan tinggi kejut kapilernya semakin kecil. Dari hasil analisis penelitian dapat disimpulkan bahwa besar kecilnya nilai angka pori sangat mempengaruhi waktu dan tinggi kejut kapiler pada tanah berbutir halus.

Kata Kunci: Angka pori, waktu kejut kapiler, tinggi kejut kapiler, tanah berbutir halus.

ABSTRACT

Soil is a natural collection of grains that can be separated mechanically when the aggregate is stirred in water. The void ratio is the ratio between the volume of empty space and the volume of solid grains. The larger the void value, the smaller the soil bearing capacity. The size of the pore number greatly affects the capillary pressure in the soil, causing a decrease in the groundwater level which is called capillary shock. The purpose of this study was to analyze the relationship between void ratio and capillary shock time and capillary shock height in fine-grained soils. The method used is a simulation method (laboratory test) in the form of an experimental model (*Experimental Research Model*) regarding the analysis of the relationship between void ratio (e) and capillary shock time in fine-grained soils (*Sandy Silty Clay, Silty Sandy Clay, Sandy Clayey Silt*) through simulation method (laboratory test) that uses artificial rain with simulation tools that have been specially designed (*Specific Equipment*). The results showed that in the simulation tool model, sandy silt clay has the smallest void ratio with the largest capillary shock time and the highest capillary shock height, with a void value of $e = 0,51$, capillary shock time value = 172, and capillary shock height = 10.70, as well as the types of silty sand loam and sandy loam silt showed the larger the void value, the

smaller the capillary shock time and the smaller the capillary shock height. From the results of the research analysis, it can be concluded that the size of the void ratio greatly affects the time and height of capillary shock in fine-grained soils.

Keywords: Pore number, capillary shock time, capillary shock height, fine grained soil.



KATA PENGANTAR

Assalamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Ujian Hasil ini dengan baik. Salawat serta salam tak henti-hentinya kami haturkan kepada Baginda Rasulullah SAW beserta keluarga dan kerabatnya. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan Program Studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah **“ STUDI HUBUNGAN ANGKA PORI (e) DENGAN PARAMETER WAKTU KEJUT KAPILER PADA TANAH BERBUTIR HALUS”**.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak masukan yang berguna dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu dengan segala ketulusan serta keikhlasan hati, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang senantiasa memberikan limpahan kasih sayang, doa serta pengorbanan kepada penulis.
2. Ibu **Dr. Hj. Nurnawaty, ST.,MT.,IPM** sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak **Ir. M. Agusalim, ST., MT** sebagai Ketua Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.Sc** selaku pembimbing I dan Bapak **Lutfi Hair Djunur, ST.,MT** selaku pembimbing II, yang telah

meluangkan banyak waktu, memberikan bimbingan dan arahan sehingga terwujudnya tugas akhir ini.

5. Bapak dan Ibu dosen serta staff pegawai pada Fakultas Teknik atas segala waktunya yang telah mendidik dan melayani kami selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara serta rekan rekan mahasiswa Fakultas Teknik terkhusus angkatan **Akurasi 2017** yang dengan rasa persaudaraan yang tinggi banyak membantu dan memberi dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Pada akhir penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis meminta saran dan kritik yang bersifat membangun sehingga laporan tugas akhir ini dapat menjadi lebih baik dan menambah pengetahuan kami dalam menulis laporan selanjutnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat berguna bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Makassar, 2022

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xvi
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Klasifikasi Tanah	5
1. Sistem Klasifikasi tanah	7
2. Deskripsi Tanah Berbutir Halus	16
3. Analisis Butiran Tanah	19
4. Sifat dan karakteristik Tanah Berbutir Halus	20
B. Teori Angka Pori Tanah	23
1. Teori Angka Pori	23
2. Perubahan Pori	25
3. Pengukuran Angka Pori Tanah	26
C. Teori Dasar Kejut Kapiler	27
1. Defenisi Kejut Kapiler	27
2. Mekanisme Proses Terjadinya Kejut Kapiler	28
3. Parameter Kejut Kapiler	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
A. Jenis Penelitian	32
B. Tempat Penelitian	32

C.	Variabel Penelitian.....	32
D.	Defenisi Operasional Variabel	33
E.	Rancangan Penelitian.....	36
1.	Instrumen Penelitian.....	36
2.	Prosedur Pengujian.....	38
3.	Teknik Pengumpulan Data	40
4.	Teknik Analisa Data.....	42
5.	Flow Chart	43
BAB IV		44
HASIL DAN PEMBAHASAN		44
A.	Data Hasil Penelitian	44
1.	Karakteristik Tanah.....	44
B.	Hasil Pengamatan Uji Pendahuluan.....	50
1.	Angka Pori Tanah	50
2.	Kejut Kapiler.....	58
3.	Hubungan Angka Pori dengan Waktu Kejut Kapiler.....	84
4.	Hubungan Angka Pori dengan Tinggi Kejut Kapiler.....	90
5.	Hubungan Perubahan Angka Pori (Δe) dengan Tinggi Kejut Kapiler	94
6.	Hubungan Perubahan Angka Pori (Δe) dengan Intensitas	97
C.	Pembahasan.....	99
1.	Hubungan Antara Angka Pori dengan Waktu Kejut Kapiler	99
2.	Hubungan Antara Angka Pori dengan Tinggi Kejut Kapiler	100
BAB V.....		102
PENUTUP.....		102
A.	Kesimpulan.....	102
B.	Saran	102
DAFTAR PUSTAKA		103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik Klasifikasi Tanah Metode USCS	9
Gambar 2 Tahapan Deskripsi Tanah dengan sistem AASHTO	15
Gambar 3 Skema uji batas cair metode asagandre (a) susunan alat uji batas cair, (b) <i>grooving tool</i> , (c) pasta tanah sebelum pengujian (d) pasta tanah sesudah pengujian.....	17
Gambar 4 Diagram Fase Tanah	23
Gambar 5 Skema Hubungan Variabel Penelitian.....	33
Gambar 6 Sketsa alat model	36
Gambar 7 Foto Alat Model.....	37
Gambar 8 Flow Chart	43
Gambar 9 Grafik Distribusi Butir Analisa Saringan Pembagian Butir Berdasarkan Hasil Pengujian Analisa Saringan	45
Gambar 10 Grafik Distribusi Pembagian Butir Berdasarkan Hasil Pengujian Hidrometer	45
Gambar 11 Grafik Distribusi Butir Analisa saringan Berdasarkan Hasil Pengujian Analisa Saringan	46
Gambar 12 Grafik Distribusi Pembagian Butir Berdasarkan Hasil Pengujian Hidrometer	47
Gambar 13 Grafik Distribusi Butir Analisa saringan Berdasarkan Hasil Pengujian Analisa Saringan	48

Gambar 14 Grafik Distribusi Pembagian Butir Berdasarkan Hasil Pengujian Hidrometer	49
Gambar 15 Grafik Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Pertama	51
Gambar 16 Grafik Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Kedua	52
Gambar 17 Grafik Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Ketiga	53
Gambar 18 Grafik Perubahan Angka Pori Δe Intensitas Curah Hujan Kala 5 Tahun (I_5)	55
Gambar 19 Grafik Perubahan Angka Pori Δe Intensitas Curah Hujan Kala 15 Tahun (I_{15})	56
Gambar 20 Grafik Perubahan Angka Pori Δe Intensitas Curah Hujan Kala 25 Tahun (I_{25})	57
Gambar 21 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)	58
Gambar 22 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)	59

Gambar 23 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Berpasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	60
Gambar 24 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada 3 Jenis Tanah dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	61
Gambar 25 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	62
Gambar 26 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	63
Gambar 27 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Berpasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	65
Gambar 28 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada 3 Jenis Tanah dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	65
Gambar 29 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})	66

Gambar 30 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})	67
Gambar 31 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})	68
Gambar 32 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada 3 Jenis Tanah dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})	70
Gambar 33 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	71
Gambar 34 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})	72
Gambar 35 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})	73
Gambar 36 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Dengan 3 Intensitas Pada Tanah Lempung Pasir Berlanau	75

Gambar 37 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I ₅)	76
Gambar 38 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I ₁₅)	77
Gambar 39 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I ₂₅)	78
Gambar 40 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Dengan 3 Intensitas Pada Tanah Lanau Lempung Berpasir	79
Gambar 41 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I ₅)	80
Gambar 42 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I ₁₅)	81
Gambar 43 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I ₂₅)	82

Gambar 44 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Dengan 3 Intensitas Pada Tanah Lanau Lempung Berpasir	83
Gambar 45 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk (I_5)	85
Gambar 46 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk (I_{15})	86
Gambar 47 Grafik Hubungan Angka Pori Akhir (e_1) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk (I_{25})	87
Gambar 48 Grafik Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk (I_5)	88
Gambar 49 Grafik Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk (I_{15})	89
Gambar 50 Grafik Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk (I_{25})	90
Gambar 51 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk (I_5)	91
Gambar 52 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk (I_{15})	92
Gambar 53 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk (I_{25})	93

Gambar 54 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut

Kapiler Untuk (I_5) 94

Gambar 55 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut

Kapiler Untuk (I_{15}) 95

Gambar 56 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut

Kapiler Untuk (I_{25}) 96

Gambar 57 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan intensitas

curah hujan 98

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

HASIL PENGUJIAN KARAKTERISTIK TANAH	L1.1
Sampel Tanah Bili-Bili	L1.3
Sampel Tanah Malino	L1.11
Sampel Tanah Pakatto	L1.14

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN INTENSITAS CURAH HUJAN	L2.1
Analisa Frekuensi Hujan	L2.3
Intensitas Curh Hujan	L2.13

LAMPIRAN 3

DATA ANALISA ANGKA PORI PADA TANAH BERBUTIR HALUS	L3.1
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 5 Tahun (i_5)Pada Tanah "Lempung Lanau Berpasir" (BILI-BILI).....	L3.1
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 5 Tahun (i_5)Pada Tanah "Lempung Berpasir Berlanau" (MALINO).....	L3.3
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 5 Tahun (i_5)Pada Tanah "Lanau Lempung Berpasir" (PAKATTO)	L3.5
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 15 Tahun (i_{15})Pada Tanah "Lempung Lanau Berpasir" (BILI-BILI)	L3.7
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 15 Tahun (i_{15})Pada Tanah "Lempung Berpasir Berlanau" (MALINO)	L3.9

Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 15 Tahun (i_{15})Pada Tanah “Lanau Lempung Berpasir” (PAKATTO)	L3.11
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 25 Tahun (i_{25})Pada Tanah “Lempung Lanau Berpasir” (BILI-BILI)	L3.13
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 25 Tahun (i_{25})Pada Tanah “Lempung Berpasir Berlanau” (MALINO)	L3.15
Perhitungan Perubahan Angka Pori(Δe)Pada Intensitas CurahHujan Kala Ulang 25 Tahun (i_{25})Pada Tanah “Lanau Lempung Berpasir” (PAKATTO)	L3.17

LAMPIRAN 4

DATA KEJUT KAPILER.....	L4.1
Data Hasil Pengukuran Fluktuasi Air Tanah.....	L4.1
Lempung Lanau Berpasir	L4.1
Lempung Pasir Berlanau	L4.7
Lanau Lempung Berpasir	L4.13
Data Waktu Kejut Kapiler	L4.20
Tinggi Waktu Kejut Kapiler	L4.21

LAMPIRAN 5

DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENELITIAN	L5.1
--	------

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

F = persen lolos saringan no.200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

e = angka pori

e_0 = angka pori aw

e_1 = angka pori akhir

V_v = volume rongga

V_s = volume butiran

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_a = volume butiran padat

V_w = volume air

V_0 = volume udara

Δe = Perubahan Pori

Cm = Centimete

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam pandangan teknik sipil, tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh zat karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap. Diantara partikel-partikel ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di permukaan bumi membentuk tanah. Air tanah adalah air yang terdapat pada lapisan tanah atau bebatuan dibawah permukaan tanah. Air tanah merupakan salah satu sumber daya air yang keberadaannya terbatas dan kerusakannya dapat mengakibatkan dampak yang luas serta pemulihannya sulit dilakukan.

Tanah merupakan bagian planet bumi yang menjadi tempat jatuhnya air hujan. Kandungan tanah terdiri dari bahan mineral, bahan organik, air tanah dan udara. Gradasi tanah dapat mempengaruhi secara langsung angka pori tanah, apabila butir-butir agregat mempunyai jenis ukuran yang sama (seragam), volume pori akan besar. sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit dengan kata lain kemampatannya tinggi.

Angka pori tanah akan mempengaruhi tekanan kapiler pada tanah menyebabkan penurunan muka air tanah. Pada musim kemarau, lapisan tanah pada

zona penduler dan funikuler mengalami pengeringan, sehingga pori tanah akan membesar. Pada awal turun hujan, pori pada kedua zona tersebut akan mengecil karena sebagian pori akan terisi kembali air hidroskopik. Semakin besar nilai angka pori maka, daya dukung tanah semakin kecil. Besar kecilnya angkapori sangat mempengaruhi tekanan kapiler pada tanah sehingga menyebabkan penurunan muka air tanah yang dinamakan kejut kapiler.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka kami akan melakukan penelitian mengenai studi hubungan angka pori (e) dengan waktu kejut kapiler pada tanah berbutir halus yang menggunakan 3 jenis tanah dengan simulasi laboratorium. Dan selanjutnya kami tuangkan dalam sebuah karya tulis sebagai tugas akhir dengan judul **“Analisa Hubungan Angka Pori (e) Dengan Parameter Waktu Kejut Kapiler Pada Tanah Berbutir Halus”**.

B. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, dapat dipertegas permasalahan ilmiah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Analisis hubungan angka pori dengan waktu kejut kapiler pada tanah berbutir halus
2. Analisis hubungan angka pori dengan tinggi kejut kapiler pada tanah berbutir halus
3. Analisis hubungan perubahan angka pori dengan intensitas curah hujan pada tanah berbutir halus

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Menganalisis hubungan angka pori dengan waktu kejut kapiler pada tanah berbutir halus!
2. Menganalisis hubungan antara angka pori dengan tinggi kejut kapiler pada tanah berbutir halus!

D. Manfaat Penelitian

Sebagaimana hakikat dari suatu penelitian yang senantiasa diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara langsung maka penelitian ini juga dapat diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran pengaruh gradasi tanah berbutir halus terhadap perubahan angka pori akibat waktu dan tinggi kejut kapiler yang menggunakan alat model simulasi.
2. Menjadi acuan pengembangan penelitian tentang hubungan angka pori (e) dengan parameter waktu kejut kapiler.

E. Batasan Masalah

Dengan memfokuskan penelitian ini agar dapat tepat sasaran maka sasaran penelitian akan lebih difokuskan dengan memberikan batasan-batasan masalah diantaranya yaitu:

3. Penelitian ini hanya berfokuskan pada media tanah berbutir halus
4. Sampel tanah yang digunakan hanya 3 jenis tanah yaitu *Sandy Silty Clay*, *Silty Sandy Clay*, dan *Sandy Clayey Silt*.

5. Intensitas curah hujan yang digunakan hanya I_5 , I_{15} , I_{25}

F. Sistematika Penulisan

Berdasarkan uraian dari latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka disusun sistematika laporan yang terdiri dari lima bab, dimana masing-masing bab membahas masalah tersendiri diantaranya sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN yang menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA yang merupakan tinjauan pustaka yang memuat secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini merupakan kerangka dasar yang konprehensif mengenai teori, atau konsep yang akan memecahkan masalah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN yang menjelaskan jenis penelitian, tempat penelitian, bahan dan alat penelitian, serta tahap-tahap dalam proses penelitian di laboratotium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN merupakan bagian bab yang memaparkan rentetan data hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan prosedur pada Bab III, serta menjelaskan secara menyeluh tentang hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP yang menyajikan tentang kesimpulan mengenai gambaran secara umum hasil penelitian yang telah dilakukan, serta dilengkapi dengan saran atau harapan yang berkaitan dengan faktor pendukung maupun faktor penghambat yang dialami selama proses penelitian, agar penelitian ini dapat dikembangkan untuk penelitian yang baru.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi Tanah

Tanah secara umum merupakan kumpulandari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya material organik), rongga-rongga di antara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994).

Tanah menurut teknik sipil dapat didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses geologi yang dapat digali tanpa peledakan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pemboran (Hendarsin, 2000).

Tanah adalah sebagai material yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain, dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, terbentuk karena pelapukan dari batuan. Di antara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air atau udara (Hardiyatmo, 2012).

Tanah adalah himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2012).

Klasifikasi tanah adalah ilmu yang berhubungan dengan kategori tanah berdasarkan karakteristik yang membedakan masing-masing jenis tanah. Klasifikasi tanah merupakan suatu objek yang dinamis yang mempelajari struktur dari sistem klasifikasi tanah, definisi dari kelas-kelas yang digunakan untuk penggolongan tanah, kriteria yang menentukan penggolongan tanah, hingga penerapannya di lapangan (Darwis, 2018).

Menurut Darwis (2018), kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok atau klasifikasi tanah. Umumnya klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan atau uji sedimentasi) serta plastisitas. Dari sudut pandang teknis, secara umum tanah digolongkan ke dalam kelas/ macam pokok sebagai berikut:

- 1) Batu kerikil (*gravel*)
- 2) Pasir (*sand*)
- 3) Lanau (*silt*)
- 4) Lempung (*clay*)
 - Lempung anorganik (*anorganic clay*)
 - Lempung organik (*organic clay*)

Golongan batu kerikil dan pasir sering dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir kasar atau bahan tidak kohesif (*non cohesive soils*). Sedangkan golongan Lanau dan Lempung dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir halus atau bahan-bahan yang kohesif (*cohesive soils*).

1. Sistem Klasifikasi tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995).

Tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika berdasarkan pada kondisi-kondisi fisis lainnya, oleh karena itu sejumlah klasifikasi telah dikembangkan sesuai dengan maksud yang diinginkan oleh sistem itu. Adapun sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan dalam teknik jalan raya adalah sistem klasifikasi tanah USS (*Unified Soil Classification System*) dan sistem klasifikasi tanah AASHTO (*American Association Of State Highway and tall Transportation Officials*).

a. Klasifikasi Tanah Metode Unified

Klasifikasi tanah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), diajukan pertama kali oleh *United State Bureau of Reclamation (USBR)* dan *United State Army Corps of Materials (ASTM)*, telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah (Darwis, 2018).

Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No.200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok diawali dengan G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravely soil*) atau S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- 2) Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok. Digunakan symbol-simbol dalam sistem USCS sebagai berikut:

G = *gravel* (kerikil)

S = *sand* (pasir)

C = *anorganic clay* (lempung)

M = *anorganic silt* (lanau)

O = lanau atau lempung organik

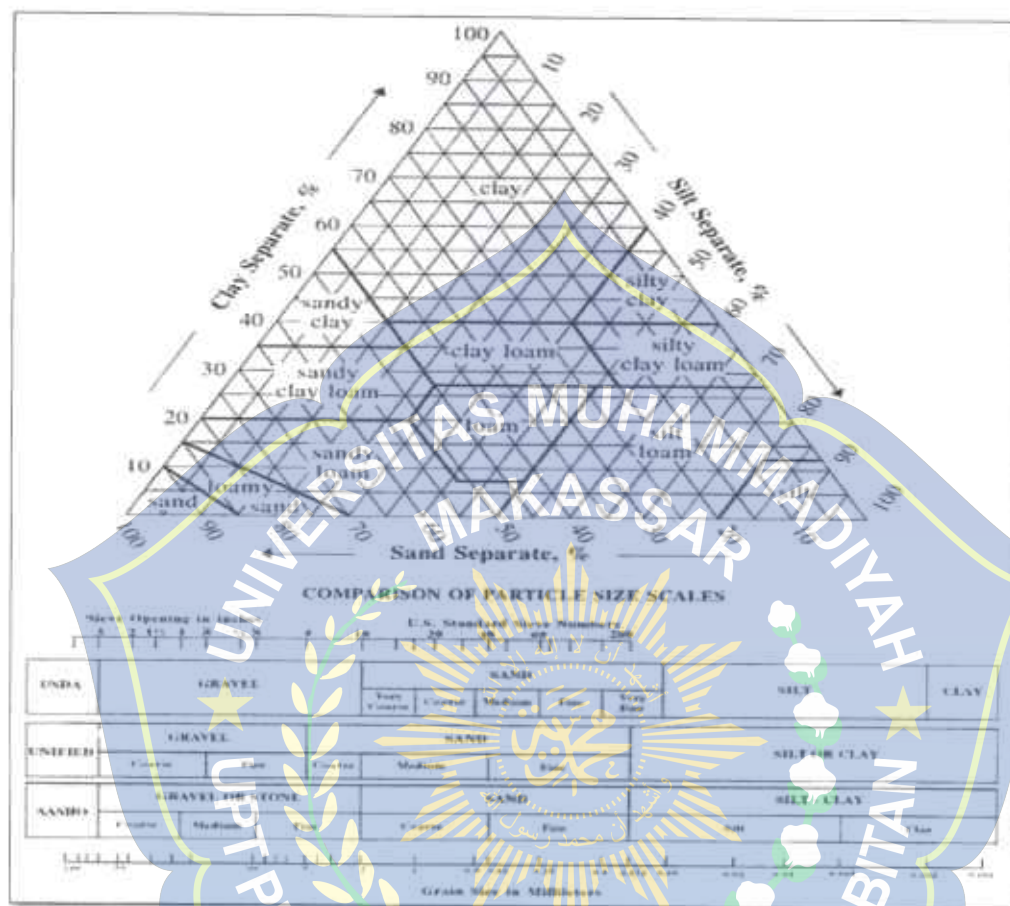
Pt = *peat* (tanah gambut atau tanah organik tinggi)

W = *well-graded* (gradasi baik)

P = *poorly-graded* (gradasi buruk)

H = *high-plasticity* (plastisitas tinggi)

L = *low-plasticity* (plastisitas rendah)



Gambar 1. Grafik Klasifikasi Tanah Metode USCS

Prosedur penentuan klasifikasi tanah dengan Sistem Unified sebagai berikut:

- 1) Tentukan tanah apakah berbutir “halus” atau “kasar” (secara visual atau saringan No. 200).
- 2) Untuk tanah berbutir kasar, maka lakukan:
 - a) Saringan tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b) Hitung persen lolos saringan No.4: bila persentase lolos $< 50\%$ klasifikasi tanah sebagai “pasir”.

- c) Hitung persen lolos saringan No.200 ; bila persentase lolos $< 5\%$ maka hitung C_u dan C_c ; bila termasuk bergradasi baik, klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) dan klasifikasikan sebagai SW (bila pasir); bila termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) dan klasifikasikan sebagai SP (bila pasir).
- d) Apabila persentase butiran yang lolos saringan No.200 diantara 5% sampai 12% , maka tanah akan memiliki symbol ganda dan mempunyai sifat plastisitas (GW-GM atau SW-SM, dan lain-lain).
- e) Apabila persentase butiran yang lolos saringan No.200 $> 12\%$, maka harus dilakukan uji batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal pada saringan No.40. kemudian dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
- 3) Untuk tanah berbutir halus, maka:
- a) Lakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran yang tinggal di atas saringan No.40. bila batas cair (LL) > 50 , klasifikasikan tanah tersebut sebagai H (plastisitas tinggi); bila LL < 50 klasifikasikan tanah sebagai L (plastisitas rendah).
- b) Untuk tanah H, bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada di bawah garis S, tentukanlah apakah masuk kategori OH (Organic) atau MH (anorganik). Dan bila plottingnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai tanah CH (organic plastisitas tinggi).

- c) Untuk tanah L, bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada di bawah garis A dan area di arsir, tentukanlah apakah masuk kategori OL (organic) atau ML (anorganik) berdasarkan warna, bau atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
- d) Bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada pada area yang diarsir, dekat dengan garis A, atau nilai LL sekitar 50, maka gunakan symbol ganda.

b. Klasifikasi Tanah Metode AASHTO

Klasifikasi tanah dengan cara AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), mempunyai tujuan agar kita dapat dengan mudah memilih material tanah untuk konstruksi subgrade. Pemilihan tanah tersebut, tentunya didasarkan atas hasil uji tanah dan apabila kita telah mempunyai pengalaman lapangan dalam pembuatan konstruksi subgrade maka pemilihan tanah sangat mudah dilakukan (Hary Christady Hardiyantmo, 2002)

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association Of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945.

Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagian AASHTO, sampai menemukan kelompok pertama yang data

pengujian bagi tanah tersebut yang terpenuhi. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan, sesuai dengan kelompok tanah, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan partikel butiran tanah, seperti pada tabel-tabel berikut.

Untuk jenis tanah yang berbutir kasar (*granuler soils*), dibagi atas tujuh golongan/ klasifikasi, seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (granuler Soils) (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Ayakan	A-1		A-3	A-2		A-2-7	
Analisis Ayakan (%lolos)	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	
No.10	Maks 50	Maks 50					
No.40	Maks 30	Maks 25	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
No.200	Maks 15	Maks 25					
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40	-	-	Non Plastisitas	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Maks 41
Batas cair (LL)	Maks 6	Maks 6		Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11

Indeks plastisitas (PI)							
Tipe materia yang paling Dominan	Batu pecah kerikil pasir	Pasir Halus	Kerikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sbg bahan tanah dasar	Baik Sekali sampai Baik						

Sumber: Braja M.Das (1998)

Menurut sistem di atas tanah dibagi menjadi 7 kelompok, dan diberi nama dari A-1 sampai A-7. Semakin kecil angkanya, semakin baik untuk bahan subgrade jalan, dan sebaliknya semakin besar angkanya semakin jelek untuk subgrade. Kecuali pada tanah dalam group A-1, lebih baik dari pada semua jenis tanah dalam group A-2 sebagai bahan untuk subgrade jalan.

Untuk jenis tanah yang berbutir halus (*finer soils*) terbagi atas empat kelompok/ klasifikasi, seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO (*Tanah Finer*)

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
Klasifikasi Kelompok	A4	A5	A6	A7 A7-5 A7-6
Analisis Ayakan (%lolos)				
No.10	-	-	-	-
No.40	-	-	-	-

N0.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan no. 40				
Batas cair(LL)	Maks 40	Maks 41	Maks 40	Min 41
Indeks plastisitas (PL)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paing dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sbg bahan tanah dasar	Biasa sampai Jelek			

Sumber: Braja M. Das (1998)

Catatan:

Kelompok A7 dibagi atas A7-5 dan A7-6, bergantung pada batas plastisitasnya (PL):

- 1) Untuk $PL > 30$; klasifikasinya A7-5
- 2) Untuk $PL < 30$; klasifikasinya A7-6

AASHTO (*American association of State Highway and Transportation Officials Classification*), sebagai badan transportasi dan jalan raya di Amerika Serikat menyusun sistem klasifikasi tanah untuk keperluan perencanaan lapisan pondasi jalan (*subbase*) dan lapisan tanah dasar jalan (*subgrade*).

Pengujian tanah yang diperlukan dalam klasifikasi ini adalah “analisis saringan” dan “uji batas-batas *Atterberg*”. Selanjutnya dihitung indeks kelompok (*group index – GI*), yang digunakan untuk mengevaluasi pengelompokan tanah-tanah. Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$GI = (F-35) [0,2 + 0,005 (LL-40)] + (F-15) (PI-10) \dots\dots\dots (1)$$

Yang mana:

F = persen lolos saringan no.200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Apabila nilai indeks kelompok semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam pemilihan penggunaan tanah tersebut (gradasi jelek), tanah granuler diklasifikasikan dalam A1 sampai A3. Sedangkan tanah berbutir halus diklasifikasikan dalam A4 sampai A7.

Tanah klasifikasi A1, adalah tanah granuler bergradasi “baik”, dan tanah klasifikasi A3, merupakan pasir bersih yang bergradasi “buruk”. Sedangkan klasifikasi A2 adalah tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan No.200), tapi masih mengandung lanau dan lempung. (Darwis,2018)



Gambar 2 Tahapan Deskripsi Tanah dengan sistem AASHTO

Tabel 3 Perbandingan Sistem AASHTO dengan Sistem *Unified* (Liu,1967)

Kelompok tanah AASHTO	Kelompok tanah yang sebanding dalam sistem Unified		
	Sangat mungkin	Mungkin	Kemungkinan kecil
A1-a	GW,GP	SW,SP	GM,SM
A1-b	SW,SP,GM,SM	GP	-
A3	SP		SW,GP
A2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A2-5	GM, SM		GW,GP,SW,SP
A2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A2-7	GM, GC, SM, SC		GW,GP,SW, SP
A4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A5	OH, MH, ML, OL		SM, GM
A6	CL	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

2. Deskripsi Tanah Berbutir Halus

a. Batas cair (Liquid Limit)

Menurut Darwis (2018) Batas Cair adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis tanah, atau nilai batas atas pada daerah plastis. Pengujian batas cair dilakukan dengan Uji Casagrande (1948), yang mana contoh tanah dimasukkan ke dalam cawan Casagrande kemudian permukaannya diratakan, dan dialur (*grooving*) tepat ditengah. Selanjutnya dengan alat penggetar cawan tersebut diketuk-ketukan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm

sebanyak 25 ketukan. Bila alur selebar 12,7 mm yang berada di tengah tertutup sampai batasan 25 ketukan, maka kadar air tanah pada saat itu merupakan "Batas Cair".

Batas cair oleh *Waterways Experiment Station di Mississippi* (1949), mengusulkan formula sebagai berikut:

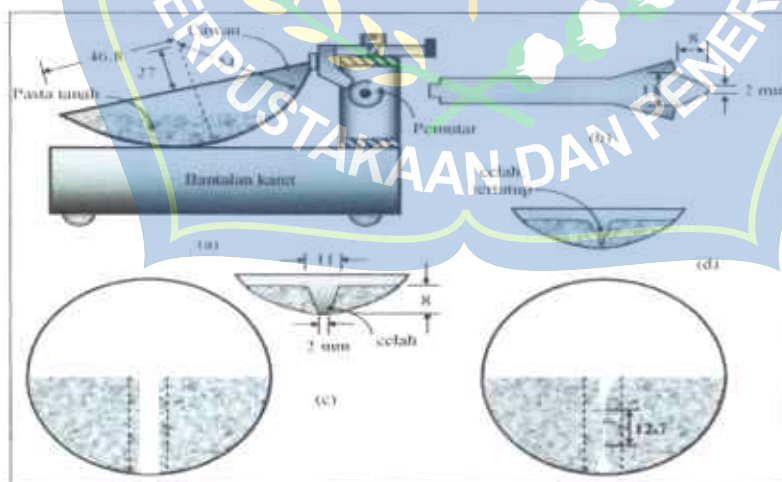
$$LL = W_N \left(\frac{N}{25} \right) \tan \beta \quad \dots (1)$$

Yang mana:

N = Jumlah pukulan untuk menetapkan celah 0,5 inch (12,7 mm)

W_N = Kadar air

$\tan \beta = 0,121$: beberapa tanah tertentu nilainya tidak sama dengan 0,121.



Gambar 3 Skema uji batas cair metode asagandre (a) susunan alat uji batas cair, (b) *grooving tool*, (c) pasta tanah sebelum pengujian (d) pasta tanah sesudah pengujian.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Menurut Darwis (2018) Batas Plastis didefinisikan sebagai nilai kadar air kedudukan antara daerah plastis dengan daerah semi padat.

Nilai batas plastis ini ditentukan dengan percobaan menggulung tanah sehingga diameter 3,2 mm dan memulai mengalami retak-retak. Kadar air tanah yang digulung dalam kondisi tersebut merupakan nilai "batas plastis" tanah.

c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis pada tanah.

$$PI = LL - PL \quad (2)$$

Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah, jika nilai PI tinggi maka tanah mengandung banyak lempung, dan jika nilai PI rendah maka tanah mengandung banyak lanau. Ciri dan sifat dari tanah lanau adalah dengan kadar air yang berkurang sedikit saja tanah akan kering. Oleh Atterberg diberikan batasan nilai indeks plastisitas dengan sifat-sifat, ragam tanah dan kohesifitasnya. Sebagai berikut:

Tabel 4 Nilai Plastisitas dan Ragam Tanah

PI	Sifat	Ragam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber:Dasar-DasarbMekanika Tanah (2018)

3. Analisis Butiran Tanah

a. Analisis Saringan

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standart. Berat tanah yang tinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung (Hardiyatmo, 2002).

Tabel 5 Susunan Saringan Berdasarkan ASTM

No. Saringan	Diameter Lubang (mm)	No. Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,30
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2,00	100	0,15
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,60		

Sumber: *Mekanika Tanah I* (2002)

b. Analisis Hidrometer

Menurut Darwis (2018) analisis hidrometer dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir yang berbutir halus atau bagian halus dari tanah berbutir campuran (*common soil*). Sampel tanah yang akan diuji dengan analisis hidrometer adalah partikel tanah yang lolos saringan No.200, dan terlebih dahulu harus bebas dari material organik, yang dimaksudkan agar zat organik yang belum merupakan bagian dari konsistensi tanah, tidak akan mengacaukan analisis hidrometer tersebut.

Uji hidrometer dilakukan dengan melarutkan sampel tanah yang telah bebas dari zat organik, ke dalam air destilasi yang dicampur dengan pndeflokulasi (*deflocculating agent*), bahan anti pembekuan. Bahan ini dapat berupa *sodium hexametaphosphate*, yang dimaksudkan agar partikel-partikel butiran tanah tetap menjadi bagian terpisah satu dengan yang lainnya. Kemudian larutan suspensi tersebut dimasukkan ke dalam tabung hidrometer. Tanah dikatakan bergradasi baik bila distribusi ukuran butirannya tersebar secara meluas (bervariasi). Sedangkan tanah disebut bergradasi buruk bila jumlah berat butirannya sebagian besar mengelompok dalam batas interval diameter gradasi seragam (interval sempit), dan dominan butirannya berukuran besar atau berukuran kecil sedangkan butiran ukuran sedang relatif kurang.

4. Sifat dan karakteristik Tanah Berbutir Halus

a. Jenis-Jenis dan Sifat Tanah Berbutir Halus

Menurut Wesley (2010) tanah berbutir halus terdiri atas lanau (*silt*) dan/atau lempung (*clay*) dan sering disebut tanah berkoheisi.

Lempung terdiri atas butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat kohesi dan plastisitas. Sifat ini tidak ditemukan pada pasir dan kerikil. Sifat kohesi berarti butir-butirannya saling menempel, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah dapat berubah bentuk tanpa mengubah volume dan tidak menyebabkan retak dan pecah. Fraksi lempung adalah bagian berat butir-butir dari tanah yang lebih halus dari 0,002 mm.

Lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir. Lanau bersifat kurang plastis daripada lempung (lanau “asli” sebenarnya tidak

memiliki sifat plastis) dan permeabilitas yang lebih tinggi. Lanau juga menunjukkan sifat-sifat khusus, yaitu perilaku *quick* menunjukkan kecenderungan lanau untuk menjadi cair ketika digetarkan, dan dilantasi merupakan kecenderungan untuk mengalami penambahan volume ketika berubah bentuk. Fraksi lanau adalah bagian berat butir-butir yang ukurannya antara 0,002 mm dan 0,06 mm.

Sifat-sifat tanah halus (lempung dan lanau) secara tidak langsung tidak berhubungan erat dengan ukuran butirnya. Ini karena sifat lempung dan lanau lebih bergantung pada komposisi zat mineralnya daripada ukuran butirnya. Oleh karena itu, pada tanah berbutir halus, penentuan ukuran butirnya tidak begitu penting. Yang lebih penting adalah menentukan sifat yang disebut batas-batas plastisitasnya karena angka-angka ini memberikan petunjuk yang lebih baik mengenai sifatnya dari pada ukuran butirnya. Batas-batas ini juga disebut batas-batas Atterberg.

b. Karakteristik Tanah Berbutir Halus

Karakteristik tanah berbutir halus dapat dilihat sebagai berikut (Hardiyatmo, 2002):

- 1) Plastisitas adalah sifat teknis yang paling penting dari tanah berbutir halus. Plastisitas tanah berbutir halus ditentukan dari banyaknya butiran tanah yang lolos saringan N0.40. Material tanah yang terletak diatas garis A dapat dikelompokkan ke dalam tanah berbutir halus berlempung. Bila dapat dikelompokkan dibawah garis A tanah tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tanah berbutir halus berlanau.
- 2) Batas cair adalah salah satu karakteristik utama dari tanah berbutir halus. Tanah berbutir halus memiliki batas cair tinggi dan ada pula yang

memiliki batas cair rendah. Tanah yang mempunyai batas cair diatas 50% adalah tanah lempung atau lanau dengan batas cair yang tinggi. Tanah yang memiliki batas cair dibawahn 50% adalah tanah lempung atau lanau yang memiliki batas cair rendah.

- 3) Butiran tanah berbutir halus diklasifikasikan jika 50% dari total agregat lolos saringan No.200 (0,074 mm).

Berdasarkan klasifikasi USCS tanah Lempung Lanau Berpasir, Lempung Pasir Berlanau, dan Lanau Lempung Berpasir, dikategorikan sebagai berikut:

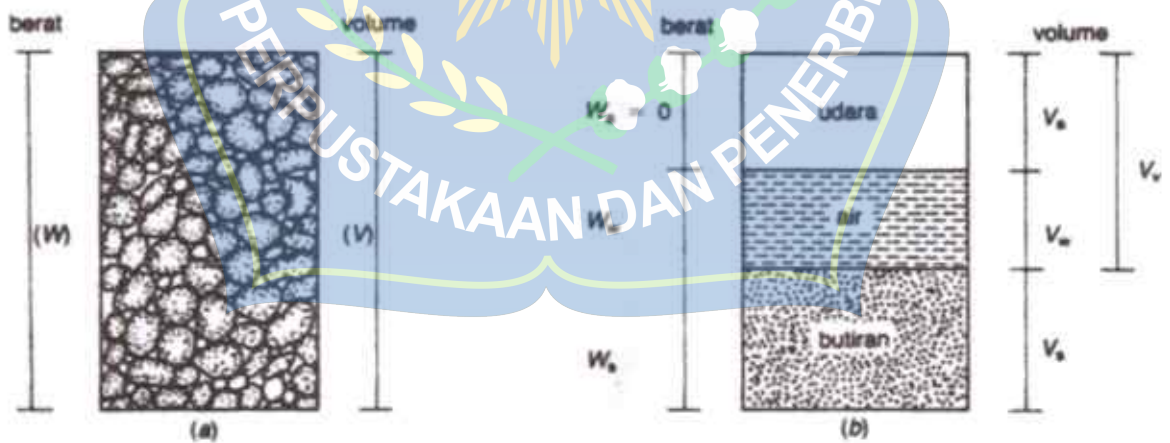
- 1) Lempung Lanau Berpasir (*Sandy Silty Clay*) adalah jenis tanah berbutir halus yang memiliki kriteria *Plastis Index* dibawah 4 ($PI < 4$) dan berada dibawah garis A dalam grafik plastisitas, dan memiliki simbol (ML). memiliki gradasi butiran secara umum $> 50\%$ lolos saringan 200 (0,074 mm) dan memiliki ukuran butiran $< 0,002$ mm. serta memiliki batas cair (LL) $< 50\%$
- 2) Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*) adalah jenis tanah berbutir halus yang memiliki kriteria *Plastis Index* diatas 7 ($PI > 7$) atau berada di atas garis A, dan memiliki simbol (CL). Sera memiliki gradasi butiran secara umum jika $> 50\%$ lolos saringan 200 (0,074 mm) untuk jenis tanah lanau berlempung memilki ukuran butiran 0,002 – 0,06. Serta memiliki batas cair (LL) $\leq 50\%$.

B. Teori Angka Pori Tanah

1. Teori Angka Pori

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. 2

Gambar 2.2a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W , sedang **Gambar 2.2b** memperlihatkan hubungan berat dengan volumenya.



Gambar 4 Diagram Fase Tanah

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan:

$$w = W_s + W_w$$

dan

$$V = V_s + V_w + V_a$$

$$V_v = V_w + V_a$$

Dengan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_a = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Angka pori adalah perbandingan antara rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut (Darwis, 2018) :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2)$$

Turunan :

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (4)$$

$$V_s = 0 \quad (5)$$

Keterangan:

e = angka pori

V_v = volume rongga

V_s = volume butiran

Pori-pori tanah adalah bagian yang tidak terisi oleh bahan padat (terisi oleh udara dan air). Tekanan pori merupakan tekanan yang diakibatkan oleh fluida yang berada di pori-pori tanah. Garis tekanan pori akan mengikuti garis normal hidrostatik maka hal tersebut didefinisikan sebagai keadaan *overpressure* begitupun sebaliknya apabila tekanan nilai tekanan pori berada dibawah tekann hidrostatik maka hal ini didefinisikan sebagai keadaan *underperessure* (Juriansyah, 2016).

2. Perubahan Pori

Perubahan angka pori tanah sangat dipengaruhi oleh frekuensi curah hujan karena semakin lama frekuensi hujan terjadi maka tekanan akibat pukulan air hujan akan semakin besar terhadap tanah mengakibatkan volume rongga semakin kecil dan tanah akan jenuh air, akhirnya penggenangan air akan terjadi. Angka pori dipengaruhi oleh perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). (Hakim dkk, 1986).

Pukulan butiran-butiran hujan pada tanah yang terbuka menghancurkan dan mendispersikan agregat tanah yang mengakibatkan penyumbatan tanah dipermukaan. (Hakim dkk, 1986). Gaya pukulan oleh butir-butir air hujan terhadap permukaan tanah akan mengurangi daya infiltrasi. Akibat pukulan-pukulan tersebut butir-butir tanah yang lebih halus pada permukaan tanah akan terpancar dan masuk kedalam ruang-ruang antara, sehingga terjadi efek pemampatan karena pengecilan pori pada tanah. Akan berbeda pada tanah pasir (sandy soil) tanpa campuran bahan-bahan lain tidak akan dipengaruhi oleh gaya pukulan butir-butir hujan tersebut. Dalam kasus lain perubahan pori tanah permukaan dipengaruhi oleh injakan

manusia atau binatang dan kendaraan yang juga sangat menurunkan daya infiltrasi. (Takeda, 1999).

3. Pengukuran Angka Pori Tanah

Pengukuran angka pori dilakukan menggunakan alat model tertentu dengan melakukan pengujian angka pori awal (e_0), yaitu kondisi dimana sampel tanah belum di hujani. Kemudian melakukan pengukuran (e_1) yaitu ketika air hujan telah terinfiltrasi sama dengan nol lalu dilakukan pengambilan sampel untuk keperluan perhitungan angka pori akhir (e_1). Pada penelitian yang dilakukan penyajian data dan analisis angka pori pada pasir sedang (*Medium Sand*) dilakukan pada saat kondisi tanah asli atau sebelum di hujani dan dilanjutkan setelah tanah di hujani. Analisis angka pori ini dilakukan secara berturut-turut dengan tiga variasi intensitas curah hujan rencana yaitu intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun (I_5), intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun (I_{15}), dan intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun (I_{25}). Untuk hasil pengamatan dari proses tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 6 Nilai Angka Pori Awal dan Angka Pori Akhir

INTENSITAS CURAH HUJAN (mm/jam)	ANGKA PORI (e)	
	(e_0)	(e_1)
15	0,92	0,39
115	0,92	0,35
125	0,85	0,25

C. Teori Dasar Kejut Kapiler

1. Defenisi Kejut Kapiler

Istilah kejut kapiler (*cappillary shock*) adalah turunnya muka air tanah yang terjadi pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*) (Darwis dkk, 2014).

Menurut Darwis dkk (2012:2013) penurunan muka air tanah yang terjadi pada awal musim hujan, merupakan fenomena peningkatan tekanan kapiler didalam lapisan tanah, yang disebut dengan Kejut Kapiler. Peningkatan tekanan kapiler di dalam lapisan tanah yang mendapatkan infiltrasi awal terjadinya akibat tertutupnya sebagian pori-pori tanah di lapisan permukaan, sehingga meningkatkan daya ikat tanah terhadap air dan meningkatkan terjadinya gerakan air kapiler dari lapisan tanah jenuh ke lapisan tanah tak jenuh. Kejadian ini memberikan kejutan karena bertolak belakang dengan adanya hujan justru air tanah jenuh permukaan dan mengalami penurunan atau dehidrasi. Penurunan permukaan air tanah freatis ini cukup signifikan karena dapat mencapai antara 30 s/d 50 cm, sebelum kembali meningkat setelah intensitas curah hujan semakin meningkat. Periode ini cukup panjang untuk eksistensi kehidupan tanaman, karena dapat berlangsung antara 2 s/d 3 minggu.

Menurut Darwis (2017), bahwa gejala kejut kapiler disebabkan meningkatnya tekanan kapiler akibat mengecilnya pori tanah pada *vedose zone*, sehingga air tanah yang berada pada *saturated zone* akan terhisap (tertarik) ke lapisan tanah *unsaturated*, oleh karena mengecilnya pori yang kosong di dalam tanah sebagai

akibat dari terisnya air hidroskopik dari infiltrasi air hujan, maka tekanan kapiler dari lapisan tanah pada zona kapiler akan meningkat, sehingga akan menghisap air dari zona freatis. Dengan demikian permukaan air freatis akan terdegrasi, karena air yang berinfiltrasi diawal musim hujan belum sampai ke zona freatis, tetapi justru air freatis terisap ke lapisan kapiler karena tingginya tekanan kapiler yang timbul akibat mengecilnya pori tanah pada lapisan tanah di zona funikuler dan penduler, sehingga menurunkan muka air yang signifikan.

2. Mekanisme Proses Terjadinya Kejut Kapiler

Menurut Darwis,dkk (2012;2013) menemukan suatu fenomena cukup ganjil yang terjadi terhadap eksistensi air tanah freatis pada saat awal musim hujan. Fenomena ganjil yang terjadi adalah, turunnya permukaan air tanah (freatis) pada saat hujan pertama sampai hujan yang keempat atau kelima, yang mana kejadiannya memberikan kejutan karena bertolak belakang dengan adanya hujan, justru air tanah jenuh permukaannya mengalami penurunan (degradasi).

Degradasi permukaan air tanah freatis ini cukup signifikan karena dapat mencapai antara 30 s/d 50 cm, sebelum kembali meningkat setelah intensitas curah hujan semakin meningkat. Periode ini cukup panjang untuk eksistensi kehidupan tanaman, karena dapat berlangsung antara 2 s/d 3 minggu. Hal ini sangat urgen untuk menjadi perhatian, baik dalam rangka menunjang sustainabilitas usaha pertanian, maupun dalam pengembangan konsep ilmiah tentang pergerakan air kapiler pada saat-saat tertentu. Fenomena ini yang disebut “kejut kapiler” (*capillary shock*), belum pernah terungkap selama ini, dan merupakan temuan baru yang masih membutuhkan kajian dan eksperimen mendalam. Namun sebagai langkah

awal dalam mendiskripsikan fenomena ini, Darwis (2016) mengemukakan beberapa sintesa yang dapat menjadi dasar ilmiah sebagai berikut:

Beberapa sentesa yang menjadi dasar ilmiah Fenomena Kejut Kapiler sebagai berikut (Darwis, 2015) :

- a) Volume air yang terinfiltrasi belum melebihi kapasitas daya ikat tanah terhadap air di zona aerasi, sehingga aliran air dalam tanah belum ada yang memasuki proses perkolasi.
- b) Bahwa akibat adanya infiltrasi air permukaan ke dalam lapisan tanah belum mencukupi daya ikat tanah terhadap air akan memicu peningkatan nilai pF pada lapisan tanah di zona aerasi, sehingga memungkinkan air bergerak dari zona saturasi ke zona aerasi.
- c) Peningkatan kadar air tanah di lapisan permukaan memperkecil pori udara, yang dapat mengakibatkan peningkatan daya ikat partikel tanah terhadap air pada lapisan tanah di bawahnya, sehingga tekanan kapiler dalam lapisan tanah pada zona aerasi meningkat, dan mengakibatkan *resources* air tanah jenuh akan terisap ke lapisan air.
- d) Kondisi tekstur tanah yang berbutir halus (*clay*), sehingga pori tanah yang kecil, memungkinkan tekanan air kapiler dalam lapisan tanah cukup tinggi, sehingga mampu menggerakkan air tanah dari zona saturasi ke zona aerasi.

3. Parameter Kejut Kapiler

a) Tinggi Kejut Kapiler

Tinggi kejut kapiler adalah durasi waktu saat level muka air tanah mulai turun, sejak menerima curah hujan yang berlangsung hingga level muka air tanah kembali naik, sampai kembali pada level semula.

Semakin besar intensitas curah hujan yang digunakan maka tinggi penurunan muka air tanah akan semakin rendah hal ini dikarenakan tingginya tekanan kapiler (*capillary water*) pada zona kapiler, sehingga efektifitas air infiltrasi semakin cepat untuk mengisi dan meningkatkan level muka air tanah, sampai terjadi pemulihan muka air tanah pada level sebelum terjadinya kejut kapiler.

Untuk menentukan ketinggian kejut kapiler dapat dilakukan dengan simulasi intensitas curah hujan yaitu I_5, I_{15}, I_{25} , dengan menentukan tinggi muka air tanah sebelum dihhujani, dan pengambilan datanya dapat dilakukan dengan waktu yang ditentukan.

b) Waktu Kejut Kapiler

Dari penelitian terhadulu Darwis 2 (2017), didapatkan fenomena yang menunjukkan bahwa pada awal musim hujan, terjadi permukaan muka air tanah (jenuh) yang besarnya berkisar antara 30 sampai 50 cm. Fenomena ini dapat berlangsung antara 7 sampai 10 hari, tergantung pada intensitas curah hujan pada awal musim penghujan. Fenomena ini disebut "kejut kapiler" (*capillary shock*).

Waktu kejut kapiler pada tanah berbutir halus yang diamati menggunakan perbandingan 3 (Tiga) jenis intensitas curah hujan, terlihat bahwa semakin besar intensitas curah hujan yang diaplikasikan pada tanah berbutir halus yang *sandy silty clay*, maka waktu kejut kapilernya akan semakin cepat, hal ini dikarenakan tingginya tekanan kapiler akan menyebabkan cepatnya proses pengisian air kapiler (*capillary water*) pada zona kapiler, sehingga efektifitas air infiltrasi semakin cepat untuk mengisi dan meningkatkan level muka air tanah, sampai terjadi pemulihan muka air tanah pada level sebelum terjadinya kejut kapiler.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan model penelitian eksperimental “Analisis Hubungan Angka Pori (e) dengan Waktu Kejut Kapiler Pada Tanah Berbutir Halus” dengan alat model (uji laboratorium) dan menggunakan hujan buatan dari alat simulasi yang didesain dan dibuat khusus (*specific equipment*).

B. Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan dengan dua lokasi:

- 1) Pengujian karakteristik tanah dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
- 2) Pengujian model dilakukan di Desa Lonjoboko, Kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa.

C. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat 2 jenis variabel yaitu variabel bebas (*independent variabel*) dan variabel terikat (*dependent variabel*).

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu angka pori (e).

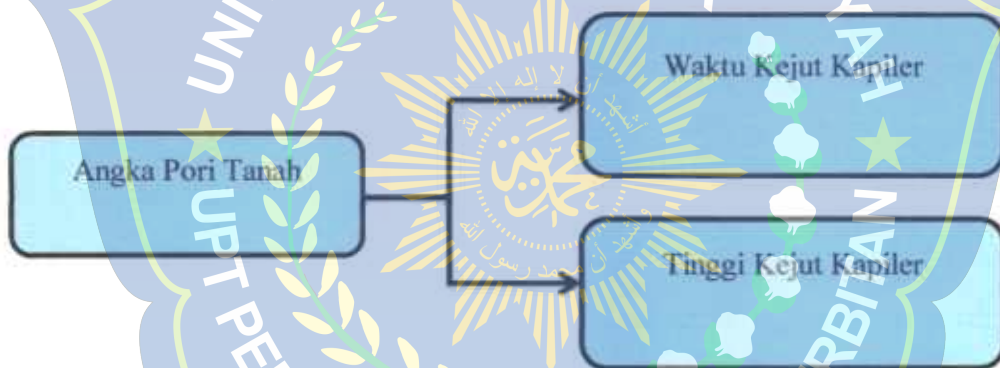
2. Variabel Terikat (*Dependent variable*)

Variabel terikat (*dependent variable*) pada penelitian ini, yaitu:

Parameter Angka Pori

- a) Waktu Kejut Kapiler
- b) Tinggi Kejut Kapiler

Hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan skema berikut:



Gambar 5 Skema Hubungan Variabel Penelitian

D. Defenisi Operasional Variabel

Defenisi operasional adalah konstrak atau sifat yang akan dipelajari sehingga menjadi variabel yang dapat diukur. Defenisi operasional menjelaskan cara tertentu yang digunakan untuk meneliti dan mengoperasikan konstrak, sehingga memungkinkan bagi peneliti yang lain untuk melakukan replikasi pengukuran dengan cara yang sama atau mengembangkan cara pengukuran konstrak yang lebih baik. Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yang divariasikan dan diamati dengan definisi operasional sebagai berikut:

1. Gradasi Tanah Berbutir Halus

Gradasi tanah disebut dengan gradasi agregat dimana gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butiran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai presentase dari total agregat, atau presentase kumulatif butiran yang lebih kecil, atau lebih besar dari masing-masing seri bukan saringan.

Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lempung (*clay*) dan lanau (*silt*). Tanah berbutir halus disebut tanah kohesif, contoh tanah berbutir halus adalah lempung, lempung lanauan, dan lempung bercampur pasir dan kerikil.

2. Kejut Kapiler

Istilah kejut kapiler (*cappillary shock*) adalah turunnya muka air tanah yang terjadi pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*).

Penurunan muka air tanah yang terjadi pada awal musim hujan, merupakan fenomena peningkatan tekanan kapiler didalam lapisan tanah, yang disebut dengan Kejut Kapiler. Peningkatan tekanan kapiler di dalam lapisan tanah yang mendapatkan infiltrasi awal terjadinya akibat tertutupnya sebagian pori-pori tanah di lapisan permukaan, sehingga meningkatkan daya ikat tanah terhadap air dan meningkatkan terjadinya gerakan air kapiler dari lapisan tanah jenuh ke lapisan tanah tak jenuh. Kejadian ini memberikan kejutan karena bertolak belakang dengan adanya hujan justru air tanah jenuh permukaan dan mengalami penurunan atau dehidrasi. Penurunan permukaan air tanah freatis ini cukup signifikan karena dapat

mencapai antara 30 s/d 50 cm, sebelum kembali meningkat setelah intensitas curah hujan semakin meningkat. Periode ini cukup panjang untuk eksistensi kehidupan tanaman, karena dapat berlangsung antara 2 s/d 3 minggu.

Gejala kejut kapiler disebabkan meningkatnya tekanan kapiler akibat mengecilnya pori tanah pada *vedose zone*, sehingga air tanah yang berada pada *saturated zone* akan terhisap (tertarik) ke lapisan tanah *unsaturated*, oleh karena mengecilnya pori yang kosong di dalam tanah sebagai akibat dari terisinya air hidroskopik dari infiltrasi air hujan, maka tekanan kapiler dari lapisan tanah pada zona kapiler akan meningkat, sehingga akan menghisap air dari *zona freatis*. Dengan demikian permukaan air freatis akan terdegrasi, karena air yang berinfiltrasi diawal musim hujan belum sampai ke zona freatis, tetapi justru air freatis terisap ke lapisan kapiler karena tingginya tekanan kapiler yang timbul akibat mengecilnya pori tanah pada lapisan tanah di zona funikuler dan penduler, sehingga menurunkan muka air yang signifikan.

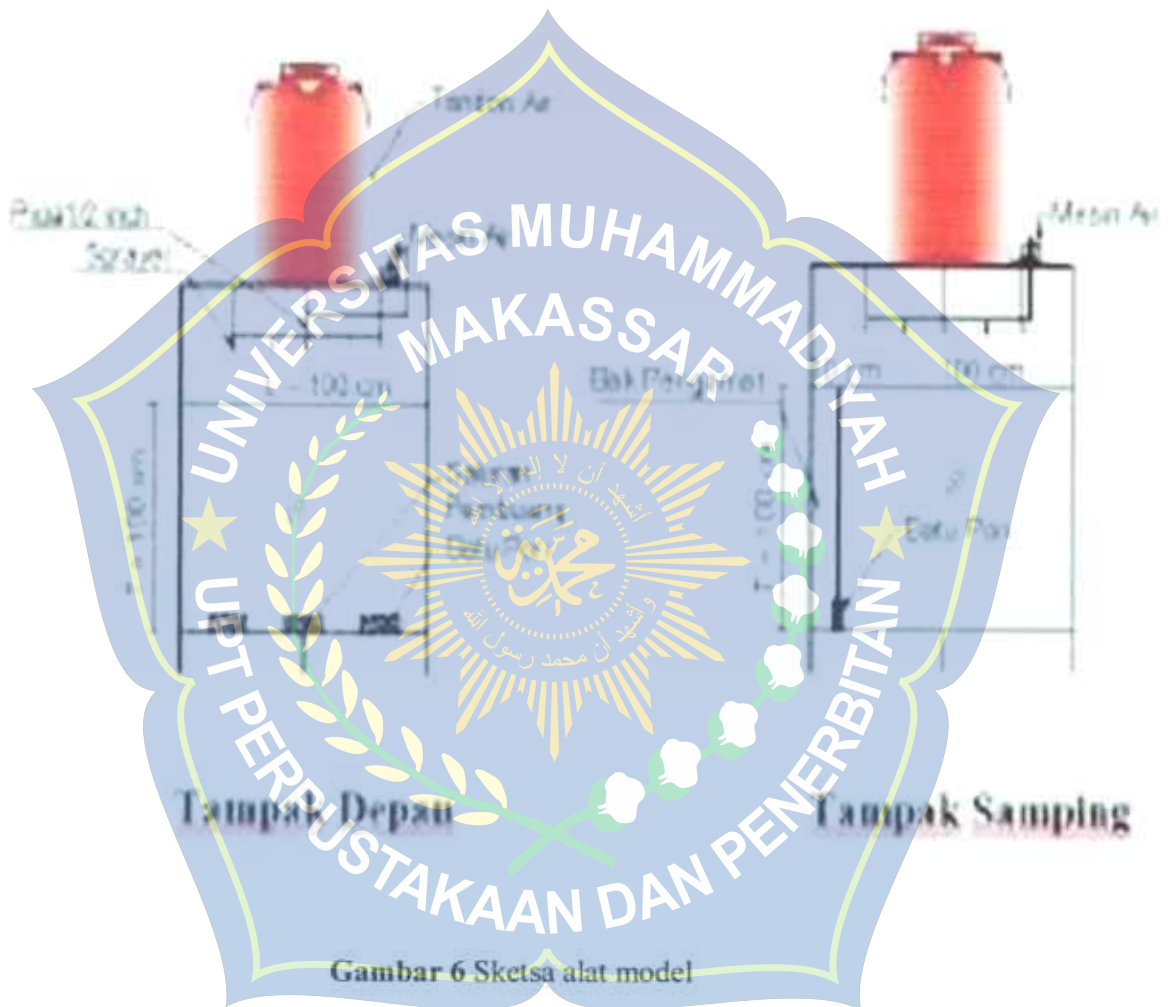
3. Perubahan Angka Pori Tanah

Perubahan angka pori tanah (Δe) adalah perubahan nilai angka pori yang diukur setiap selang waktu selama pengujian berlangsung.

Dalam penelitian ini angka pori tanah diamati saat menghitung volume rongga (V_v) dan volume butiran (V_s) dan perubahan angka pori tanah (Δe) diamati dengan menghitung selisih angka pori awal tanah sebelum diujani (e_0) dan angka pori akhir (e_1) setelah tanah diujani.

E. Rancangan Penelitian

1. Instrumen Penelitian





Gambar 7 Foto Alat Model

a. Komponen Alat Penguji:

- 1) Bak Tandon kapasitas 600 liter
- 2) Pipa PVC 0,5 inch
- 3) Mesin air
- 4) Nozzle
- 5) Keran air
- 6) Gorden plastic
- 7) Bak kaca transparan
- 8) Bak kontrol air tanah
- 9) Batu pori

b. Alat bantu yang digunakan :

1. Gelas ukur

2. *Stopwatch* untuk mengukur durasi hujan
3. Tabel isian data dan alat tulis
4. Kamera untuk dokumentasi dalam penelitian
5. Berbagai alat pendukung lain yang dibutuhkan dalam penelitian

c. Material Alam :

1. Tanah: jenis air tanah yang digunakan adalah tanah butir halus
2. Air: jenis air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air yang tidak terkontaminasi dengan air limbah, untuk membuat hujan buatan dengan menggunakan alat simulasi hujan (*model simulasi*).

2. Prosedur Pengujian

a. Prosedur Pengambilan dan Pemeriksaan Karakteristik Tanah

- 1) Survey lokasi pengambilan sampel dengan membawa peralatan seperti pacul, sekop dan karung.
- 2) Ratakan dan bersihkan area pengambilan sampel.
- 3) Gali tanah hingga kedalaman 50 cm, lalu ambil beberapa sampel pada kedalaman tersebut disertai dengan keterangan lokasi dan waktu pengambilan sampel.
- 4) Tanah dikeringkan dibawah paparan sinar matahari, lalu diuji karakteristiknya pada laboratorium sesuai dengan tahap pengujian yang ditetapkan.
- 5) Untuk sampel tanah yang masuk kategori sebagai tanah berbutir halus yang akan digunakan, maka diambil sampel dalam jumlah yang lebih besar untuk dikeringkan dan dilakukan pengujian pada alat model simulasi.

b. Prosedur Perakitan Alat Simulasi

- 1) Menyediakan beberapa besi siku dan besi hollow yang akan digunakan membuat struktur rangka alat penelitian dengan model persegi panjang yang berukuran panjang 110 cm, lebar 100 cm, dan tinggi 200 cm.
- 2) Memasang bak kaca dengan ketebalan 12 cm disetiap sisi yang telah diukur semua dengan akurat yang telah ditentukan, yang terdiri atas dua bilik yakni bilik pertama bak untuk bak tanah dan bilik kedua untuk bak pengatur air tanah.
- 3) Memasang tiga batu pori diantara dinding pembatas bak yang berisi tanah.
- 4) Memasang mistar ukur secara vertikal dan horizontal pada sisi kanan begitupun pada sisi kir.
- 5) Memasang alat hujan buatan yang terdiri dari pipa PVC, stop keran, dan nozzle sebanyak 5 unit.
- 6) Memasang mesin air untuk membantu mengalirkan hujan buatan dengan kecepatan konstan dan sama pada setiap nozzle.
- 7) Memasang bak air (tandon) untuk menstabilkan hujan buatan sesuai dengan kebutuhan pengujian.
- 8) Mengatur dan menempatkan alat model simulasi pada area yang rata dan kuat menahan berat alat model simulasi itu sendiri beserta berat tanah yang akan diuji.

c. Kalibrasi Alat

Sebelum prosedur pengujian model simulasi hujan, perlu dilakukan kalibrasi alat terlebih dahulu. Pada saat proses ini, diatur kecepatan pancaran air yang

keluar melalui nozzle, dan memperhatikan kinerja batu pori. Alat simulasi hujan disesuaikan dengan intensitas curah hujan yang telah di analisa pada perhitungan hidrologi.

d. Pengujian Angka Pori, Simulasi Hujan, dan Pembacaan Kejut Kapiler

- 1) Tanah yang sudah kering dimasukkan ke dalam bak tanah dengan ketebalan lapisan tanah sebesar 80cm, dimana setiap ketebalan 20cm dilakukan pemadatan dengan alat vibrator.
- 2) Melakukan pengujian angka pori awal (sebelum hujan) dengan gelas ukur, dan mengambil sampel tanah sebanyak 50 ml dan air 70ml untuk pengujian angka pori awal.
- 3) Mengisi air tanah ke dalam bak pengamat hingga mencapai tinggi air 25 cm.
- 4) Mengulangi tahap 2 sampai air tanah homogen dengan tanah uji melalui proses rembesan horizontal.
- 5) Melakukan proses simulasi hujan (Running Test).
- 6) Melakukan pembacaan kejut kapiler pada sisi kanan dan sisi kiri dengan interval permenit.
- 7) Setelah simulasi hujan, akan dilakukan pengujian angka pori untuk mengetahui angka pori akhir (setelah diujani).

3. Teknik Pengumpulan Data

Data-data yang perlu dikumpulkan dalam penelitian ini, terdiri atas beberapa macam, antara lain:

a. Angka Pori (e)

Untuk mendapatkan angka pori, maka akan dilakukan pengujian angka pori awal dan akhir yang bertujuan untuk menentukan kepadatan lapisan tanah di lapangan, adapun langkah-langkah dalam pengujian, yaitu:

1. Persiapkan semua peralatan
2. Ambil sampel tanah sebanyak 50 ml ke dalam gelas ukur dan ratakan hingga padat.
3. Ambil air sebanyak 70 ml ke dalam gelas ukur yang lainnya.
4. Tuangkan air tersebut ke dalam gelas ukur yang berisi sampel tanah.
5. Setelah air dituangkan, padatkan dengan cara mengaduk gelas ukur secara perlahan.
6. Diamkan hingga air meresap ke dalam pori-pori secara menyeluruh.
7. Setelah air telah meresap, ukur tinggi air dan tanah tersebut yang ada didalam gelas ukur.
8. Hasil tinggi itulah nilai dari angka pori.
9. Cara pengukuran angka pori awal dan akhir sama, tetapi angka pori akhir kondisi tanah telah diujani.

b. Kejut Kapiler

Pengukuran kejut kapiler dilakukan pada saat hujan berlangsung dalam setiap menit, mulai dari air tanah turun hingga air tanah naik kembali (kejut kapiler)

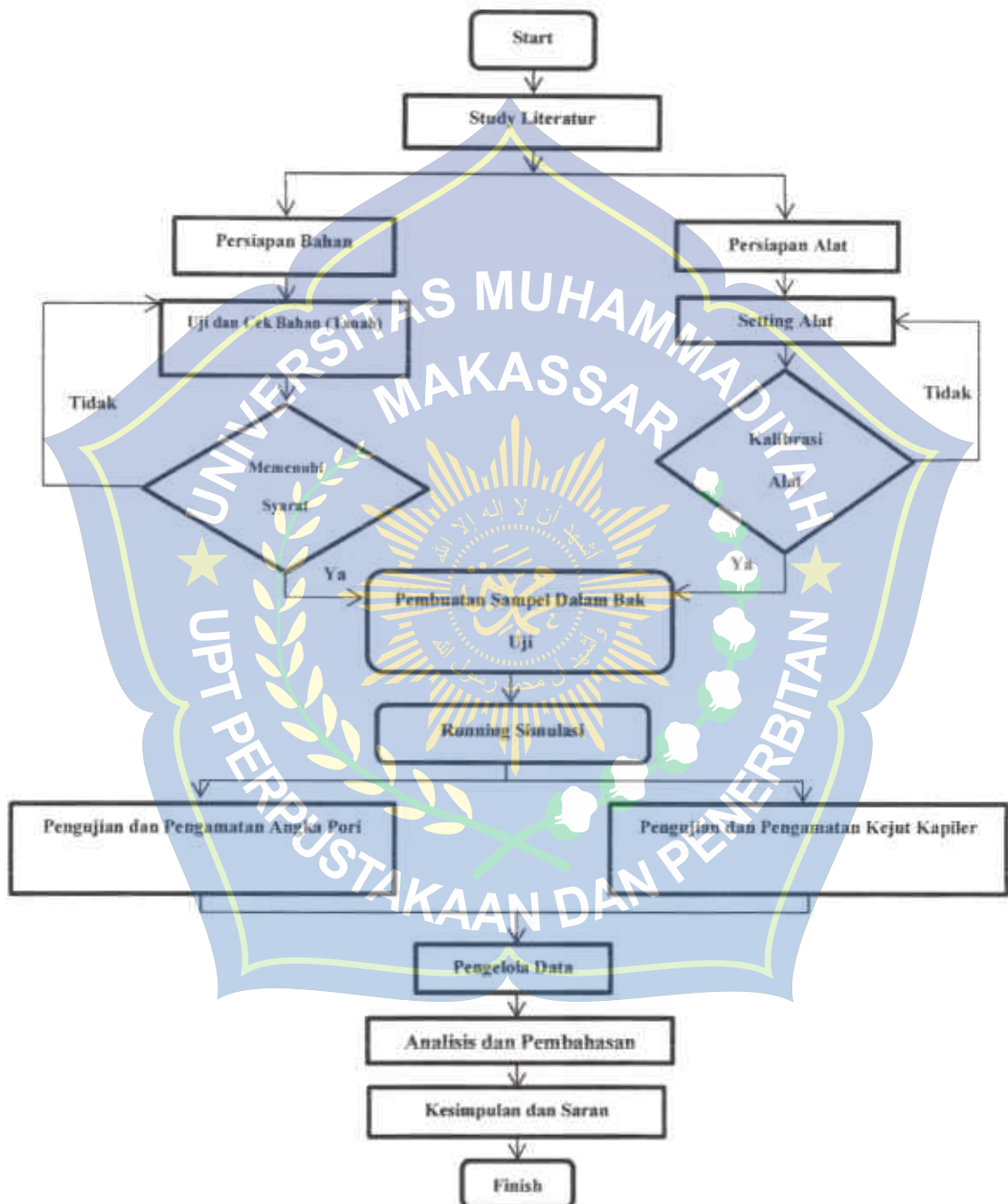
sampai air tanah homogen. Dilakukan dengan sangat teliti dan sangat hati-hati dikarenakan penurunan air setiap menitnya terbilang sangat rendah.

4. Teknik Analisa Data

Data hasil pengamatan akan diolah dengan metode statistik biasa, seperti pembuatan tabel beserta grafik hubungan antar parameter. Dari hasil pengolahan data selanjutnya akan dilakukan analisa *empirik* sehingga dapat dirumuskan formulasi hubungan antara parameter yang dihasilkan dari pengolahan data hasil penelitian. Kolerasi parameter yang ingin dilihat dalam penelitian ini, antara lain:

1. Hubungan angka pori terhadap waktu kejut kapiler pada jenis tanah berbutir halus pada sebelum dan setelah terkena hujan.
2. Hubungan angka pori terhadap tinggi kejut kapiler pada jenis tanah berbutir halus pada sebelum dan setelah terkena hujan.

5. Flow Chart



Gambar 8 Flow chart

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Penelitian

Dari pengamatan yang telah dilakukan dengan menggunakan alat simulasi hujan buatan di Malino Desa Lonjoboko Dusun Bikokoro Kecamatan Parangloe Kab. Gowa dengan menggunakan 3 jenis tanah berbutir halus yaitu lempung berlanau kepasiran, lempung berpasir berlanau, dan lanau berlempung berpasir dengan 3 jenis intensitas curah hujan yaitu intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun (I_5), intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun (I_{15}), dan intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun (I_{25}). Diperoleh hasil penurunan muka air tanah pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*) atau yang disebut kejui kapiler yang disebabkan meningkatnya tekanan kapiler akibat mengecilnya pori pada tanah.

1. Karakteristik Tanah

Berdasarkan hasil pengujian sampel tanah berbutir halus yang lokasi pengambilan sampel tanah di Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Maka di dapatkan hasil klasifikasi tanah sebagai berikut:

a. Lempung Lanau Berpasir (*Sandy Silty Clay*)

Berdasarkan hasil penelitian karakteristik tanah (Lihat Lamp.1, Hal 2-6) dikategorikan sebagai jenis tanah lempung lanau berpasir yang diambil dari lokasi Bili-Bili Kec. Parangloe. Kab. Gowa. Adapun grafik hasil pengujian berikut:

Dari Gambar 10 dapat dinyatakan bahwa berat butir tanah lempung, lanau dan pasir adalah berturut-turut sebesar 43,65%, 34,95%, dan 21,04%. Maka dari itu jenis tanah ini dapat dikategorikan sebagai tanah Lempung Lanau Berpasir.

b. Lempung Pasir Berlanau (*silty sandy clay*)

Berdasarkan Uji Karakteristik di Laboratorium (**Lihat Lamp.1, Hal.8-10**) dikategorikan sebagai jenis tanah Lempung Pasir Berlanau yang diambil dari lokasi dari Malino, Kec. Parigi, Kab. Gowa. Dengan data hasil pengujian sebagai berikut:



Gambar 11 Grafik Distribusi Butir Analisa saringan Berdasarkan Hasil Pengujian Analisa Saringan

Dari Gambar 11 menunjukkan bahwa persentase berat tanah yang lolos pada saringan N0.200 (0,075 mm) adalah 69,93%. Hal ini menunjukkan bahwa tanah tersebut dapat dikategorikan sebagai jenis tanah berbutir halus.



Gambar 12 Grafik Distribusi Pembagian Butir Berdasarkan Hasil Pengujian Hidrometer

Dari Gambar 12 di atas dapat dinyatakan bahwa berat butir tanah lempung, pasir dan lanau adalah berturut-turut sebesar 52,00%, 30,35%, dan 17,65%. Maka dari itu jenis tanah ini dapat dikategorikan sebagai tanah Lempung Pasir Berlanau.

c. Lanau Lempung Berpasir (*sandy clayey silt*)

Berdasarkan data uji karakteristik tanah di laboratorium (Lihat Lamp.1, Hal.12-25) dari jenis tanah yang memiliki jenis kandungan yang sedikit berbeda di bandingkan dua tanah sebelumnya, tanah tersebut dikategorikan sebagai jenis tanah Lanau Lempung Bepasir yang di ambil dari lokasi Pakatto, Kec. Bontomarannu, Kab Gowa. Adapun data dari hasil pengamatan sebagai berikut:



Gambar 13 Grafik Distribusi Analisa Saringan Berdasarkan Hasil Pengujian Analisa Saringan

Dari Gambar 13 dapat dideskripsikan bahwa persentase berat tanah yang lolos pada saringan No.4 (4,75 mm) adalah saringan 100%, saringan No 10 (2,00 mm) adalah 96,36%, saringan No 20 (0,85 mm) adalah 86,17% saringan No. 40 (0,43 mm) adalah 81,14% saringan No.60 (0,25 mm), adalah 77,07%, saringan No.80 (0,18 mm), adalah 74,02%, saringan No 100 (0,15 mm), adalah 73,16%, dan saringan No.200 (0.075 mm) adalah 67,83%. Dengan melihat besar persentase tanah yang dapat lolos dari saringan No 200 memiliki kesamaan pada jenis tanah kedua, akan tetapi berat dari lempung dan lanau memiliki perbedaan, hal itu dapat dilihat dari hasil pengujian hydrometer sebagai berikut:



Gambar 14 Grafik Distribusi Pembagian Butir Berdasarkan Hasil Pengujian Hidrometer

Dari Gambar 14 grafik pembagia butir Analisa hydrometer menunjukkan bahwa persentase ukuran butiran Lanau adalah 35,33%, Lempung adalah 32,50% dan Pasir adalah 32,17%. Dengan melihat hasil persentase butiran tanah tersebut, menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan pada setiap kandungannya, Akan tetapi kandungan lanau tetap dominan dibandingkan dengan kandungan lempung dan pasir, Sedangkan pada kandungan lempung pasirnya hanya memiliki selisih 0,3%

B. Hasil Pengamatan Uji Pendahuluan

Hasil pengamatan dengan menggunakan desain alat simulasi kejut kapiler, intensitas curah hujan yang digunakan ada 3 yaitu (I_5)= 230,38 L/jam, (I_{15})= 375,94 L/jam, (I_{25})= 496,48 L/jam dengan 3 jenis tanah berbutir halus yaitu lempung lanau berpasir, lempung berpasir berlanau, dan lanau berlempung berpasir.

1. Angka Pori Tanah

a. Angka Pori Awal (e_0)

Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan dengan menggunakan alat simulasi hujan. Analisis angka pori pada tiga jenis tanah dilakukan pengujian pada saat kondisi tanah belum diujani. Analisis angka pori dilakukan secara berturut-turut dengan tiga jenis sampel tanah yaitu lempung lanau berpasir, lempung berpasir berlanau, lanau lempung berpasir. Perhitungan angka pori awal terdapat pada (Lamp.3 Hal 1–20) yang dimana hasil pengamatan angka pori pada proses tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 6 Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Pertama Pada 3 Jenis Tanah

Jenis Tanah	Angka Pori(e_0)
Lempung Lanau berpasir	0.56
Lempung Berpasir Belanau	0.67
Lanau Lempung Berpasir	0.79

Dari hasil pengamatan angka pori (e_0) pada 3 jenis tanah untuk percobaan pertama yang terdapat pada Tabel 6 maka dituangkan kedalam grafik berikut:



Gambar 15 Grafik Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Pertama

Dari hasil perhitungan angka pori (e) yang terdapat pada Tabel 6 dan Gambar 15, menjelaskan bahwa pengujian angka pori awal (e_0) pada tiga jenis tanah dalam keadaan belum di hujani untuk percobaan pertama menunjukkan nilai (e_0) lempung lanau berpasir= 0,56, (e_0) lempung pasir berlanau= 0,67, (e_0) lempung pasir berlanau= 0,79. Sehingga dapat dinyatakan bahwa semakin halus jenis tanah yang diuji, maka semakin rapat pori suatu tanah. Sebaliknya semakin kasar jenis tanah yang diuji, maka semakin renggang pori suatu tanah.

Tabel 7 Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Kedua Pada 3 Jenis Tanah

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)
Lempung Lanau berpasir	0.52
Lempung Berpasir Belanau	0.56
Lanau Lempung Berpasir	0.67

Dari hasil pengamatan angka pori (e_0) pada 3 jenis tanah untuk percobaan kedua yang terdapat pada Tabel 7 maka dituangkan kedalam grafik berikut:

**Gambar 16** Grafik Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Kedua

Dari hasil perhitungan angka pori (e) yang terdapat pada Tabel 7 dan Gambar 16, menjelaskan bahwa pengujian angka pori awal (e_0) pada tiga jenis tanah dalam keadaan belum di hujani untuk percobaan kedua menunjukkan nilai (e_0) lempung lanau berpasir= 0,52, (e_0) lempung pasir berlanau= 0,56, (e_0) lempung pasir berlanau= 0,67.

Tabel 8 Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Ketiga Pada 3 Jenis Tanah

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)
Lempung Lanau berpasir	0.47
Lempung Pasir Belanau	0.51
Lanau Lempung Berpasir	0.61

Dari hasil pengamatan angka pori (e_0) pada 3 jenis tanah untuk percobaan ketiga yang terdapat pada Tabel 8 maka dituangkan kedalam grafik berikut:



Gambar 17 Grafik Angka Pori Awal (e_0) Percobaan Ketiga

Dari hasil perhitungan angka pori (e) yang terdapat pada Tabel 8 dan Gambar 17, menjelaskan bahwa pengujian angka pori awal (e_0) pada tiga jenis tanah dalam keadaan belum di hujani untuk percobaan ketiga menunjukkan nilai (e_0) lempung lanau berpasir= 0,47, (e_0) lempung pasir berlanau= 0,51, (e_0) lempung pasir berlanau= 0,61. Jenis tanah yang halus angka porinya akan lebih rendah dari pada jenis tanah yang kasar. Karena jenis tanah yang halus ,porinya semakin rapat dan tanah yang kasar porinya semakin renggang maka semakin halus tanah maka semakin besar angka porinya. Begitupun sebaliknya, semakin kasar tanah maka semakin kecil angka porinya.

b. Perubahan Angka Pori (Δ_e)

Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan dengan menggunakan alat simulasi hujan. Analisis angka pori pada tiga jenis tanah dilakukan pengujian pada saat kondisi tanah sesudah diujani. Analisis angka pori dilakukan secara berturut-turut dengan 3 jenis tanah yaitu lempung lanau berpasir, lempung berpasir berlanau, dan lanau lempung berpasir dengan 3 intensitas curah hujan yaitu intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun (I_5), intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun (I_{15}), dan intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun (I_{25}). Perubahan angka pori didapat dari pengurangan antara angka pori awal (e_0) dan angka pori akhir (e_1), maka didapatkan perubahan angka pori (Δ_e). Perhitungan angka pori awal terdapat pada (Lamp.3 Hal 1--20) yang dimana hasil pengamatan angka pori pada proses tersebut disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 9 perubahan angka pori (Δ_e) Intensitas Curah Hujan Kala Ulang 5 Tahun (I_5)

Jenis Tanah	perubahan angka pori (Δ_e)
Lempung Lanau berpasir	0.31
Lempung Pasir Belanau	0.35
Lanau Lempung Berpasir	0.40

Dari hasil pengamatan perubahan angka pori (Δ_e) pada 3 jenis tanah intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun (I_5) yang terdapat pada Tabel 9, maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



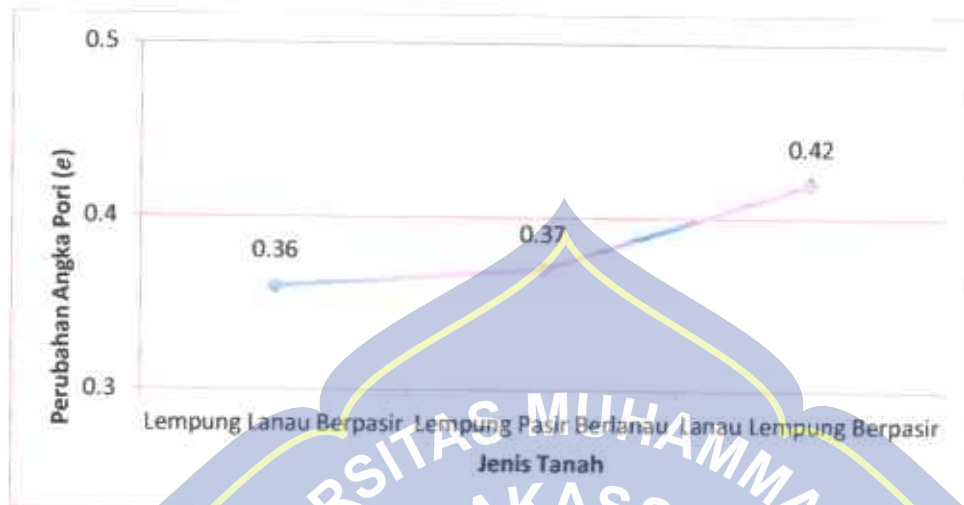
Gambar 18 Grafik perubahan angka pori (Δe) Intensitas Curah Hujan Kala 5 Tahun (I_5)

Dari hasil perhitungan perubahan angka pori (Δe) yang terdapat pada Tabel 9 dan Gambar 18, menjelaskan bahwa pengujian perubahan angka pori (Δe) pada 3 jenis tanah setelah diujani dengan intensitas hujan (I_5) = 230,38 L/jam, menunjukkan nilai (Δe) lempung lanau berpasir = 0,31, lempung pasir berlanau = 0,35, dan lanau lempung berpasir = 0,40

Tabel 10 Perubahan angka pori (Δe) Intensitas Curah Hujan Kala Ulang 15 Tahun (I_{15})

Jenis Tanah	perubahan angka pori (Δe)
Lempung Lanau Berpasir	0,36
Lempung Berpasir Berlanau	0,37
Lanau Lempung Berpasir	0,42

Dari hasil pengamatan perubahan angka pori (Δe) pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala 15 tahun yang terdapat pada Tabel 10 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 19 perubahan angka pori (Δ_e) Intensitas Curah Hujan Kala 15 Tahun (I_{15})

Dari hasil perhitungan perubahan angka pori (Δ_e) yang terdapat pada Tabel 10 dan Gambar 19, menjelaskan bahwa pengujian perubahan angka pori (Δ_e) pada 3 jenis tanah setelah diujani dengan intensitas hujan (I_{15}) = 375,94 L/jam, menunjukkan nilai (Δ_e) lempung lanau berpasir = 0,36, lempung pasir berlanau = 0,37, dan lanau lempung berpasir = 0,42

Tabel 11 Perubahan Angka Pori (Δ_e) Intensitas Curah Hujan Kala Ulang 25 Tahun (I_{25})

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)
Lempung Lanau Berpasir	0.41
Lempung Pasir Berlanau	0.42
Lanau Lempung Berpasir	0.5

Dari hasil pengamatan Perubahan Angka Pori (Δ_e) pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala 25 tahun yang terdapat pada Tabel 11 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 20 Grafik Perubahan Angka Pori (Δ_e) Intensitas Curah Hujan Kala 25 Tahun (I_{25})

Dari hasil perhitungan perubahan angka pori (Δ_e) yang terdapat pada Tabel 11 dan Gambar 20, menjelaskan bahwa pengujian perubahan angka pori (Δ_e) pada 3 jenis tanah setelah dihujani dengan intensitas curah hujan (I_{25}) = 496,48 L/jam, menunjukkan nilai (e_1) lempung lanau berpasir = 0,41, lempung pasir berlanau = 0,42, lanau lempung berpasir = 0,50.

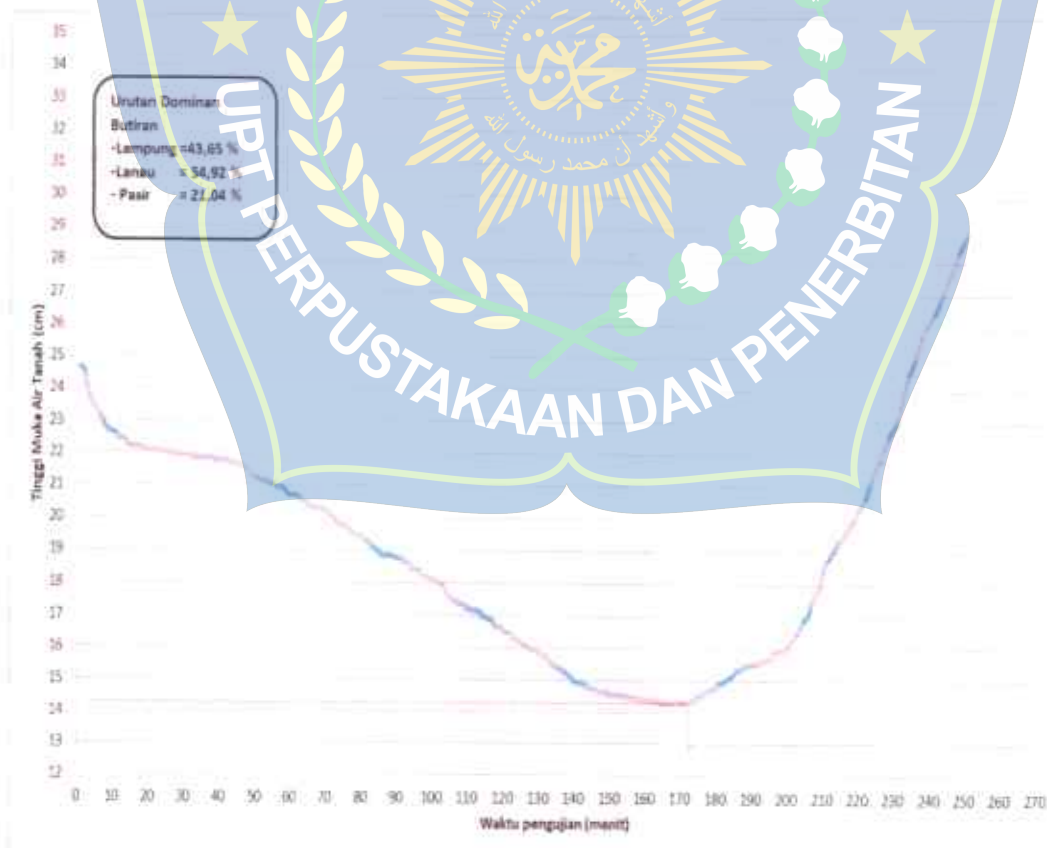
Perubahan angka pori (Δ_e) pada 3 jenis tanah dan 3 intensitas diatas menunjukkan bahwa semakin halusya tanah maka semakin besar pula perubahan porinya. Begitupun sebaliknya, semakin kasar tanah maka semakin kecil pula perubahan porinya. Perubahan pori juga berpengaruh pada intensitas curah hujan. Semakin besar intensitas yang diberikan maka semakin besar pula perubahan

porinya. Begitupun sebaliknya, semakin kecil intensitas yang diberikan maka semakin kecil pula perubahan porinya.

2. Kejut Kapiler

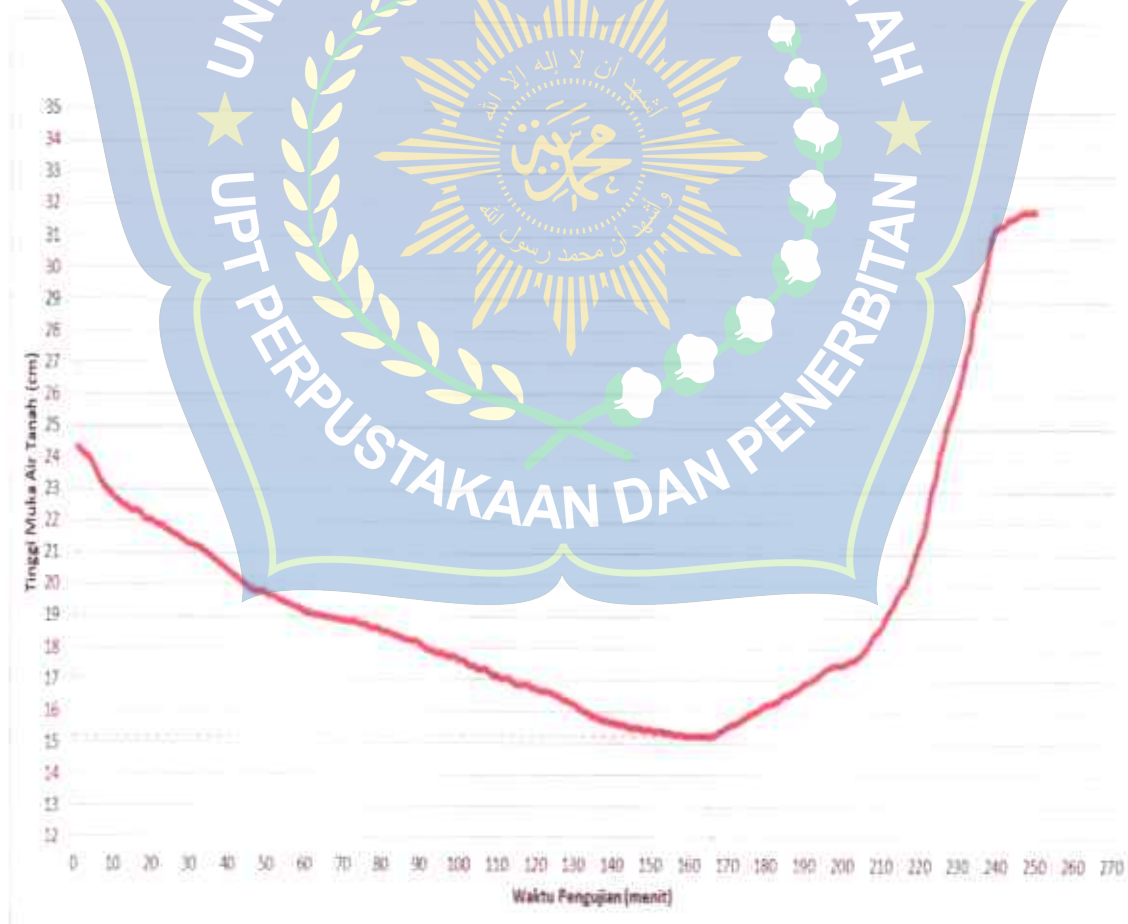
Tabel kejut kapiler terdapat pada lampiran L4.1, dari lampiran dapat dinyatakan bahwa muka air tanah atau yang disebut kejut kapiler akan mengalami penurunan pada awal musim penghujan dan saat air hujan yang terinfiltrasi masuk kedalam tanah sampai mencapai batas tekanan kapiler maka muka air tanah akan mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.

a. Kejut Kapiler 3 Jenis Tanah Untuk I_5



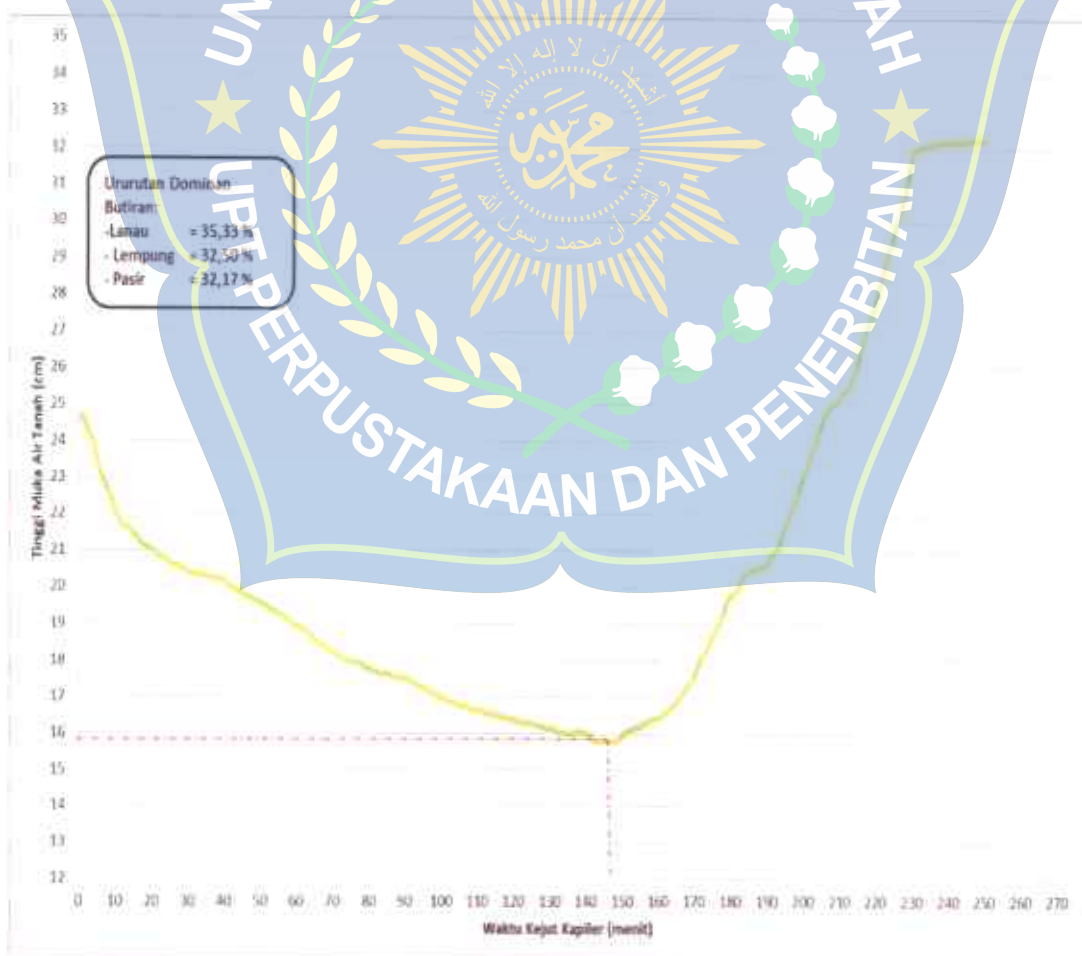
Gambar 21 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)

Dari Gambar 21 dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,65 cm.. kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 172 dengan tinggi muka air tanah mencapai 14,3 cm. kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 14,35cm pada menit ke 173. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 28,85 cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 17 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 173 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 22 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Berpasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)

Dari Gambar 22 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,35 cm.. kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 167 dengan tinggi muka air tanah mencapai 15,3 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 15,4 cm. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 31,85 cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 167 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 168 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 23 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)

Dari Gambar 23 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,65 cm.. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 148 dengan tinggi muka air tanah mencapai 15,8 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 15,85 cm pada menit ke 149. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tingggi muka air mencapai 32,25 cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 148 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 149 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 24 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada 3 Jenis Tanah dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)

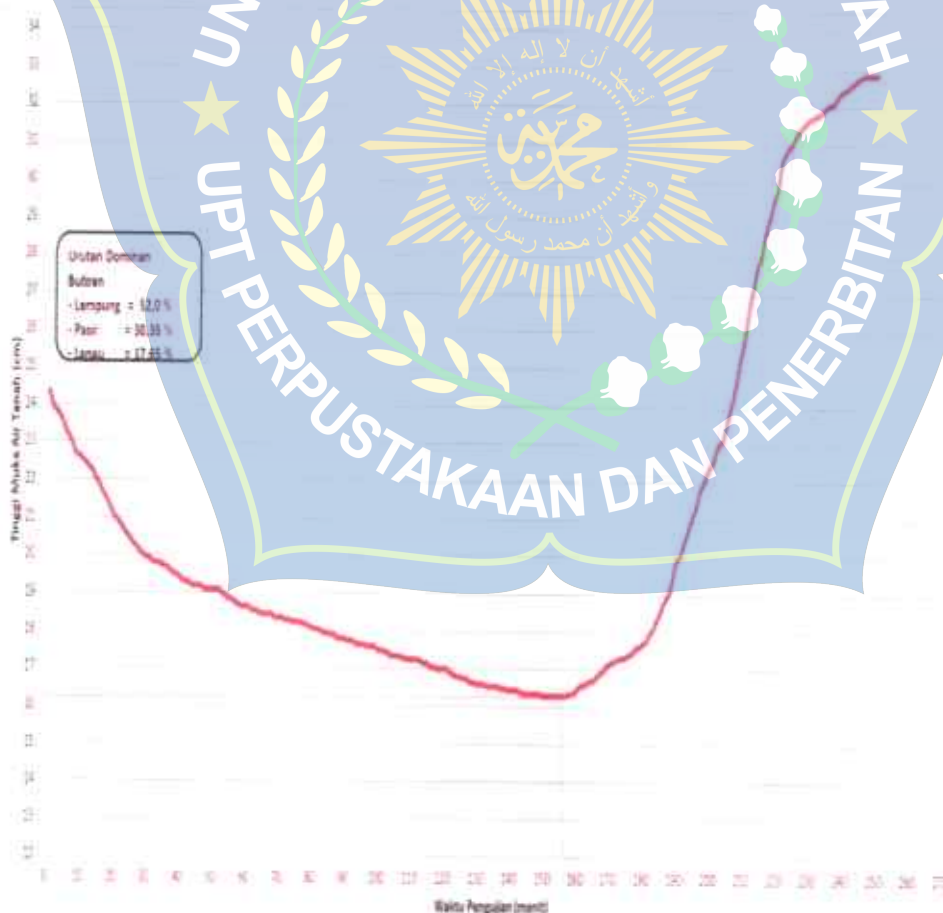
Pada Gambar 24 diatas, dapat dilihat semakin halus tanah yang diuji maka semakin lambat waktu kejut kapilernya. Begitupun terhadap tinggi kejut kapilernya, semakin halus tanah yang diuji maka semakin rendah tinggi kejut kapilernya.

b. Kejut Kapiler 3 Jenis Tanah Untuk (I_{15})



Gambar 25 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Dari Gambar 25 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,45 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 166 dengan tinggi muka air tanah mencapai 15,25 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 15,35 cm pada menit ke 167. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 31,5 cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 166 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 167 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



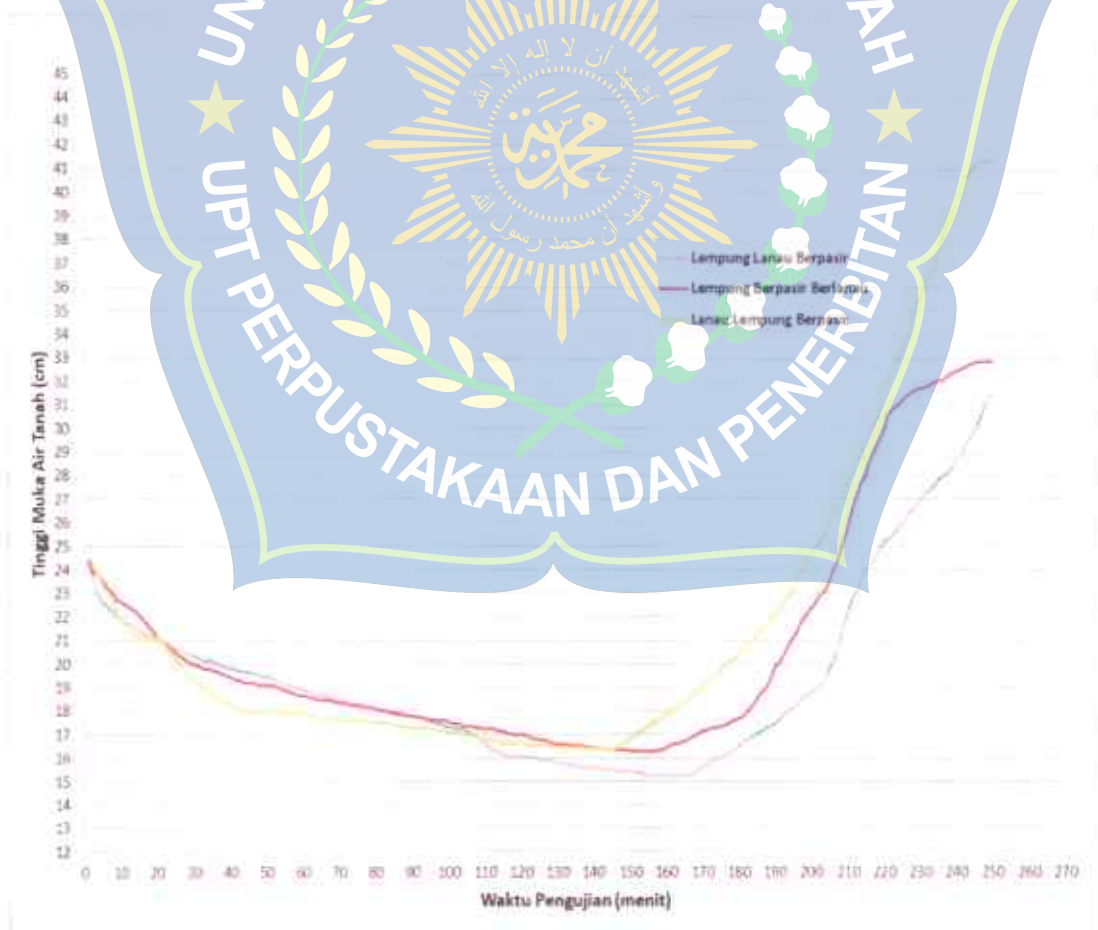
Gambar 26 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Berpasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Dari Gambar 26 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,35 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 157 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,3 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 16,35 cm pada menit ke 158. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 32,85 cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 157 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 158 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 27 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Dari Gambar 27 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,6 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 145 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,35 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 16,45 cm pada menit ke 146 . Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 41,4cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 145 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 146 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 28 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada 3 Jenis Tanah dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

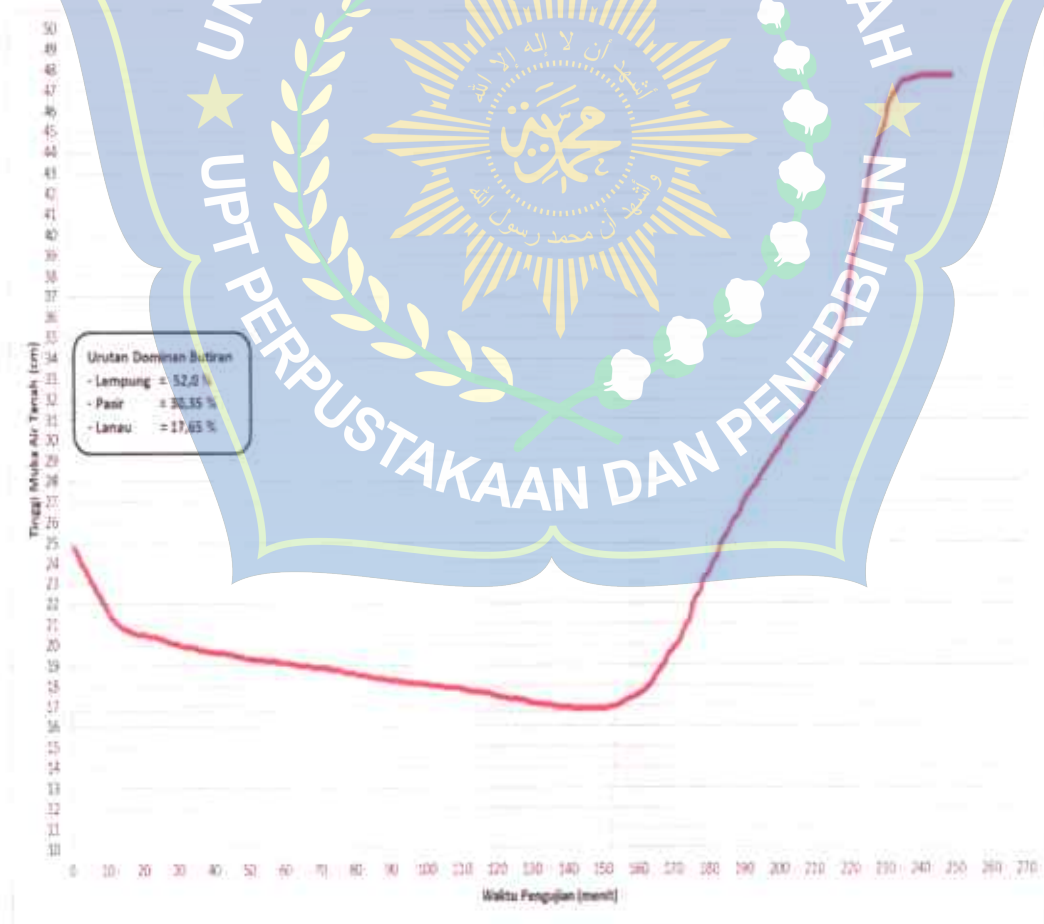
Pada Gambar 28 diatas, dapat dilihat semakin halus tanah yang diuji maka semakin lambat waktu kejut kapilernya. Begitupun terhadap tinggi kejut kapilernya, semakin halus tanah yang diuji maka semakin rendah tinggi kejut kapilernya.

c. Waktu Kejut Kapiler 3 Jenis Tanah Untuk I_{25}



Gambar 29 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Dari Gambar 29 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,6 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 156 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,45 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 16,5 cm pada menit ke 157. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 45,55cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 156 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 157 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 30 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Berpasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

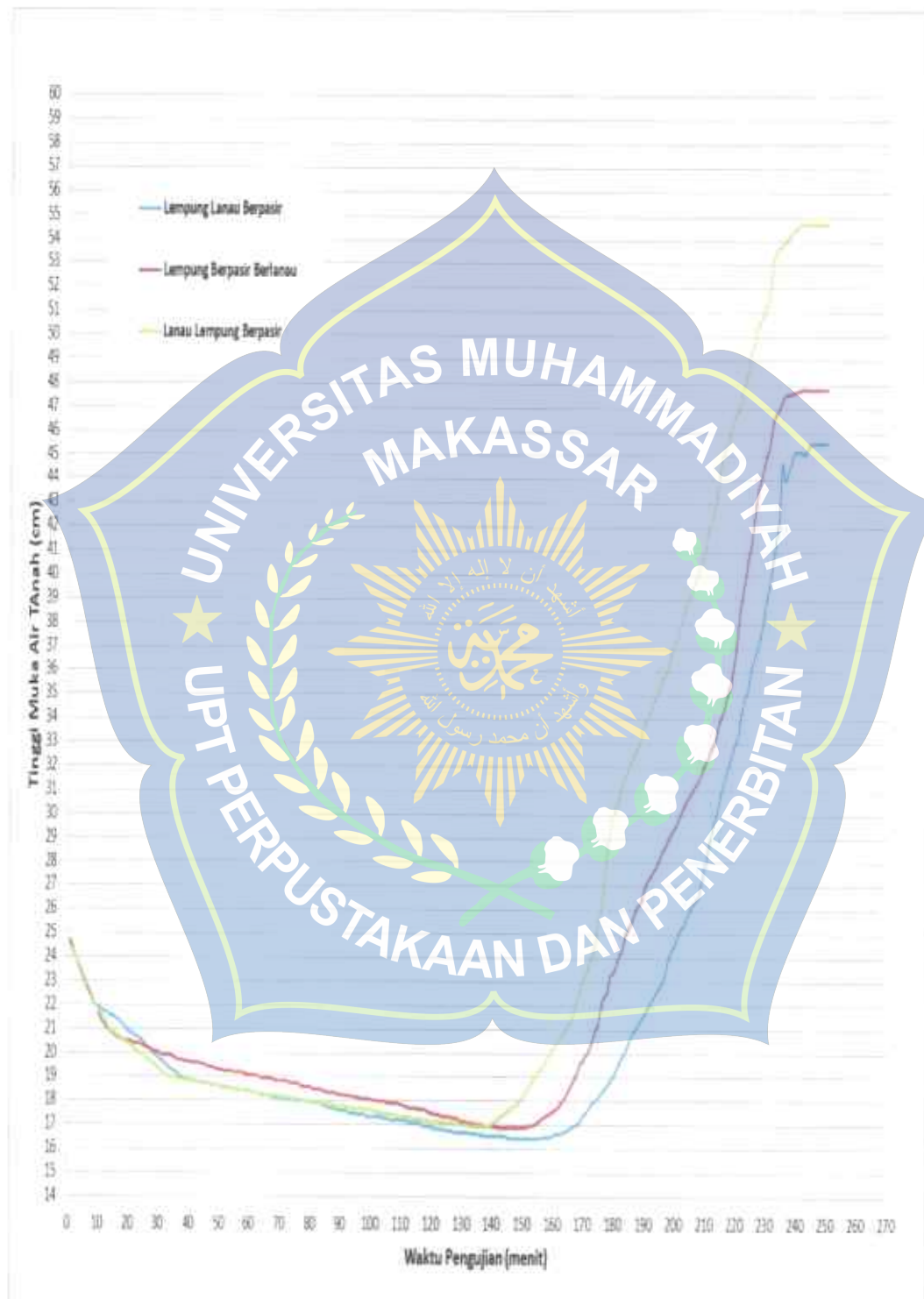
Dari Gambar 30 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,75 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 151 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,9 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 16,95 cm pada menit ke 152. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tingggi muka air mencapai 47,8cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 151 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 152 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 31 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Dari Gambar 31 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,45 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 139 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,95 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 17,05 cm pada menit ke 140. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 54,7cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 139 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 140 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.





Gambar 32 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada 3 Jenis Tanah dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})

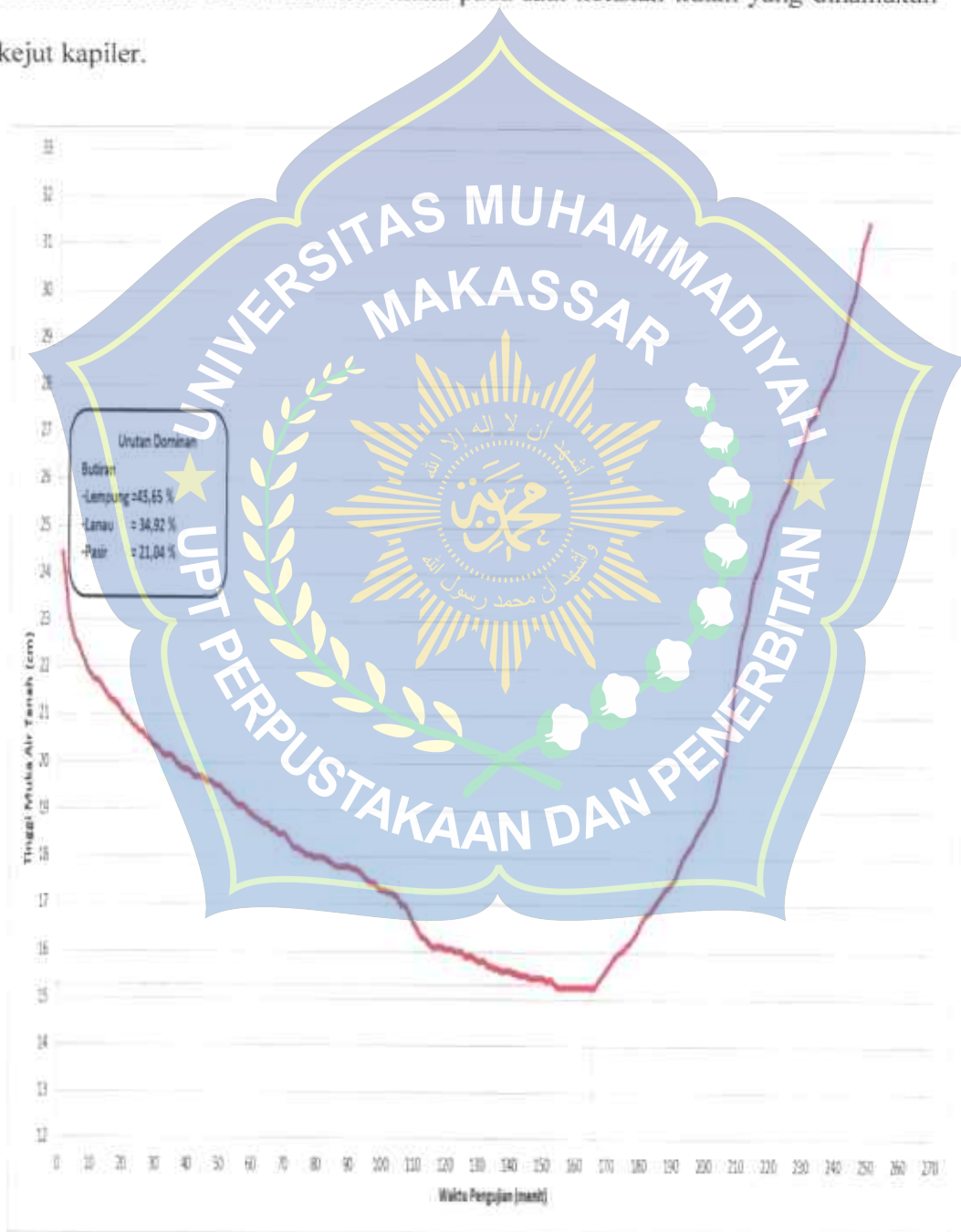
Pada Gambar 32 diatas, dapat dilihat semakin halus tanah yang diuji maka semakin lambat waktu kejut kapilernya. Begitupun terhadap tinggi kejut kapilernya, semakin halus tanah yang diuji maka semakin rendah tinggi kejut kapilernya.

d. Waktu Kejut Kapiler 3 Intensitas Untuk Tanah Lempung Lanau Berpasir



Gambar 33 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_5)

Pada Gambar 33 diatas kita dapat mengetahui bahwa air tanah pada menit pertama yaitu 25 cm, dan akan terus turun, dan akan ada satu waktu air tanah akan konstan dan naik secara tiba-tiba maka pada saat konstan itulah yang dinamakan kejut kapiler.



Gambar 34 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Pada Gambar 34 diatas kita dapat mengetahui tinggi kejut kapiler 9,75 cm dan waktu kejut kapilernya yaitu pada menit ke 166. Pada waktu itulah air tanah mengalami keadaan konstan atau sebelum naiknya air tanah yang biasa disebut kejut kapiler.



Gambar 35 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Lanau Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})

Dari Gambar 35 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,65 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 156 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,45 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 16,5 cm pada menit ke 157. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tinggi muka air mencapai 45,55cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 156 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 157 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum





Gambar 36 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Dengan 3 Intensitas Pada Tanah Lempung Lanau Berpasir

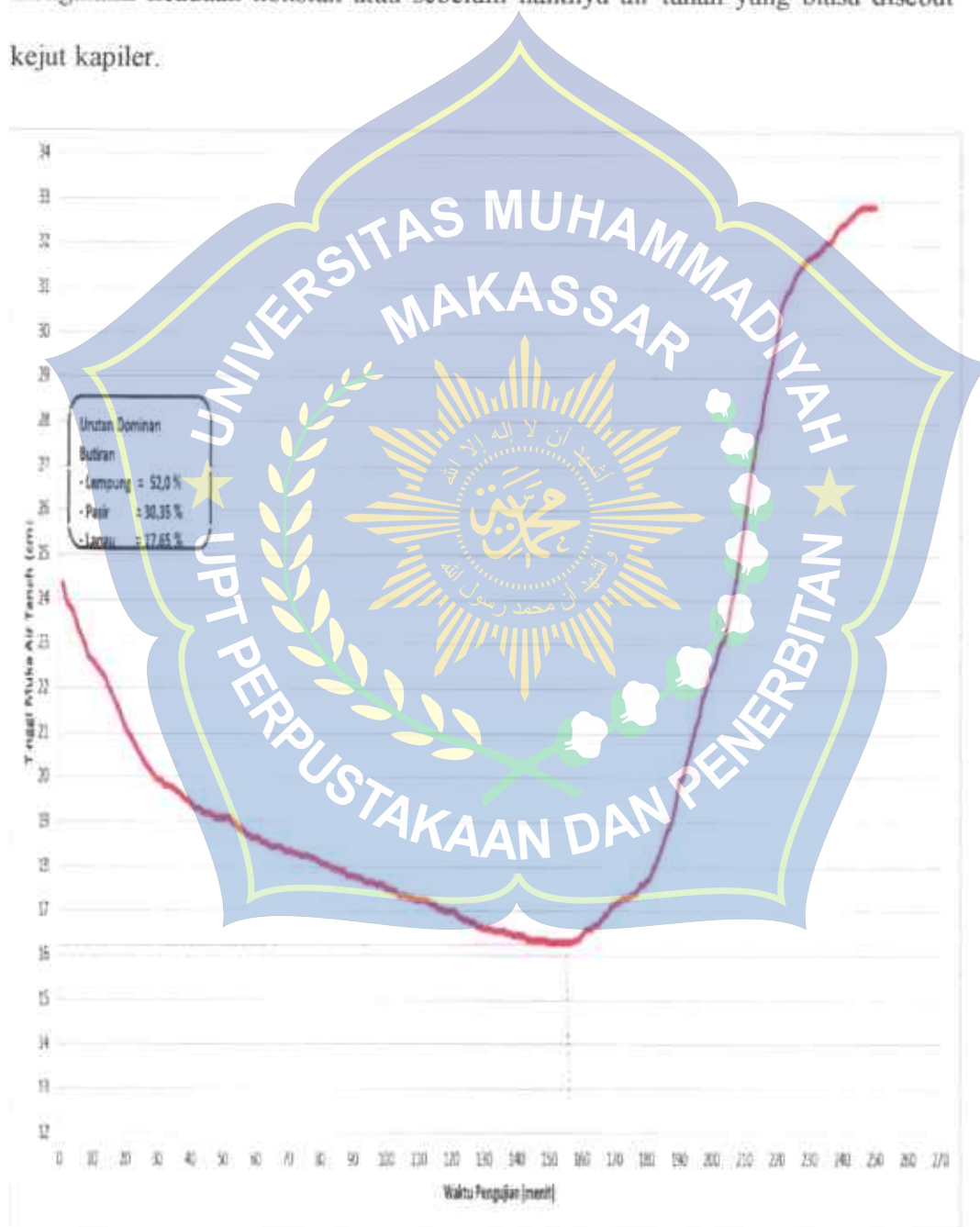
Pada Gambar 36 diatas, dapat dilihat semakin kecil intensitas yang digunakan maka semakin lambat waktu kejut kapilernya. Begitupun terhadap tinggi kejut kapilernya, semakin halus tanah yang diuji maka semakin rendah tinggi kejut kapilernya.

e. Waktu Kejut Kapiler 3 Intensitas Untuk Lempung Berpasir Berlanau



Gambar 37 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (1₅)

Pada Gambar 37 diatas kita dapat mengetahui tinggi kejut kapiler 9,75 cm dan waktu kejut kapilernya yaitu pada menit ke 166. Pada waktu itulah air tanah mengalami keadaan konstan atau sebelum naiknya air tanah yang biasa disebut kejut kapiler.



Gambar 38 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berlanau dengan Intensitas Curah Hujan (I_{15})

Pada Gambar 38 diatas kita dapat mengetahui tinggi kejut kapiler 8,70 cm dan waktu kejut kapilernya yaitu pada menit ke 157. Pada waktu itulah air tanah mengalami keadaan konstan atau sebelum naiknya air tanah yang biasa disebut kejut kapiler.



Gambar 39 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lempung Pasir Berianau dengan Intensitas Curah Hujan (125)

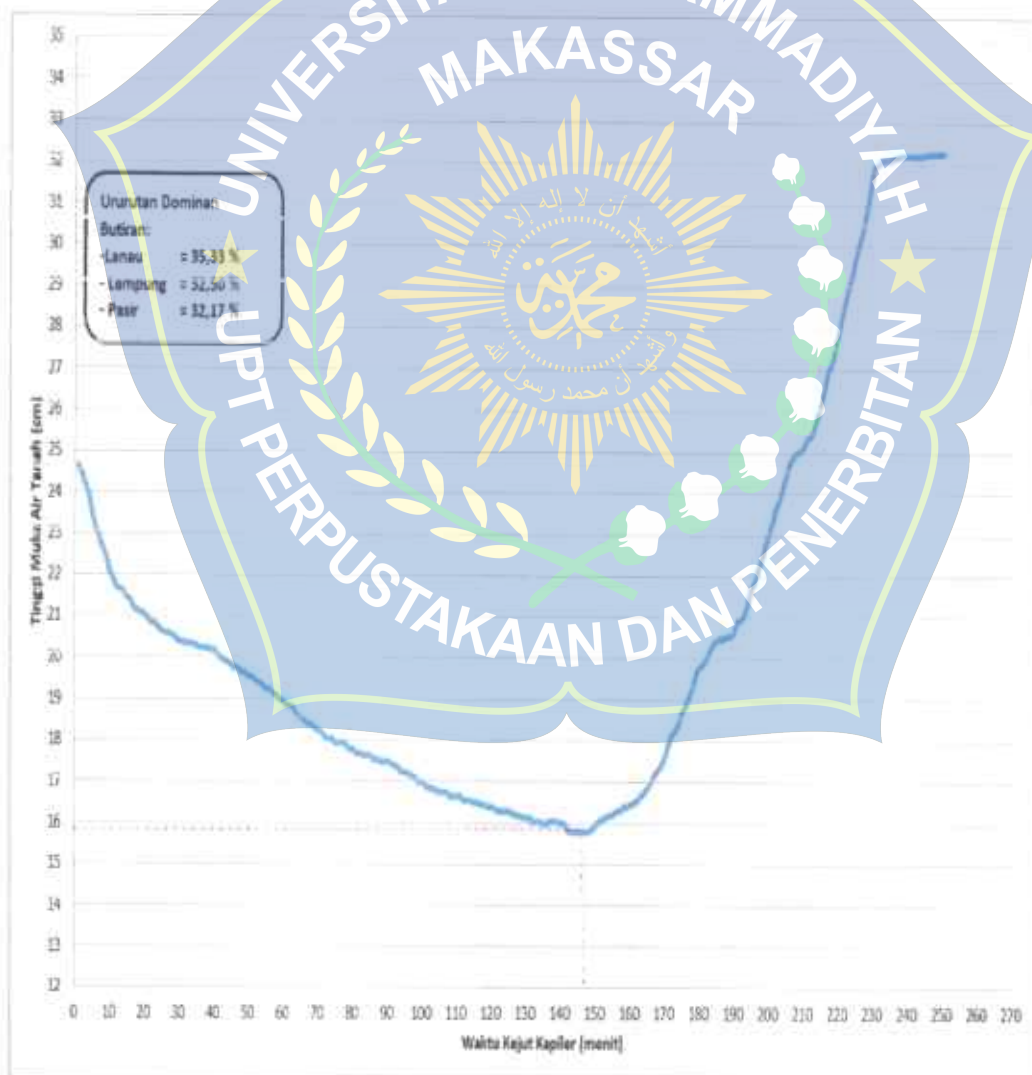
Pada Gambar 39 diatas kita dapat mengetahui tinggi kejut kapiler 8,10 cm dan waktu kejut kapilernya yaitu pada menit ke 151. Pada waktu itulah air tanah mengalami keadaan konstan atau sebelum naiknya air tanah yang biasa disebut kejut kapiler.



Gambar 40 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Dengan 3 Intensitas Pada Tanah Lempung Pasir Berlanau

Pada Gambar 40 diatas, tinggi dan waktu kejut kapiler dapat dipengaruhi oleh besarnya intensitas curah hujan yang diberikan. Semakin kecil intensitasnya, maka semakin tinggi kejut kapilernya dan semakin cepat waktu terjadinya kejut kapiler. Begitupun sebaliknya, semakin besar intensitasnya maka semakin rendah tinggi kejut kapilernya dan semakin lama terjadinya kejut kapiler.

f Waktu Kejut Kapiler 3 Intensitas Untuk Lanau Lempung Bernasir



Gambar 41 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Bernasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_c)

Pada Gambar 41 diatas kita dapat mengetahui tinggi kejut kapiler 9,20 cm dan waktu kejut kapilernya yaitu pada menit ke 148. Pada waktu itulah air tanah mengalami keadaan konstan atau sebelum naiknya air tanah yang biasa disebut kejut kapiler.



Gambar 42 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (1,5)

Pada Gambar 42 diatas kita dapat mengetahui tinggi kejut kapiler 8,65 cm dan waktu kejut kapilernya yaitu pada menit ke 145. Pada waktu itulah air tanah mengalami keadaan konstan atau sebelum naiknya air tanah yang biasa disebut kejut kapiler.



Gambar 43 Grafik Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Pada Jenis Tanah Lanau Lempung Berpasir dengan Intensitas Curah Hujan (I_{25})

Dari Gambar 43 di atas dapat dinyatakan bahwa tinggi muka air tanah pada menit pertama mencapai 24,45 cm. Kemudian terus mengalami penurunan sampai menit ke 139 dengan tinggi muka air tanah mencapai 16,95 cm. Kemudian mengalami kenaikan yang mencapai 17,05 cm pada menit ke 140. Selanjutnya mengalami kenaikan hingga menit ke 250 dengan tingggi muka air mencapai 54,7cm. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa menit pertama sampai menit ke 139 tinggi muka air mengalami penurunan, dan pada menit ke 140 sampai menit ke 250 tinggi muka air tanah mengalami kenaikan sampai mencapai titik maksimum.



Gambar 44 Grafik Kombinasi Waktu Kejut Kapiler dan Tinggi Kejut Kapiler Dengan 3 Intensitas Pada Tanah Lanau Lempung Berpasir

Pada Gambar 44 diatas, dapat dilihat semakin kecil intensitas yang digunakan maka semakin lambat waktu kejut kapilernya. Begitupun terhadap tinggi kejut kapilernya, semakin halus tanah yang diuji maka semakin rendah tinggi kejut kapilernya.

3. Hubungan Angka Pori dengan Waktu Kejut Kapiler

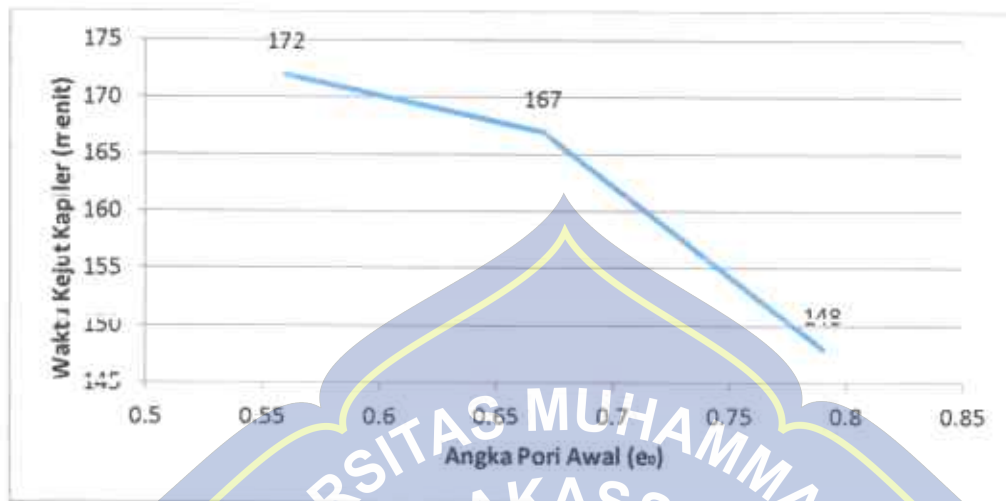
Berdasarkan hasil pengujian angka pori dan kejut kapiler dapat (Lamp 3, Hal 1-7 untuk angka pori dan Hal 14.19 untuk tinggi kejut kapiler)

a. Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I5

Tabel 12 Hubungan Angka Pori (e_0) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I5

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)	Waktu Kejut Kapiler (menit)
Lempung Lanau Berpasir	0,56	172
Lempung Berpasir Berlanau	0,67	167
Lanau Lempung Berpasir	0,79	148

Dari hasil pengamatan hubungan angka pori awal (e_0) dan waktu kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun yang terdapat pada Tabel 12 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 45 Grafik Hubungan Angka Pori Awal dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I1

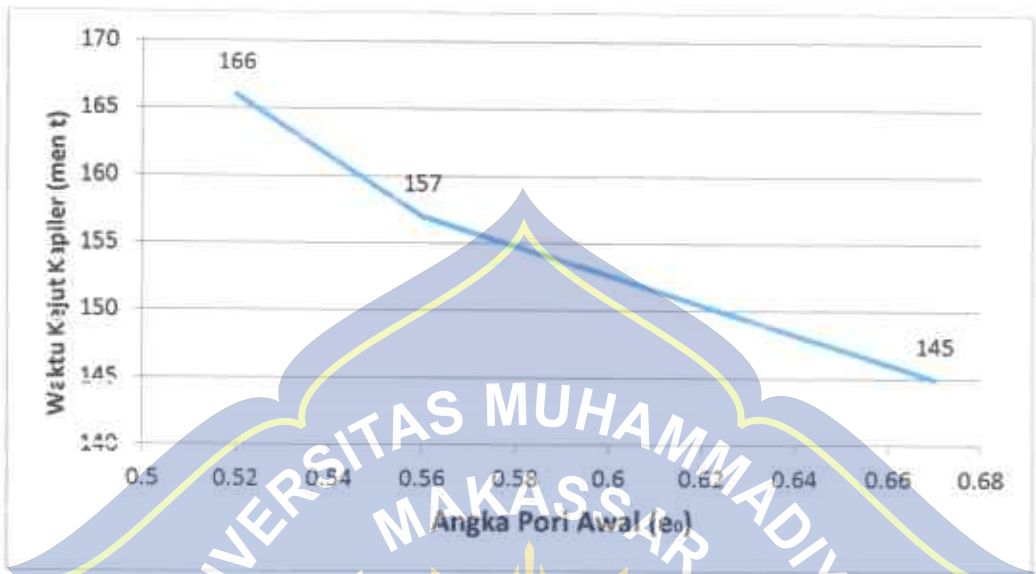
Dari Tabel 12 dan Grafik 45 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka semakin lama pula terjadinya waktu kejut kapiler, semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler.

b. Hubungan Angka Pori Akhir (e_0) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I15

Tabel 13 Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I15

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)	Waktu Kejut Kapiler (menit)
Lempung Lanau Berpasir	0,52	166
Lempung Berpasir Berlanau	0,56	157
Lanau Lempung Berpasir	0,67	145

Dari hasil pengamatan hubungan angka pori awal (e_0) dan waktu kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun yang terdapat pada Tabel 13 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 46 Grafik Hubungan Angka Pori Awal dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I25

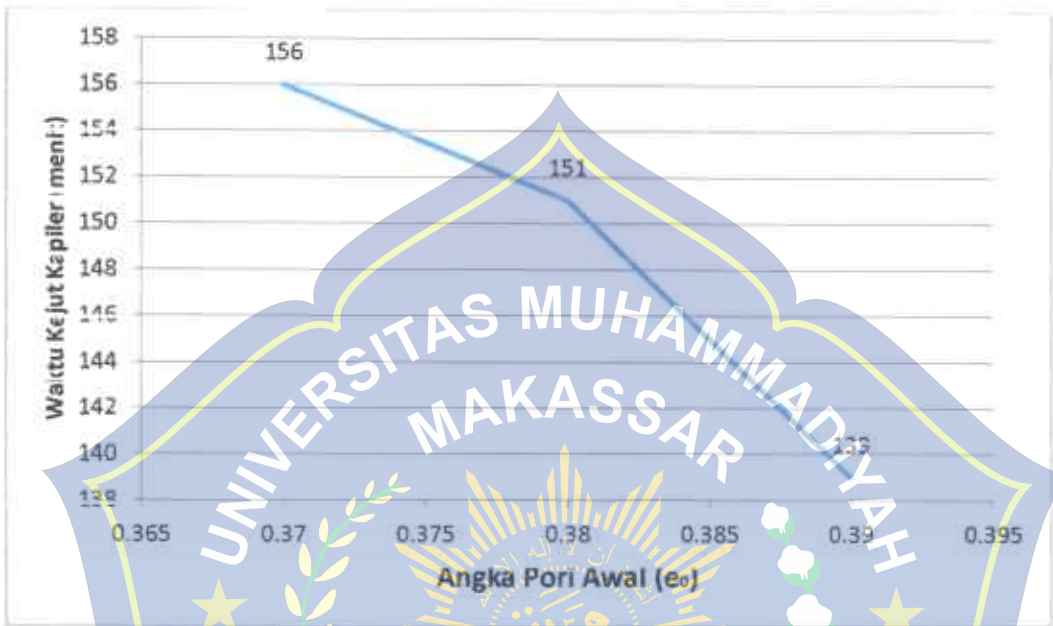
Dari Tabel 13 dan Grafik 45 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka semakin lama pula terjadinya waktu kejut kapiler, semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler

c. Hubungan Angka Pori Akhir (e_a) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I25

Tabel 14 Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I25

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)	Waktu Kejut Kapiler (menit)
Lempung Lanau Berpasir	0,37	156
Lempung Berpasir Berlanau	0,38	151
Lanau Lempung Berpasir	0,39	139

Dari hasil pengamatan hubungan angka pori awal (e_0) dan waktu kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun yang terdapat pada Tabel 14 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 47 Grafik Hubungan Angka Pori Awal dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk Is

Dari Tabel 14 dan Grafik 46 dapat dinyatakan bahwa semakin besar angka pori tanah maka semakin lama pula terjadinya waktu kejut kapiler, semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler.

d. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δe) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk Is

Tabel 15 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δe) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk Is

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δe)	Waktu Kejut Kapiler (menit)
Lempung Lanau Berpasir	0,31	172
Lempung Berpasir Berlanau	0,35	167
Lanau Lempung Berpasir	0,4	148

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan waktu kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun yang terdapat pada Tabel 15 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 48 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I15

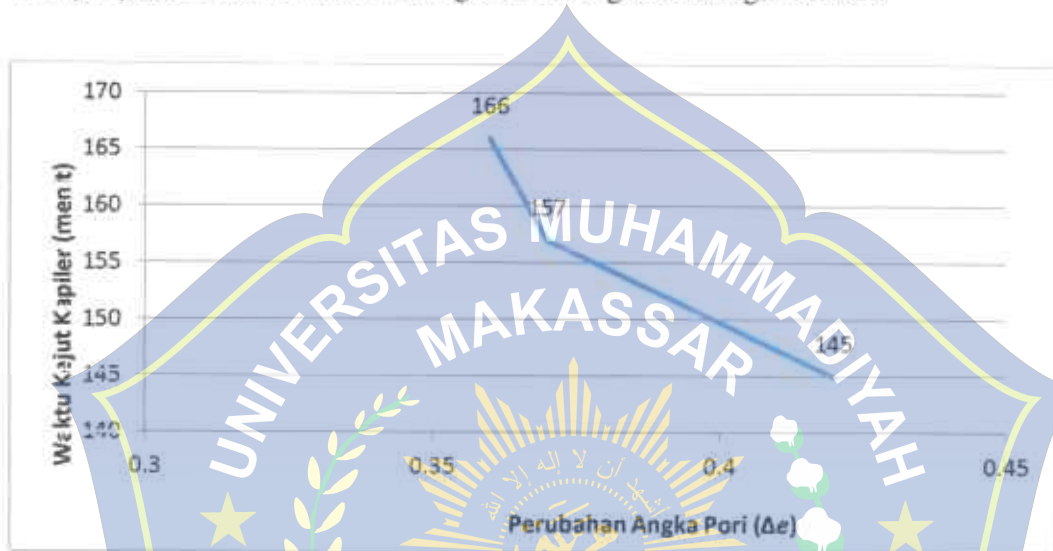
Dari Tabel 15 dan Grafik 47 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka semakin lama pula terjadinya waktu kejut kapiler, semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler.

e. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I15

Tabel 16 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I15

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)	Waktu Kejut Kapiler (menit)
Lempung Lanau Berpasir	0,36	166
Lempung Berpasir Berlanau	0,37	157
Lanau Lempung Berpasir	0,42	145

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan waktu kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun yang terdapat pada Tabel 16 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 49 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I15

Dari Tabel 16 dan Grafik 48 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka semakin lama pula terjadinya waktu kejut kapiler, semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler.

f. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I25

Tabel 17 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk I25

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)	Waktu Kejut Kapiler (menit)
Lempung Lanau Berpasir	0,41	156
Lempung Berpasir Berlanau	0,42	151
Lanau Lempung Berpasir	0,5	139

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan waktu kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun yang terdapat pada Tabel 17 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 50 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Waktu Kejut Kapiler Untuk Is

Dari Tabel 17 dan Grafik 49 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka semakin lama pula terjadinya waktu kejut kapiler, semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler.

4. Hubungan Angka Pori dengan Tinggi Kejut Kapiler

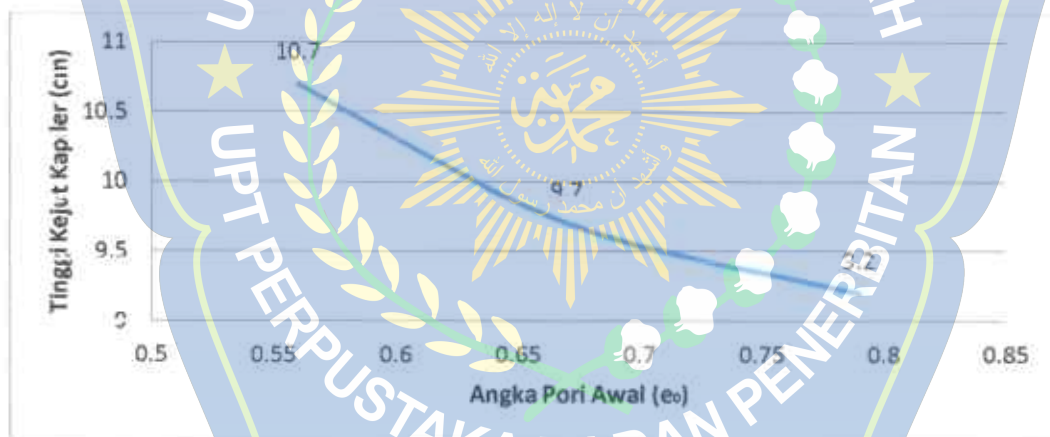
Berdasarkan hasil pengujian angka pori dan kejut kapiler dapat (Lihat Lamp.3, Hal 1-7 untuk angka pori dan Hal L4.20 untuk tinggi kejut kapiler)

a. Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk Is

Tabel 18 Hubungan Angka Pori (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk Is

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)	Tinggi Kejut Kapiler (cm)
Lempung Lanau Berpasir	0,56	10,7
Lempung Berpasir Berlanau	0,67	9,7
Lanau Lempung Berpasir	0,79	9,2

Dari hasil pengamatan hubungan angka pori awal (e_0) dan tinggi kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun yang terdapat pada Tabel 18 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 51 Grafik Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk Is

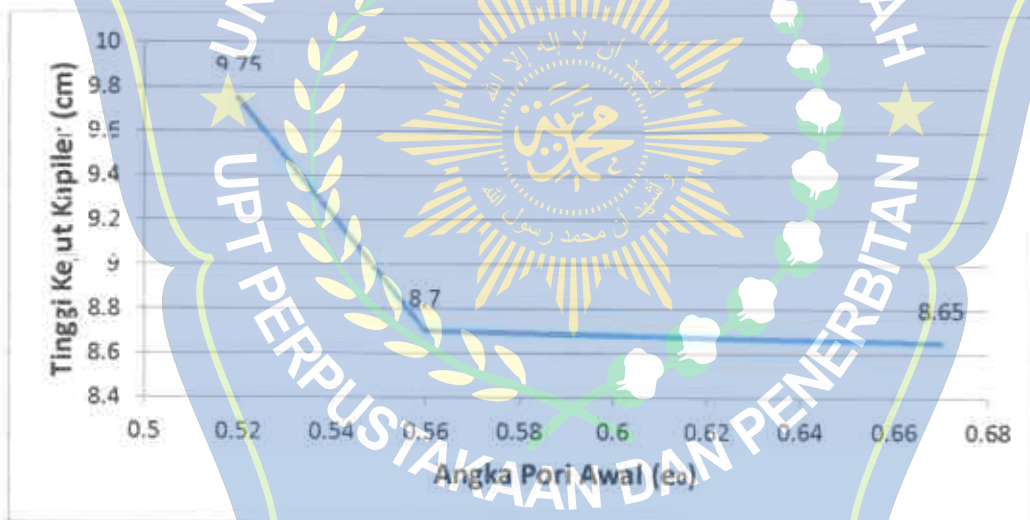
Dari Tabel 18 dan Grafik 50 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi. Begitupun sebaliknya, semakin besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah.

b. Hubungan Angka Pori Awal (ϵ_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I15

Tabel 19 Hubungan Angka Pori (ϵ_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I15

Jenis Tanah	Angka Pori (ϵ_0)	Tinggi Kejut Kapiler (cm)
Lempung Lanau Berpasir	0,52	9,75
Lempung Berpasir Berlanau	0,56	8,7
Lanau Lempung Berpasir	0,67	8,65

Dari hasil pengamatan hubungan angka pori awal (ϵ_0) dan tinggi kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun yang terdapat pada Tabel 19 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 52 Grafik Hubungan Angka Pori Awal (ϵ_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I15

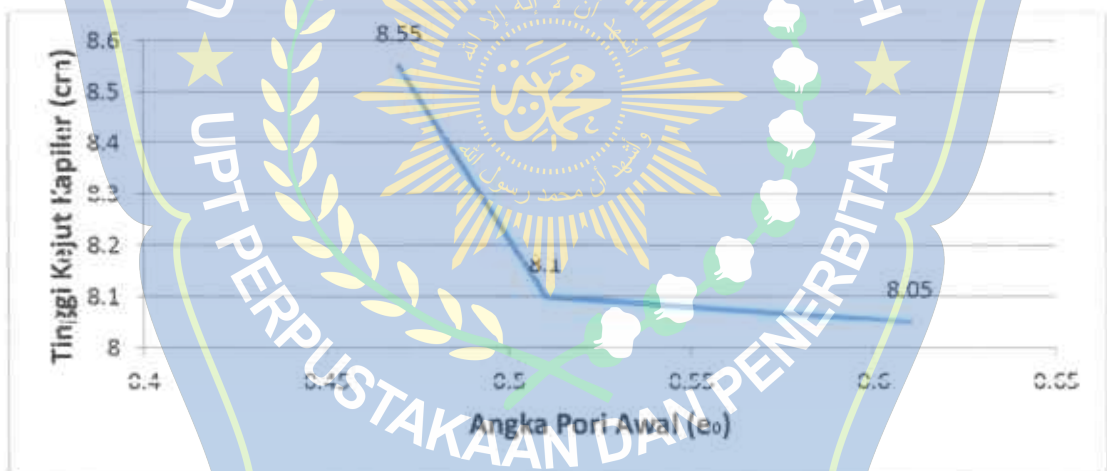
Dari tabel 4.14 dan grafik 4.45 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi. Begitupun sebaliknya, semakin besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah.

c. Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I25

Tabel 20 Hubungan Angka Pori (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I25

Jenis Tanah	Angka Pori (e_0)	Tinggi Kejut Kapiler (cm)
Lempung Lanau Berpasir	0,47	8,55
Lempung Berpasir Berlanau	0,51	8,1
Lanau Lempung Berpasir	0,61	8,05

Dari hasil pengamatan hubungan angka pori awal (e_0) dan tinggi kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun yang terdapat pada Tabel 20 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 53 Grafik Hubungan Angka Pori Awal (e_0) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I25

Dari Tabel 20 dan Grafik 52 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi. Begitupun sebaliknya, semakin besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah.

5. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler

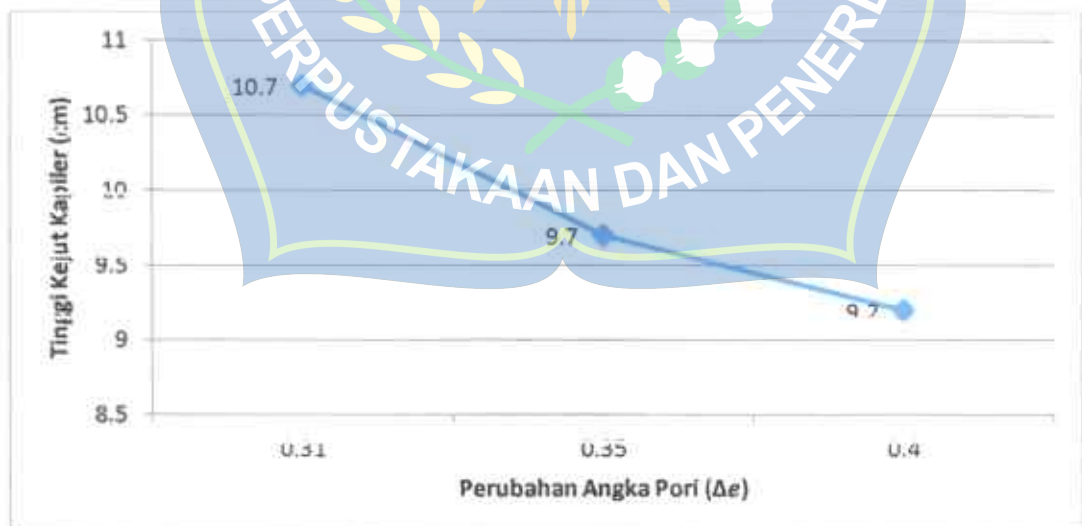
Berdasarkan hasil pengujian angka pori dan kejut kapiler dapat (Lihat Lamp.3, Hal 1-7 untuk angka pori dan Hal L4.19 untuk waktu kejut kapiler)

a. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I5

Tabel 21 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I5

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)	Tinggi Kejut Kapiler (cm)
Lempung Lanau Berpasir	0,31	10,7
Lempung Berpasir Berlanau	0,35	9,7
Lanau Lempung Berpasir	0,4	9,2

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan tinggi kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun yang terdapat pada Tabel 21 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 54 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I5

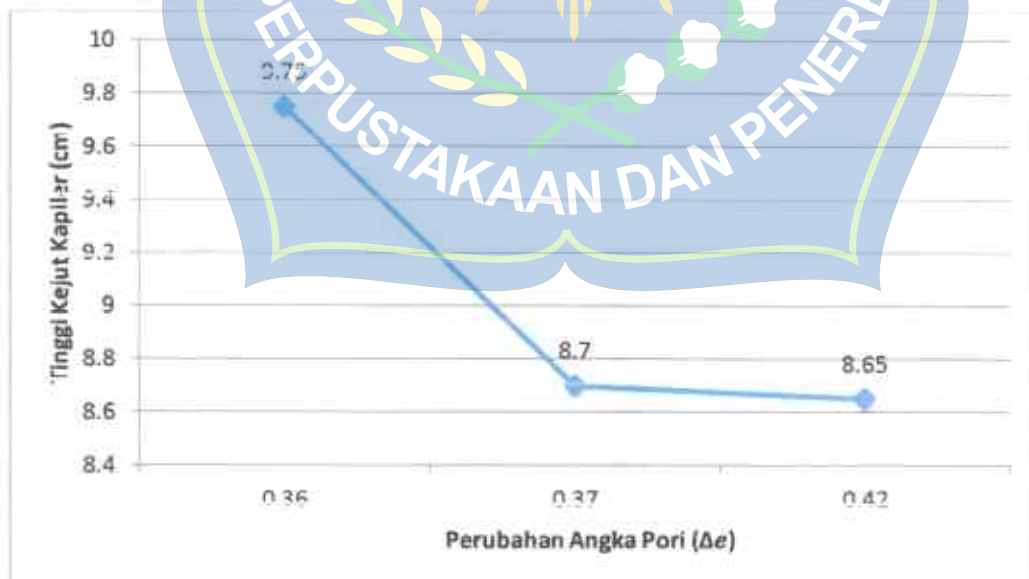
Dari Tabel 21 dan Graffik 53 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi. Begitupun sebaliknya, semkain besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah.

b. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I15

Tabel 22 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I15

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)	Tinggi Kejut Kapiler (cm)
Lempung Lanau Berpasir	0,36	9,75
Lempung Berpasir Berlanau	0,37	8,7
Lanau Lempung Berpasir	0,42	8,65

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan tinggi kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 15 tahun yang terdapat pada Tabel 22 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut



Gambar 55 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I15

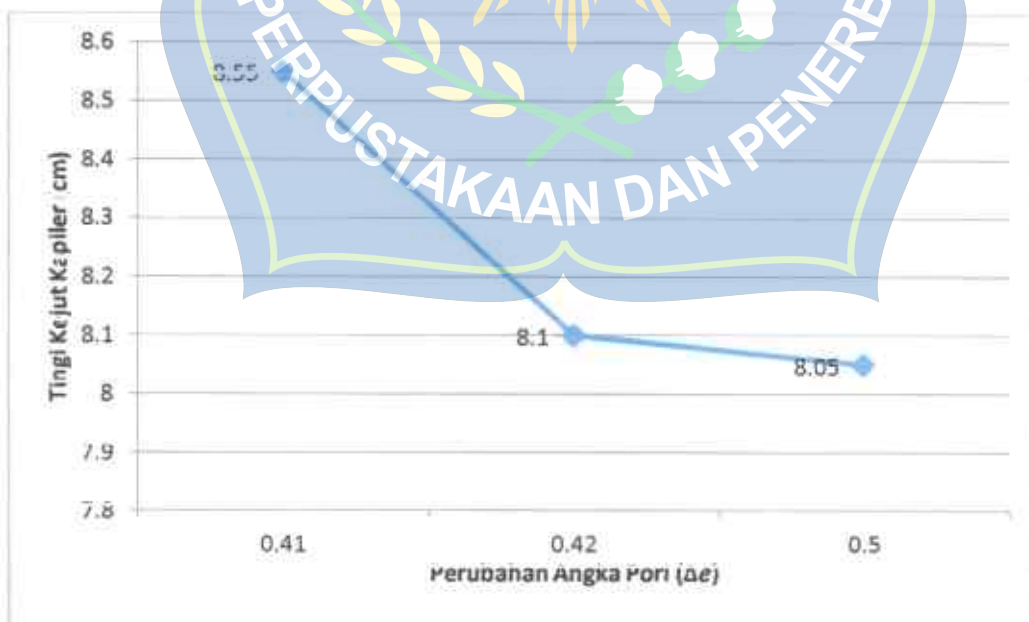
Dari Tabel 22 dan Grafik 54 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi. Begitupun sebaliknya, semakin besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah.

c. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I25

Tabel 23 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I25

Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)	Tinggi Kejut Kapiler (cm)
Lempung Lanau Berpasir	0,41	8,55
Lempung Berpasir Berlanau	0,42	8,1
Lanau Lempung Berpasir	0,5	8,05

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan tinggi kejut kapiler pada 3 jenis tanah untuk intensitas curah hujan kala ulang 25 tahun yang terdapat pada Tabel 23 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 56 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Tinggi Kejut Kapiler Untuk I25

Dari Tabel 23 dan Grafik 55 dapat dinyatakan bahwa semakin kecil angka pori tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi. Begitupun sebaliknya, semakin besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah.

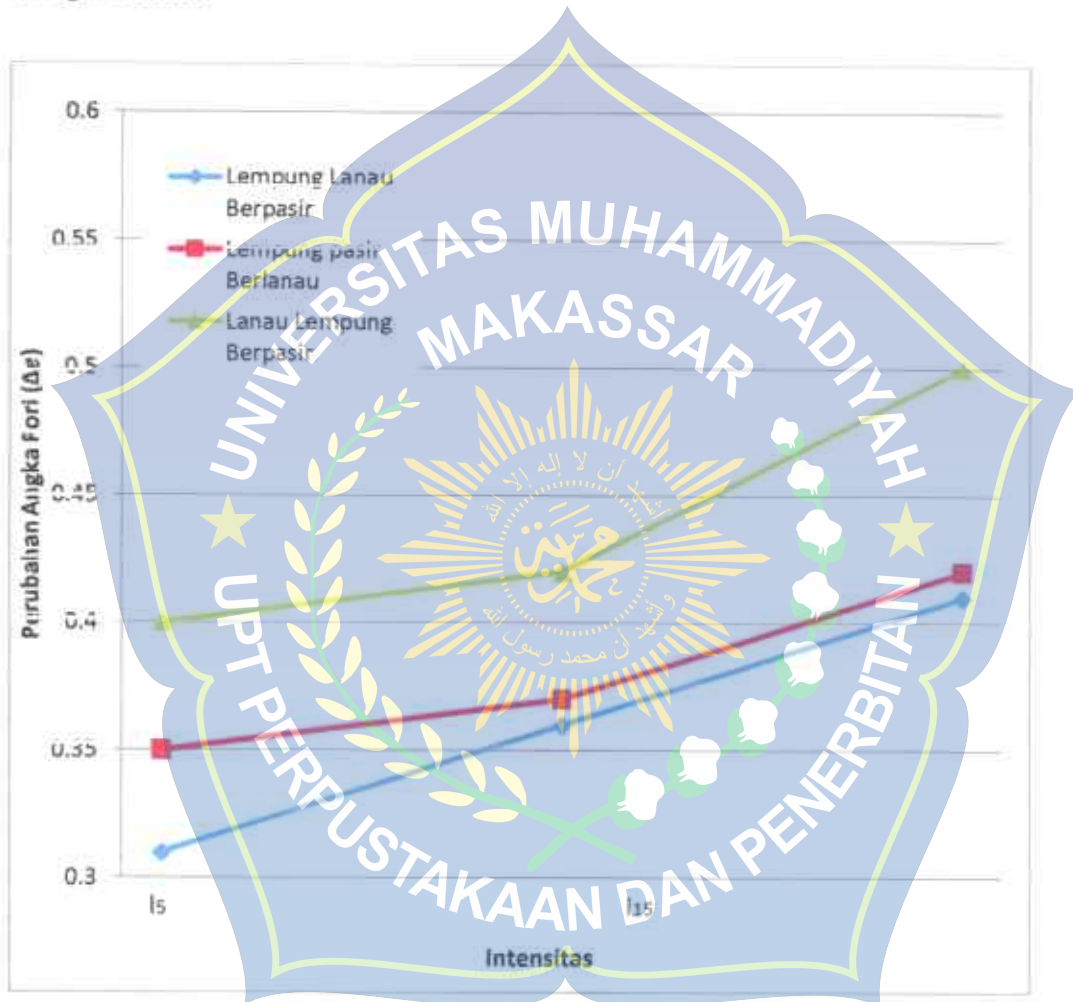
Berdasarkan hasil pengamatan peningkatan tekanan kapiler mengalami kenaikan karena air tanah tertarik ke atas zona tidak jenuh sehingga air mengalami penurunan atau yang biasa disebut kejut kapiler. Tekanan kapiler meningkat dan air tanah semakin turun. Air tanah menurun ketika tekanan kapiler masih berlangsung namun saat air infiltrasi dan tekanan kapiler bertemu air tanah mengalami peningkatan.

6. Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Intensitas

Tabel 24 Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Intensitas

Intensitas	Jenis Tanah	Perubahan Angka Pori (Δ_e)	Tinggi Kejut Kapiler
I5	Lempung Lanau Berpasir	0,31	10,7
	Lempung pasir Berlanau	0,35	9,7
	Lanau Lempung Berpasir	0,4	9,2
I15	Lempung Lanau Berpasir	0,36	9,75
	Lempung pasir Berlanau	0,37	8,7
	Lanau Lempung Berpasir	0,42	8,65
I25	Lempung Lanau Berpasir	0,41	8,55
	Lempung pasir Berlanau	0,42	8,1
	Lanau Lempung Berpasir	0,5	8,05

Dari hasil pengamatan hubungan perubahan angka pori (Δ_e) dan intensitas curah hujan pada 3 jenis yang terdapat pada Tabel 23 maka dituangkan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 57 Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori (Δ_e) dengan Intensitas Curah Hujan

Dari Tabel 24 dan Grafik 56 semakin tinggi intensitasnya maka perubahan angka pori juga semakin besar.

C. Pembahasan

1. Hubungan Antara Angka Pori dengan Waktu Kejut Kapiler

Angka pori awal (e_0) adalah pengukuran nilai angka pori yang tidak dipengaruhi oleh intensitas curah hujan karena dilakukan sebelum tanah dihujani. Dalam penelitian ini hubungan antara angka pori awal (e_0) dengan waktu kejut kapiler adalah semakin kecil angka pori tanah maka semakin lama terjadinya waktu kejut kapiler, begitupun sebaliknya semakin besar angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler. Sesuai penelitian yang dilakukan oleh A>S> Muntuhar yang menyebutkan bahwa angka pori sebagai salah satu faktor dasar yang mempengaruhi sifat mekanis tanah yaitu pemampatan (*compressibility*), bahwa semakin kecil nilai angka pori awal (e_0) maka semakin padat tanahnya. Maka lamanya waktu kejut kapiler dipengaruhi oleh tingkat kepadatan suatu tanah.

Perubahan angka pori tanah (Δ_e) sangat dipengaruhi oleh frekuensi curah hujan karena semakin lama frekuensi hujan terjadi maka tekanan akibat pukulan air hujan akan semakin besar terhadap tanah mengakibatkan volume rongga semakin kecil dan tanah akan jenuh air, akhirnya penggenangan air akan terjadi. Dalam penelitian ini hubungan antara perubahan angka pori tanah (Δ_e) dengan waktu kejut kapiler adalah semakin kecil perubahan angka pori tanah maka semakin lama terjadinya waktu kejut kapiler, begitupun sebaliknya semakin besar perubahan angka pori tanah maka semakin cepat terjadinya waktu kejut kapiler. Sesuai penelitian yang dilakukan oleh A>S> Muntuhar yang menyebutkan bahwa angka pori sebagai salah satu faktor dasar yang mempengaruhi sifat mekanis tanah yaitu pemampatan (*compressibility*), bahwa semakin kecil nilai perubahan angka pori tanah (Δ_e) maka

semakin padat tanahnya. Maka lamanya waktu kejut kapiler dipengaruhi oleh tingkat kepadatan suatu tanah.

2 Hubungan Antara Angka Pori dengan Tinggi Kejut Kapiler

Angka pori awal (e_0) merupakan pengambilan data nilai angka pori yang dilakukan sebelum tanah dihujani. Angka pori awal (e_0) tidak dipengaruhi oleh intensitas curah hujan karena pengukuran dilakukan sebelum tanah dihujani. Dalam penelitian ini, besar kecilnya angka pori suatu tanah akan mempengaruhi tinggi kejut kapiler yang terjadi didalam tanah. Semakin kecil nilai angka pori maka semakin padat tanahnya. Hal ini terjadi karena angka pori merupakan faktor yang mempengaruhi salah satu sifat mekanis tanah yaitu pemampatan (A.S. Muntahor). Semakin banyak air yang terinfiltrasi masuk ke dalam tanah, semakin banyak bukaan tanah yang tertutup pada *vedose zone*, sehingga pori pada tanah akan semakin kecil dan diameter kapiler tanah akan semakin kecil pula. Dengan demikian tekanan kapiler akan semakin membesar dan ketebalan lapisan tanah akan semakin tinggi, sehingga air tanah di dalam *saturated zone* akan semakin banyak yang tertarik ke atas, mengisi lapisan kapiler yang lebih tebal. Proses peningkatan tekanan kapiler inilah yang mengakibatkan penurunan muka air tanah pada periode kejut kapiler akan semakin besar (Darwis, 2017).

Angka pori dipengaruhi oleh perbandingan antara volume rongga (v_v) dengan volume butiran (V_s). Perubahan pori tanah (A_e) sangat dipengaruhi oleh frekuensi curah hujan karena semakin lama frekuensi hujan yang terjadi maka tekanan akibat pukulan air hujan akan semakin besar terhadap tanah yang mengakibatkan volume rongga semakin kecil dan tanah akan jenuh air, dan penggenangan air tidak terjadi.

(Hakim dkk, 1986). Besar kecilnya perubahan angka pori tanah (Δ_e) akan mempengaruhi tinggi kejut kapiler yang terjadi. Dalam penelitian ini hubungan antara perubahan angka pori tanah (Δ_e) adalah semakin kecil nilai perubahan angka pori (Δ_e) maka semakin padat tanahnya dan tinggi kejut kapilernya akan semakin tinggi, begitupun sebaliknya semakin besar angka pori tanah maka kejut kapilernya semakin rendah. Hal ini terjadi karena semakin banyak air yang terinfiltrasi masuk ke dalam tanah, maka semakin banyak bukaan tanah yang tertutup pada *vedose zone*, sehingga pori pada tanah pori pada tanah akan semakin mengecil dan tekanan kapiler akan mengecil juga.

3. Pengaruh Intensitas Curah Hujan Terhadap Perubahan Angka Pori (Δ_e)

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi (Wesli, 2008). Dalam penelitian ini, digunakan 3 intensitas curah hujan yaitu I_5 , I_{15} , I_{25} . Hubungan antara intensitas curah hujan terhadap perubahan angka pori tanah (Δ_e) pada penelitian ini adalah semakin tinggi intensitas curah hujan maka perubahan angka pori juga semakin besar. Hal ini diakibatkan karena perubahan angka pori tanah (Δ_e) sangat dipengaruhi oleh frekuensi curah hujan karena semakin lama frekuensi hujan yang terjadi maka tekanan akibat pukulan air hujan akan semakin besar terhadap tanah yang mengakibatkan volume rongga semakin kecil dan tanah akan jenuh air, dan penggenangan air tidak terjadi. (Hakim dkk, 1986).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari uraian pada bagian pembahasan hasil penelitian, selanjutnya dapat dikemukakan beberapa hal yang menjadi kesimpulan sebagai berikut:

1. Angka pori awal (e_0) dan Perubahan angka pori (Δe) sangat mempengaruhi cepat lambatnya waktu kejut kapiler yang terjadi pada tanah. Semakin kecil nilai angka pori suatu tanah maka waktu kejut kapiler yang terjadi akan semakin lama, sebaliknya semakin besar nilai angka pori suatu tanah maka semakin cepat pula waktu kejut kapiler yang terjadi.
2. Angka pori awal (e_0) dan perubahan angka pori (Δe) sangat berpengaruh terhadap tinggi kejut kapiler pada tanah berbutir halus. Semakin kecil nilai angka pori pada suatu tanah maka kejut kapilernya akan semakin tinggi, begitupun sebaliknya semakin besar nilai angka pori maka kejut kapilernya semakin rendah.
3. Perubahan pori (Δe) dan intensitas curah hujan (I) pada jenis tanah berbutir halus mengalami perubahan berbanding lurus dengan meningkatnya intensitas curah hujan (I). Semakin tinggi intensitas curah hujan yang terjadi, semakin besar perubahan angka pori yang terjadi.

B. Saran

1. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi *rainfall* yang dimana alat tersebut terbuat dari kaca bening setebal 12 mm, disarankan untuk tidak memakai alat yang terbuat dari kaca karena rentan pecah, sebaliknya memakai alas dan dinding yang terbuat dari fiber dan berukuran lebih tebal.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO, 1993, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*.

Christady, Hary Hardiyatmo. 2012. *Tanah Longsor dan Erosi*. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.

Craig, F.R, 1991, *Mekanika Tanah*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Darwis Panguriseng (2018). Buku "*Dasar Dasar Mekanika Tanah*".

Darwis Panguriseng (2014) : Buku "*Mekanika Tanah Dasar I*".

Darwis Panguriseng (2014) : Buku "*Mekanika Tanah Dasar II*".

Darwis, D. M. (2017). Belajar Dan Pembelajaran. *Jurnal kajian Ilmu-Ilmu Keislaman* Vol. 03, Hal. 350. <http://jurnal.iain-padangsidiempuan.ac.id/index.php/F/article/view/945795> (Diakses 9 April 2020)

Darwis, 2012, *Dampak Kenaikan PTKP dan Strategi DJP*, <http://www.pajak.go.id/content/article/dampak-kenaikan-ptkp-danstrategi-djp> yang diakses pada 29 Februari 2017.

Das, Braja M, Endah, Noor, & Mochtar, Indra Surya B. (1995) *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geotekniks)*. Jakarta: Erlangga

Das, Braja M. 1985. *Mekanika Tanah* (Jilid 1) Terjemahan. Jakarta: Erlangga

Das, Braja, M., 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid-1, Erlangga, Jakarta

- Hakim, N., Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Nugroho, S.G., Diha, M.A., Hong, G.B., Bailey, H.H. 1986, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung. 488 hal.
- Hardiyatmo, H.C., 1999, *Mekanika Tanah I*, PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 1987. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akapress. Jakarta.
- Holtz, W.G. and Gibbs, H.J. (1956), Engineering properties of expansive clays, *Transaction ASCE* Vol. 121, pp. 641–677.
- Lambe, T.W. and Whitman, R.V. 1979, *Soil Mechanics*, John Wiley & Sons.
- Ramadhani Rizki, 2012 : Sifat dan Karakteristik Tanah Berbutir Halus dan Secara Khusus <https://jistikie.wordpress.com/2012/02/26/karakteristik-tanahsebagai-media-tumbuh-secara-umum-dan-secara-khusus-padajenis-tanah-alfisol/>
- Terzaghi, K., Peck, R. B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wesley, L.D., 2012, *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan dan Residu*, Penerbit Andi Yogyakarta, Indonesia.