

**SKRIPSI**

**ANALISIS TINGKAT ‘KEJUT KAPILER’ MUKA AIR TANAH PADA  
TANAH LANAU BERLEMPUNG BERPASIR (SANDY CLAYEY SILT)  
DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)**



Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Muhammadiyah Makassar

Oleh :

NITA ANUGRAH JUPRIADI

ANDI ALFIAN NUR

10581 2234 14

10581 2293 14

**PROGRAM STUDI PENGAIRAN  
JURUSAN SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2019**

**SKRIPSI**

**ANALISIS TINGKAT ‘KEJUT KAPILER’ MUKA AIR TANAH PADA  
TANAH LANAU BERLEMPUNG BERPASIR (SANDY CLAYEY SILT)  
DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)**



Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Muhammadiyah Makassar

Oleh :

ANDI ALFIAN NUR

105 81 2293 14

**PROGRAM STUDI PENGAIRAN  
JURUSAN SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2019**

**SKRIPSI**

**ANALISIS TINGKAT ‘KEJUT KAPILER’ MUKA AIR TANAH PADA  
TANAH LANAU BERLEMPUNG BERPASIR (*SANDY CLAYEY SILT*)  
DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)**



Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Muhammadiyah Makassar

Oleh :

NITA ANUGRAH JUPRIADI

105 81 2234 14

**PROGRAM STUDI PENGAIRAN  
JURUSAN SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
2019**





# 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](http://www.unismuh.ac.id), e-mail : [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan 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 TINGKAT "KEJUT KAPILER" MUKA AIR TANAH PADA TANAH LANAU BERLEMPUNG BERPASIR (SANDY CLAYEY SILT) DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)**

Nama : NITA ANUGRAH JUPRIADI  
ANDI ALFIAN NUR

Stambuk : 105 81 2234 14  
105 81 2293 14

Makassar, 29 JUNI 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

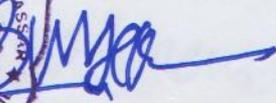
Pembimbing II

  
Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.Si.

  
Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Pengairan  
Jurusan Teknik Sipil



  
Andi Makbul Syamsuri, ST., MT.

NBM: 1183 084

# 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](http://www.unismuh.ac.id), e-mail : [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### PENGESAHAN

Skripsi atas nama Nita Anugrah Jupriadi dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2234 14 dan Andi Alfian Nur dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2293 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/22201/091004/2019, 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 29 juni 2019

Makassar, 27 Syawal 1440 H  
01 juli 2019 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Ratna Musa, MT

b. Sekretaris : Ir. Fauzan Hamdi, ST., MT

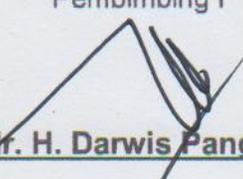
3. Anggota : 1. Dr. Ir. Muh. Yunus Ali, ST., MT

2. Dr. Hj. Arsyuni Ali Mustari, ST., MT

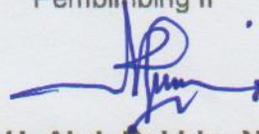
3. Riswal K, ST., MT

Mengetahui :

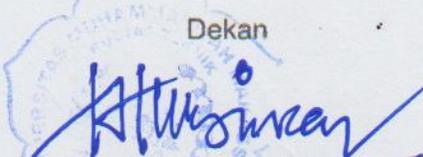
Pembimbing I

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

Pembimbing II

  
Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT

Dekan



# ANALISIS TINGKAT “KEJUT KAPILER” MUKA AIR TANAH PADA TANAH LANAU BERLEMPUNG BERPASIR (*SANDY CLAYEY SILT*) DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)

Nita Anugrah Jupriadi<sup>1</sup>, Andi Alfian Nur<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar  
Email : [nitaanugrah46@gmail.com](mailto:nitaanugrah46@gmail.com)

<sup>2</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar  
Email : [aanmks014@gmail.com](mailto:aanmks014@gmail.com)

## Abstrak

Kejut kapiler merupakan penurunan muka air tanah pada awal musim penghujan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah, kedalaman infiltrasi dan tekanan kapiler. Metode penelitian yang digunakan adalah model penelitian eksperimental, dimana kondisi penelitian didesain dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada sumber-sumber yang berkaitan dengan penelitian tersebut. Penelitian ini menggunakan media tanah lanau berlempung berpasir dan bak kaca ukuran 100 cm x 100 cm dengan *nozzle* sebagai alat simulasi hujan. Dari hasil pengamatan bahwa air tanah turun ketika tekanan kapiler masih berlangsung namun saat tanah jenuh maka air tanah mulai meningkat hingga sejajar dengan permukaan tanah.

**Kata Kunci** : kejut kapiler, air tanah, frekuensi hujan, tekanan kapiler.

## Abstract

Capillary shock is a decrease in the ground water level at the beginning of the rainy season. This study aims to determine the relationship between the frequency of rain and groundwater fluctuations, infiltration depth and capillary pressure. The research method used is an experimental research model, where research conditions are designed and regulated by researchers with reference to sources related to the research. This study uses sandy clay silt media and glass tubs measuring 100 cm x 100 cm with a nozzle as a rain simulation tool. From the results of observations that ground water drops when capillary pressure is still ongoing, but when the soil is saturated, the ground water begins to increase to the level of the ground.

**Keywords**: capillary shock, ground water, rain frequency, capillary pressure.

## KATA PENGANTAR

**Assalamualaikum, Wr. Wb.**

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Ujian Seminar Hasil ini dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam rangka menyelesaikan program studi pada jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah: **“ANALISIS TINGKAT ‘KEJUT KAPILER’ MUKA AIR TANAH PADA TANAH LANAU BERLEMPUNG BERPASIR (SANDY CLAY SILT) DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)”**.

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 terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya.

Secara khusus kepada ayahanda dan ibunda tercinta yang senantiasa memberikan limpahan kasih sayang, doa serta pengorbanan kepada penulis.

Kepada Bapak **Hamzah Al Imran, ST., MT.** sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Kepada Bapak **Andi Makbul Syamsuri, ST., MT.** sebagai Ketua Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Serta Bapak **Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.sc** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT** selaku pembimbing II, yang telah meluangkan banyak waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya tugas akhir ini.

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.

Tak lupa kami ucapkan terimakasih kepada rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik, terkhusus saudaraku angkatan 2014 dengan rasa persaudaraan yang tinggi banyak membantu dan memberi dukungan dalam menyelesaikan 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 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 khususnya dan untuk pembaca pada umumnya.

**Wassalamu alaikum Wr. Wb**

Makassar, Juni 2019  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
<b>A. Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>B. Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>C. Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>D. Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>E. Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>F. Sistematika Penulisan .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>A. Klasifikasi Tanah .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Gradasi Tanah .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Sistem Klasifikasi AASHTO .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Sifat Dan Karakteristik Tanah Lanau Berpasir Berlempung ..</b>	<b>10</b>
<b>B. Teori Tekanan Kapiler .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Pengertian Tekanan Kapiler .....</b>	<b>15</b>

2. Pengaruh Tekanan Kapiler Terhadap Sifat Hidrolik Tanah.....	16
<b>C. Teori Kejut Kapiler .....</b>	<b>18</b>
1. Pengertian Kejut Kapiler .....	18
2. Mekanisme Dan Proses Terjadinya Kejut Kapiler .....	19
<b>D. Intesitas Curah Hujan Dan Parameter Infiltrasi .....</b>	<b>21</b>
1. Pengertian Intensitas Curah Hujan .....	21
2. Frekuensi Hujan .....	23
3. Laju Infiltrasi.....	24
4. Kapasitas Infiltrasi .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
<b>A. Jenis Penelitian .....</b>	<b>28</b>
<b>B. Tempat penelitian .....</b>	<b>28</b>
<b>C. Variabel Penelitian .....</b>	<b>28</b>
<b>D. Definisi Operasional Variabel .....</b>	<b>30</b>
<b>E. Rancangan Penelitian .....</b>	<b>33</b>
1. Instrumen Penelitian .....	33
2. Prosedur Pengujian .....	34
<b>F. Teknik Pengumpulan Data .....</b>	<b>38</b>
<b>G. Teknik Analisa Data .....</b>	<b>38</b>
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>A. Hasil Pengamatan .....</b>	<b>41</b>
1. Karakteristik Tanah .....	41

2. Hasil Pengamatan Uji Laboratorium .....	44
a. Fluktuasi Muka Air Tanah .....	45
b. Kedalaman Infiltrasi .....	52
c. Peningkatan Tekanan Kapiler .....	56
<b>B. Pembahasan .....</b>	<b>60</b>
1. Fluktuasi Muka Air Tanah .....	60
2. Kedalaman Infiltrasi .....	60
3. Peningkatan Tekanan Kapiler .....	61
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>63</b>
A. Kesimpulan .....	63
B. Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DOKUMENTASI</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>	<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1</b>	Sistem Klasifikasi AASHTO.....	9
<b>Tabel 2</b>	Ketinggian Air Kapiler .....	18
<b>Tabel 3</b>	Klasifikasi Infiltrasi .....	25
<b>Tabel 4</b>	Rekapitulasi Intensitas Curah Hujan .....	36
<b>Tabel 5</b>	Hasil Pengujian Analisa Saringan.....	42
<b>Tabel 6</b>	Hasil Uji Hidrometer .....	42
<b>Tabel 7</b>	Hasil Pemeriksaan Kadar Air, Pemeriksaan Berat Isi dan Berat Jenis .....	44
<b>Tabel 8</b>	Hasil Pemeriksaan Batas- Batas Atterberg .....	44
<b>Tabel 9</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah.....	45
<b>Tabel 10</b>	Kedalaman Infiltrasi .....	52
<b>Tabel 11</b>	Tekanan Kapiler.....	56

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>	<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1</b>	Diagram Kapilaritas Air Dalam Tanah.....	17
<b>Gambar 2</b>	Zona Air Lapisan Tanah .....	20
<b>Gambar 3</b>	Kurva Infiltrasi .....	27
<b>Gambar 4</b>	Skema Hubungan Variabel Penelitian.....	29
<b>Gambar 5</b>	Sketsa Alat Model .....	33
<b>Gambar 6</b>	Bagan Alir Penelitian.....	40
<b>Gambar 7</b>	Grafik Gabungan Analisa Saringan dan Analisa Hidrometer .....	43
<b>Gambar 8</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Pertama .....	46
<b>Gambar 9</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kedua .....	46
<b>Gambar 10</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Ketiga.....	47
<b>Gambar 11</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Keempat .....	48
<b>Gambar 12</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kelima .....	48
<b>Gambar 13</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Keenam .....	49
<b>Gambar 14</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Ketujuh.....	50
<b>Gambar 15</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kedelapan.....	50
<b>Gambar 16</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kesembilan .....	51
<b>Gambar 17</b>	Fluktuasi Muka Air Tanah .....	52
<b>Gambar 18</b>	Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan Pertama.....	53

<b>Gambar 19</b>	Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan kedua .....	53
<b>Gambar 20</b>	Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan ketiga .....	54
<b>Gambar 21</b>	Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan keempat .....	55
<b>Gambar 22</b>	Grafik Gabungan Kedalaman Infiltrasi .....	55
<b>Gambar 23</b>	Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Pertama .....	57
<b>Gambar 24</b>	Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Kedua.....	57
<b>Gambar 25</b>	Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Ketiga .....	58
<b>Gambar 26</b>	Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Keempat.....	59
<b>Gambar 27</b>	Grafik Gabungan Peningkatan Tekanan Kapiler .....	59



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

VS	Versus
IPTEK	Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
AASHTO	<i>American Association Of State Highway and Transportation Official</i>
GI	<i>Group Index</i>
mm	Milimeter
$\mu$	Mikro
LL	Liquid Limit
PI	<i>Plasticity Index</i>
$\Delta$	Delta
$\rho$	Rho
$\sigma$	Sigma
$\theta$	Theta
$\alpha$	Alpha
$\int$	Integral
cm	<i>Centimeter</i>
ml	Mililiter
$\gamma$	Gamma
PL	<i>Plastic Limit</i>
GS	<i>Spesific Grafity</i>
GW	<i>Groundwater Level</i>



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Air tanah adalah air yang terdapat di bawah permukaan bumi dalam ruang pori tanah dan di rekahan formasi batuan (Bouwer;2002). Sumber utama air tanah adalah air hujan yang meresap ke bawah lapisan tanah melalui ruang pori di antara butiran tanah. Air tanah sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat teknis tanah, terutama pada jenis tanah berbutir halus.

Terkait dengan keberadaan air di dalam tanah, ada empat macam zona lapisan tanah yang tersusun berturut-turut dari atas ke bawah sebagai berikut: zona air penduler atau air menggantung (tanah tak jenuh), zona air funikuler atau air bergerak (tanah tak jenuh), zona air kapiler (tanah tak jenuh) dan zona freatis (tanah jenuh).

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 kembali mengecil karena sebagian pori akan kembali terisi air hidroskopik, yang melekat kuat pada setiap butiran tanah yang mengisapnya. 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 terdegradasi, karena air yang

berinfiltrasi di awal 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.

Turunnya permukaan air tanah (*phreatice*) pada periode awal musim hujan menyebabkan suatu fenomena yang penting untuk dipahami. Kejadian ini dikemukakan oleh Darwis(2017) & Darwis.dkk(2018), dengan istilah “**Kejut Kapiler**” ,yang mana kejadiannya memberikan kejutan karena bertolak belakang dengan adanya hujan, justru air tanah jenuh permukaannya mengalami penurunan (degradasi),

Eksistensi jenis tanah lanau berlempung berpasir merupakan salah satu jenis tanah dengan permeabilitas yang kecil. Oleh karena itu, perilaku tekanan kapiler pada jenis tanah seperti ini relatif rumit.

Mengingat begitu pentingnya untuk mengetahui pengaruh faktor tersebut di atas terhadap proses infiltrasi dan perkolasi air hujan pada awal musim hujan, maka diperlukan analisis yang lebih spesifik dari masing-masing faktor pengaruh tersebut dengan melakukan pengujian experimental. Salah satu faktor yang penting untuk diteliti adalah “**Analisis Tingkat ‘Kejut Kapiler’ Muka Air Tanah pada Lanau Berlempung Berpasir (Sandy Clayey Silt) dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)**”.

## **B. Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana hubungan frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lanau berlempung berpasir?
2. Bagaimana hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi yang diamati setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lanau berlempung berpasir?
3. Bagaimana hubungan frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler yang diamati setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lanau berlempung berpasir?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan pelaksanaan penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui hubungan antara frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lanau berlempung berpasir
2. Untuk mengetahui hubungan antara frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lanau berlempung berpasir

3. Untuk mengetahui hubungan antara frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler sesaat setelah dihujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lanau berlempung berpasir.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Kontribusi penelitian ini terhadap pengembangan IPTEK adalah minimal dapat memberikan gambaran tentang perilaku air kapiler yang terkait dengan perubahan pada musim, maka hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi dalam pengembangan ilmu mekanika tanah, khususnya dalam mengungkap sifat – sifat hidrolik tanah.

#### **E. Batasan Masalah**

Agar tujuan penulisan ini mencapai sasaran yang diinginkan dan lebih terarah, maka diberikan batasan – batasan masalah, diantaranya sebagai berikut:

1. Intensitas curah hujan yang diamati bersumber dari hujan buatan dari alat simulasi yang didesain dan dibuat khusus ( *specific equipment* )
2. Media kejut kapiler menggunakan jenis tanah lanau berlempung berpasir
3. Kondisional lingkungan yaitu suhu ruangan

#### **F. Sistematika Penulisan**

Berdasarkan uraian dari latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang hendak dicapai dalam penelitian ini, maka disusun sistematika penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

**BAB I.** Merupakan bab pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

**BAB II.** Merupakan tinjauan pustaka yang memuat secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

**BAB III.** Merupakan metodologi penelitian yang menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian serta tahap-tahap dalam proses penelitian di laboratorium.

**BAB IV.** Merupakan Analisa Hasil dan Pembahasan yang menguraikan tentang hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh. Sedangkan pada bagian pembahasannya adalah mengolah data hasil penelitian dengan tujuan untuk mencapai penelitian.

**BAB V.** Merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran-saran dari penulis yang berkaitan dengan faktor pendukung dan faktor penghambat yang dialami selama penelitian berlangsung, yang tentunya diharapkan agar penelitian ini terangkum dengan baik.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Klasifikasi Tanah**

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik). Rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994).

Menurut Das (1993), tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasikan (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut.

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas

mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi ( Das,1993 ).

Tanah merupakan benda yang tidak homogen, sangat bervariasi baik secara fisik, warna, tekstur maupun secara kimia atau kandungan mineralnya. Usaha untuk membeda-bedakan tanah berdasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya disebut mengklasifikasi tanah. Klasifikasi tanah dapat dibedakan menjadi klasifikasi alami dan klasifikasi teknis (Hardjowigeno, 1987)

Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2002).

### **1. Gradasi Tanah**

Menurut Fakhli (2014), gradasi tanah atau gradasi agregat adalah distribusi ukuran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai presentasi dari total agregat atau presentase kumulatif butiran yang lebih kecil atau lebih besar dari masing-masing seri bukaan saringan. Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan, dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawat dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi persegi

dari saringan tersebut. Berdasarkan butiran tanah yang dianalisa saringan maka gradasi agregat dapat dibedakan atas (Fakhli,2014) :

a. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran butir yang hampir sama. Gradasi seragam ini disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ ruang kosong antar agregat.

b. Gradasi Rapat (*Dense Graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*). Campuran beraspal dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

c. Gradasi Senjang (*Gap Graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali.

## 2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Menurut Das. Braja. M (1998), sistem klasifikasi ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for*

*Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M145). Sistem klasifikasi ini dibuat oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials*, terutama dikembangkan untuk menganalisa material subgrade dalam pembangunan jalan raya. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

**Tabel 1.** Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 50 maks 15 maks 25 maks		51 min 10 maks	- 35 maks 35 maks	- 35 maks	- 35 maks 35 maks		36 min	36 min	36 min
Staf fraksi lolos saringan no. 4) Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks		- np	40 maks 41 min 10 maks 10 maks	40 maks 41 min 11 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	
Indeks kelompok (GI)	0		0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu, kenikil dan pasir		pasir halus	kenikil berlanau atau berlempung dan pasir			tanah berlanau		tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik						sedang sampai buruk			

Catatan : Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (FL)  
 Untuk FL > 30, klasifikasinya A-7-5;  
 untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.  
 np = nonplastis

(Sumber : Hary Chirstady Hardyatmo, 2012)

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini (Das. Braja. M 1998):

a. Ukuran butir

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm).

Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 10 atau kurang.

Nama berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus di keluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang di keluarkan tersebut harus dicatat.

### **3. Sifat dan Karakteristik Tanah Lanau Berlempung Berpasir**

Tanah berbutir kasar terdiri atas kerikil dan pasir dan biasanya disebut bahan granular atau tanah tidak berkohesi, sedangkan tanah berbutir halus terdiri dari lanau dan lempung dan sering disebut tanah berkohesi. Menurut L.D. Wesley (2012) defenisi tanah lanau berlempung berpasir adalah :

a) Lanau

Lanau adalah suatu istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang berbutir halus namun lebih kasar dari butiran lempung, yang sedikit memiliki sifat kohesi, dan tidak memiliki sifat plastisitas. Fraksi lanau adalah bagian berat bahan antara 0,002-0,06 mm. Lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang plastis dan lebih mudah ditembus air daripada lempung dan memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat pada lempung. Dilatansi adalah sifat yang menunjukkan gejala perubahan isi apabila lanau itu dirubah bentuknya. Lanau adalah material yang butiran-butirannya lolos saringan no.200. Tanah dibagi menjadi dua kategori menurut Terzaghi, K., and Peck, R. B., (1948) yaitu :

- 1) Lanau tepung batu yang mempunyai karakteristik tidak berkohesi dan tidak plastis, sifat teknis lanau tepung batu cenderung mempunyai sifat pasir halus.
- 2) Lanau yang bersifat plastis.

Lanau yang merupakan butiran halus mempunyai sifat-sifat yang tidak menguntungkan, seperti :

- a) Kuat geser rendah, segera sesudah penerapan beban.
- b) Kapilaritas tinggi.
- c) Permeabilitas rendah.
- d) Kerapatan relatif rendah dan sulit dipadatkan.

## b) Lempung

Menurut L.D. Wesley (2012), lempung adalah suatu istilah yang digunakan pada tanah berbutir halus yang bersifat kohesi, plastis, dan tidak mengandung sejumlah bahan kasar yang dapat terlihat. Kadar lempung adalah bagian (menurut perbandingan berat) dengan ukuran butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Lempung terdiri atas butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat kohesi dan plastisitas. Sifat ini tidak ditemukan pada pasir dan kerikil. Sifat kohesi berarti butiran-butirannya saling menempel, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah dapat berubah bentuk tanpa mengubah volume dan tidak menyebabkan retak atau pecah.

Konsistensi dari tanah lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembangan. Karakteristik pengembangan hanya dapat diperkirakan dengan menggunakan indeks plastisitas (Holtz dan Gibbs, 1956).

Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Terzaghi, 1987).

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 1999) adalah sebagai berikut:

- 1) Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm
- 2) Permeabilitas rendah

- 3) Kenaikan air kapiler tinggi
- 4) Bersifat sangat kohesif
- 5) Kadar kembang susut yang tinggi
- 6) Proses konsolidasi lambat.

c) Tanah pasir

Tanah pasir biasanya terdiri atas mineral tunggal, biasanya kwarsa. Pada beberapa keadaan, pasir hanya terdiri atas butiran – butiran yang seukuran, sehingga disebut pasir seragam. Ada kalanya terdapat bahan yang besarnya terdiri atas ukuran batu – batuan hingga pasir dan disebut tanah bergradasi baik.

Menurut Pettijohn, et al. (1987), pasir banyak ditemukan di daerah sungai dan pesisir. Pasir juga bisa ditemukan pada gumuk dan laut dangkal dalam jumlah sedikit. Pasir aluvial mencakup pasir yang ditemukan pada kipas aluvial, alur sungai, dataran banjir, delta danau, dan delta laut. Sebagian besar pasir sungai berasosiasi dengan alur sungai, meskipun sebagian diantaranya dapat keluar dari alur dan membentuk endapan banjir pada dataran banjir. Pasir pesisir tidak hanya mencakup pinggiran pantai, namun juga gosong lepas pantai, dan delta. Pasir eolian mencakup gumuk pantai dan juga gumuk di gurun.

Menurut Wihanda (2013), apabila tanah terasa licin, agak melekat, dapat dibentuk bola teguh dengan permukaan mengkilat maka tanah tersebut tergolong bertekstur Lanau Berlempung Berpasir.

Jenis tanah Lanau Berlempung Berpasir memiliki permeabilitas yang rendah dengan laju infiltrasi yang lambat karena kemampuan tanah tersebut mudah dalam menyerap air kapiler, maka perilaku tekanan kapiler pada tanah tersebut relatif rumit. Tanah Lanau Berlempung Berpasir memiliki persentase yang didominasi oleh partikel lanau, lempung dan juga terdapat sedikit kandungan pasir. Berdasarkan fenomena diatas akan diamati secara langsung dalam penelitian dengan menggunakan alat simulasi di laboratorium.

### **B. Teori Tekanan Kapiler**

Menurut Terzaghi & Peck (1948), bahwa teori dasar tentang ketinggian air kapiler di dalam lapisan tanah bahwa ketinggian tekanan kapiler ( $h_c$ ) di dalam tanah dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu ukuran butir tanah ( $D_{10}$ ) dan angka pori tanah ( $e$ ). Dalam hal ini angka pori yang digunakan adalah angka pori kumulatif, dan tidak memperhitungkan keberadaan air hidroskopik di dalam pori tanah, yang akan mengakibatkan mengecilnya pori tanah yang kosong.

Ada beberapa parameter yang perlu diamati di dalam penelitian ini, yang diharapkan dapat menjabarkan formulasi empiris tentang hubungan antara degradasi air freatis, dengan peningkatan tekanan kapiler, dan perubahan kadar air yang terjadi pada lapisan penduler dan funikuler, di samping parameter-parameter yang telah telah diungkapkan oleh Terzaghi & Peck (1948). Untuk mendapatkan parameter-parameter penting tersebut

maka pelaksanaan simulasi perubahan tekanan kapiler dengan uji model ini, harus dirancang dengan cermat sehingga dapat memberikan hasil yang diharapkan. Demikian pula dengan pelaksanaan persiapan sampel lapisan tanah untuk pengujian harus dikondisikan dengan baik, sehingga semua parameter yang dibutuhkan terukur (*measurable*). Dalam hal ini parameter tanah yang terukur adalah ukuran butir tanah, angka pori ( $e$ ) tanah setelah dikompaksi dengan energi yang terkontrol. Permukaan air freatis diamati melalui selang yang terpasang vertikal pada sepanjang lapisan tanah. Sedangkan permukaan air kapiler (ketinggian tekanan kapiler) dapat dibaca langsung pada dinding bak kaca sebagai media tanah percobaan.

### 1. Pengertian Tekanan Kapiler

Menurut Amyx, J. W. (1960), tekanan kapiler ( $P_c$ ) didefinisikan sebagai perbedaan tekanan yang ada antara permukaan dua fluida yang tidak tercampur (cairan-cairan atau cairan-gas) sebagai akibat dari terjadinya pertemuan permukaan yang memisahkan cair dan gas. Perbedaan tekanan dua fluida ini adalah perbedaan tekanan fluida *non wetting fasa* ( $P_{nw}$ ) dengan fluida *wetting fasa* ( $P_w$ ), atau :

$$P_c = P_{nw} - P_w \dots\dots\dots(1)$$

Tekanan kapiler dalam batuan berpori tergantung pada ukuran pori-pori dan macam fluidanya. Secara kuantitatif dapat dinyatakan dalam hubungan sebagai berikut (Amyx, J.W.,1960) :

$$P_c = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{r} = \Delta\rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(2)$$

Yang mana :

$P_c$  = tekanan kapiler

$\sigma$  = tegangan permukaan antara dua fluida

$\cos \theta$  = sudut kontak permukaan antara dua fluida

$r$  = jari-jari lengkung pori-pori

$\Delta\rho$  = perbedaan densitas dua fluida

$g$  = percepatan gravitasi

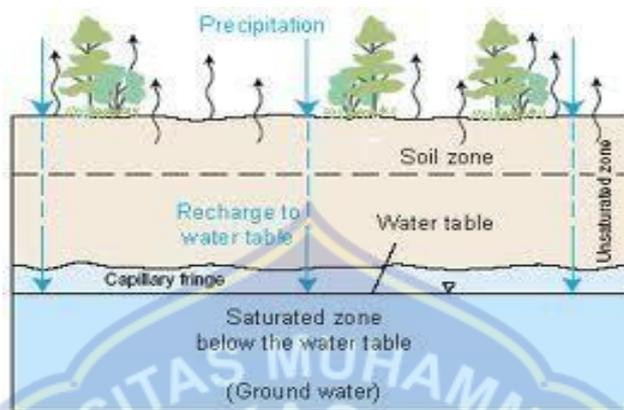
$h$  = tinggi kolom

Kohesi dalam konsistensi tanah adalah gaya tarik menarik sesama zarah tanah akibat adanya selaput lengas pada permukaan zarah tersebut. Besar kecilnya gaya dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk zarah serta tebal tipisnya selaput lengas di antara zarah tersebut. Sedangkan adhesi dalam konsistensi tanah adalah gaya tarik menarik antara zarah tanah (fase padat) dengan molekul air (fase cair).

## 2. Pengaruh Tekanan Kapiler Terhadap Sifat Hidrolik Tanah

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2002), akibat tekanan kapiler, air tanah tertarik ke atas melebihi permukaannya dan mengisi ruang pori diantara butiran tanah. Pori-pori tanah sebenarnya bukan sistem pipa kapiler, tapi teori kapiler dapat diterapkan guna mempelajari kelakuan air

pada zona kapiler. Air dalam zona kapiler ini dapat dianggap bertekanan negatif, yaitu mempunyai tekanan di bawah tekanan atmosfer.



**Gambar 1.** Diagram kapilaritas air dalam tanah, (Davie.T, 2008)

Diagram kapilaritas suatu lapisan tanah, dapat dilihat pada gambar 1. Tinggi minimum dari  $h_{c(\min)}$  dipengaruhi oleh ukuran maksimum pori-pori tanah. Di dalam batas antara  $h_{c(\min)}$  dan  $h_{c(\max)}$ , tanah dapat bersifat jenuh sebagian (*partially saturated*). Terzaghi dan Peck (1948) memberikan hubungan pendekatan antara  $h_c$  (maks) dan diameter butiran sbb :

$$h_c = \frac{c}{e \cdot D_{10}} \text{ (mm)} \dots \dots \dots (3)$$

Yang mana :

$h_c$  = tinggi air dalam pipa kapiler (mm)

$C$  = konstanta ( $C$  bervariasi antara 10-50  $\text{mm}^2$ )

$D_{10}$  = diameter efektif (mm)

$e$  = angka pori tanah

Tinggi air kapiler untuk berbagai macam tanah diberikan oleh Hansbo (1975) dalam Darwis (2012), dapat dilihat dalam penyajian pada tabel 2.

**Tabel 2.** Ketinggian air kapiler

Macam Tanah	Kondisi Longsor	Kondisi padat
Pasir Kasar	0,03 - 0,12 m	0,04 – 0,15 m
Pasir Sedang	0,12 – 0,50 m	0,35 – 1,10 m
Pasir Halus	0,30 – 2,00 m	0,40 – 3,50 m
Lanau	1,50 – 10,0 m	2,50 – 12,0 m
Lempung		> 10 m

(Sumber : Hansbo, 1975)

Pengaruh tekanan kapiler pada tanah adalah menambah tegangan efektif. Jika tekanan kapiler membesar, maka tegangan kontak diantara partikel membesar pula. Akibatnya, ketahanan tanah terhadap geser atau kuat geser tanah bertambah (Hardiyatmo, 2002).

### C. Teori Kejut Kapiler

#### 1. Pengertian Kejut Kapiler

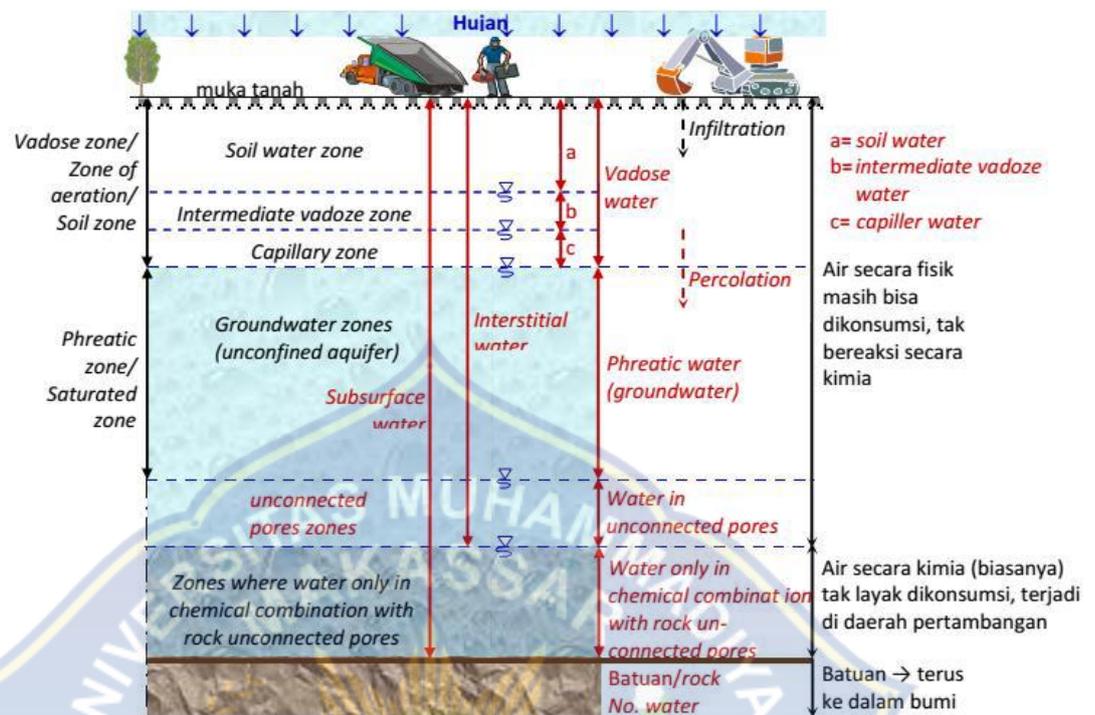
Istilah kejut kapiler (*capillary shock*) adalah turunnya muka air tanah yang terjadi pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*) (Darwis et al., 2014).

Menurut Darwis (2017a), 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 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 terdegradasi, karena air yang berinfiltrasi di awal 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 tanah yang signifikan.

## **2. Mekanisme Dan Proses Terjadi 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).



**Gambar 2.** Zona Air Lapisan Tanah (Darwis,2018)

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 :

- 1) Volume air yang berinfiltrasi belum melebihi kapasitas daya ikat tanah terhadap air di zona aerasi, sehingga aliran air dalam tanah belum ada yang memasuki proses perkolasi.
- 2) Bahwa akibat adanya infiltrasi air permukaan ke dalam lapisan tanah yang 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.
- 3) 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.
- 4) 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.

#### **D. Intensitas Curah Hujan dan Parameter Infiltrasi**

##### **1. Pengertian Intensitas Curah Hujan**

Menurut Joesron (1987), intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu. Analisa intensitas curah hujan

dapat diproses dari data curah hujan yang terjadi pada masa lampau. Intensitas curah hujan ini sangat penting untuk perencanaan seperti debit banjir rencana. Dari analisa melalui grafik alat ukur hujan otomatis akan dihasilkan data intensitas hujan. Seandainya data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian maka oleh Dr. Mononobe yang dikutip oleh (Joesron, 1987) dirumuskan intensitas curah hujan sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \dots\dots\dots(4)$$

Yang mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lama curah hujan (jam)

R<sub>24</sub>= curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Energi kinetik hujan merupakan faktor utama dalam erosi akibat air hujan. Energi kinetik hujan adalah nilai energi total yang terjadi akibat transformasi jatuh butiran hujan menjadi energi mekanik yang memberikan nilai pada suatu intensitas tertentu dan merupakan estimasi dari distribusi ukuran butir hujan untuk intensitas tersebut. Energi kinetik hujan dapat menyebabkan hancurnya agregat permukaan tanah hingga mempermudah pengangkutan bila terjadi aliran permukaan. Jumlah hujan yang tinggi mungkin tidak menyebabkan erosi, jika intensitasnya rendah. Demikian pula suatu hujan yang intensitas tinggi, tetapi terjadi dalam waktu singkat,

mungkin tidak akan menimbulkan erosi karena tidak cukup air untuk mengangkut tanah, sebaliknya, jika hujan dengan jumlah dan intensitasnya tinggi akan mengakibatkan erosi (Baver, 1961).

## 2. Frekuensi Hujan

Menurut BR. Sri Harto(1993), analisis data hujan merupakan tahapan awal dari setiap perencanaan dalam bidang sumber daya air, seperti irigasi, pengendalian banjir, dan perencanaan bangunan air sehingga ketelitian analisis data mutlak dibutuhkan. Mengingat kejadian hujan memiliki sifat ketidakpastian baik secara ruang dan waktu, maka analisis- analisis data hujan menggunakan metode stokastik. Salah satu metode stokastik dalam analisis data hujan adalah analisis frekuensi. Pada analisis frekuensi terdapat berbagai uji kesesuaian distribusi hujan yang akan digunakan. Penggunaan distribusi yang dipilih akan sangat berpengaruh terhadap estimasi hujan rencana untuk kala ulang tertentu. Pemilihan distribusi dilakukan dengan berbagai metode pendekatan berupa uji kesesuaian atau kecocokan (*the goodness of fit*). Antara uji yang satu dengan uji yang lain belum tentu menghasilkan jenis distribusi yang sama.

Analisis frekuensi adalah prosedur memperkirakan frekuensi suatu kejadian pada masa lalu atau masa yang akan datang. Prosedur tersebut dapat digunakan untuk menentukan hujan rancangan dalam berbagai kala ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai. Menurut BR. Sri Harto (2000), analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh

dari rekaman data baik data hujan maupun data debit. Analisis ini sering dianggap cara analisis yang paling baik, karena dilakukan terhadap data yang terukur langsung yang tidak melewati pengalihragaman terlebih dahulu.

Energi kinetik hujan merupakan faktor utama dalam erosi akibat air hujan. Energi kinetik hujan adalah nilai energi total yang terjadi akibat transformasi jatuh butiran hujan menjadi energi mekanik yang memberikan nilai pada suatu intensitas tertentu dan merupakan estimasi dari distribusi ukuran butir hujan untuk intensitas tersebut. Energi kinetik hujan dapat menyebabkan hancurnya agregat permukaan tanah hingga mempermudah pengangkutan bila terjadi aliran permukaan.

### **3. Laju Infiltrasi**

Laju infiltrasi adalah banyak air pada satuan waktu yang masuk melalui permukaan tanah. Laju infiltrasi terbesar pada saat permulaan hujan dan menurun hingga mencapai angka minimum yang konstan. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh variasi intensitas hujan. Bila suatu saat air mulai menggenang di permukaan tanah, berarti laju penambahan air di permukaan tanah melalui laju infiltrasi tertinggi. Laju infiltrasi maksimum dinamakan kapasitas infiltrasi (Horton, 1939).

Tanah yang berbeda-beda menyebabkan air meresap dengan laju yang berbedabeda. Setiap tanah memiliki daya resap yang berbeda, yang diukur dalam millimeter per-jam (mm/jam). Jenis tanah berpasir umumnya

cenderung mempunyai laju infiltrasi tinggi, akan tetapi tanah liat sebaliknya, cenderung mempunyai laju infiltrasi rendah. Untuk satu jenis tanah yang sama dengan kepadatan yang berbeda mempunyai laju infiltrasi yang berbeda pula. Makin padat makin kecil laju infiltrasinya (Wilson, 1983).

**Tabel 3.** Klasifikasi Infiltrasi

Deskripsi	Infiltrasi (mm/jam)
Sangat lambat	1
Lambat	1-5
Sedang lambat	5-20
Sedang	20-65
Sedang cepat	65-125
Cepat	125-250
Sangat cepat	250

(Sumber : Lee, 1990)

#### 4. Kapasitas Infiltrasi

Kapasitas infiltrasi adalah suatu sifat yang dinamis yang dapat berubah secara nyata selama kejadian hujan badai tertentu, sebagai reaksi terhadap perubahan-perubahan musiman dalam air tanah, suhu, dan penutupan vegetasi, maupun sebagai akibat kegiatan-kegiatan pengelolaan hutan. Apabila aliran kapasitas infiltrasi semakin besar, maka aliran air di permukaan tanah semakin berkurang. Sebaliknya, semakin kecil kapasitas

infiltrasi yang disebabkan banyaknya pori tanah yang tersumbat, maka aliran air permukaan bertambah atau meningkat (Kartasapoetra, 1989).

Lee (1990), mengatakan bahwa kapasitas infiltrasi merupakan suatu sifat dinamis, kapasitas tersebut paling besar bila curah hujan mulai, dan menurun secara progresif bila koloid-koloid tanah mengembang dan mengurangi ukuran pori-pori. Pada tingkat-tingkat kandungan air tanah yang sangat tinggi, infiltrasi dapat dihambat dengan adanya udara di dalam tanah karena udara tersebut akan sulit keluar untuk menciptakan ruang bagi air tambahan.

Menurut (Dhalhar, 1972) persamaan infiltrasi empirik secara garis besar dapat di bedakan atas dua tipe yaitu persamaan berdasarkan variabel waktu dan persamaan infiltrasi berdasarkan variabel bukan waktu

#### 1. Persamaan Horton

Horton (1939) dalam eagleson (1970) dan Raudkivi (1979), menentukan persamaan laju infiltrasi komulatif atau jumlah air yang terinfiltrasi sebagai berikut:

$$F_t = \int_0^t f(t) \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$F_t$  = Kapasitas Infiltrasi (mm/menit)

$f$  = Laju infiltrasi(mm/menit)

$t$  = Waktu (menit)

## 2. Persamaan Philip

Philip (1969), dalam Dhalhar (1972) menentukan persamaan infiltrasi sebagai berikut :

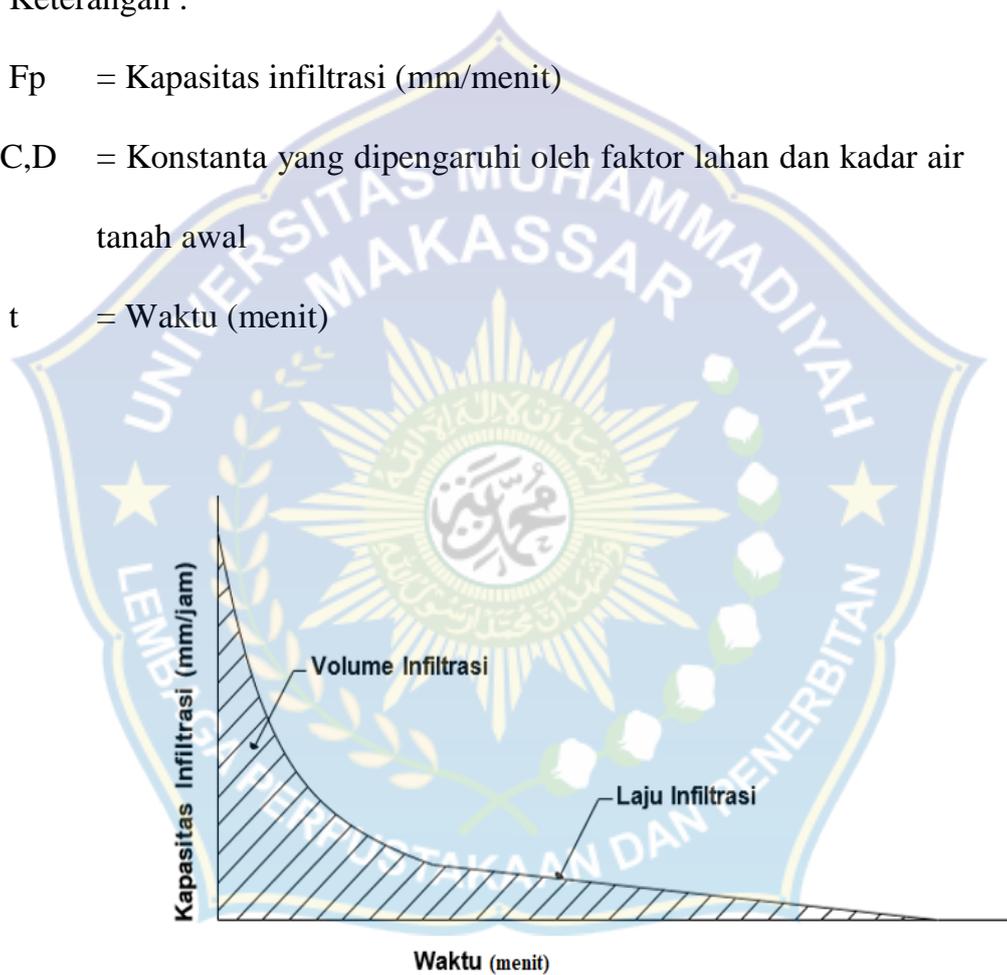
$$F_p = C + D t^{-0.5} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

$F_p$  = Kapasitas infiltrasi (mm/menit)

$C, D$  = Konstanta yang dipengaruhi oleh faktor lahan dan kadar air tanah awal

$t$  = Waktu (menit)



**Gambar 3.** Kurva Infiltrasi (Bambang Triatmodjo, 2008)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental model (*model experimental research*). Penelitian eksperimen adalah meneliti pengaruh perlakuan terhadap perilaku yang timbul sebagai sebab akibat perlakuan (Alsa, 2004).

Penelitian ini akan menggunakan model penelitian eksperimental tentang “Analisis Tingkat Kejut Kapiler Muka Air Tanah pada Lanau Berlempung Berpasir (*Sandy Clayey Silt*) dengan metode simulasi (uji laboratorium)” dengan menggunakan hujan buatan dari alat simulasi yang didesain dan dibuat khusus (*specific equipment*).

#### **B. Tempat Penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Jl. Sultan Alauddin No.259

#### **C. Variabel Penelitian**

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan ( Sugiyono, 2013).

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- 1) Variabel bebas ( *Independent Variable* )

Menurut Sugiyono (2013), variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (*independent variable*). Variabel bebas pada penelitian ini, yaitu frekuensi hujan.

2) Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat (*dependent variable*) merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2011). Variabel terikat pada penelitian ini, yaitu:

- a. Fluktuasi Muka Air Tanah
  - b. Kedalaman Infiltrasi
  - c. Peningkatan Tekanan Kapiler
- 3) Hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam penelitian ini dapat di gambar dengan sketsa sebagai berikut:



**Gambar 4.** Skema Hubungan Variabel Penelitian

#### **D. Definisi Operasional Variabel**

Menurut Sugiyono (2002), definisi operasional adalah penentuan konstruk atau sifat yang akan dipelajari sehingga menjadi variabel yang dapat diukur. Definisi operasional menjelaskan cara tertentu yang digunakan untuk meneliti dan mengoperasikan konstruk, sehingga memungkinkan bagi peneliti yang lain untuk melakukan replikasi pengukuran dengan cara yang sama atau mengembangkan cara pengukuran konstruk yang lebih baik. Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel yang divariasikan dan diamati, antara lain:

1. Frekuensi Hujan

Menurut BR. Sri Harto(1993), analisis data hujan merupakan tahapan awal dari setiap perencanaan dalam bidang sumber daya air, seperti irigasi, pengendalian banjir, dan perencanaan bangunan air sehingga ketelitian analisis data mutlak dibutuhkan. Mengingat kejadian hujan memiliki sifat ketidakpastian baik secara ruang dan waktu, maka analisis- analisis data hujan menggunakan metode stokastik. Salah satu metode stokastik dalam analisis data hujan adalah analisis frekuensi. Pada analisis frekuensi terdapat berbagai uji kesesuaian distribusi hujan yang akan digunakan. Penggunaan distribusi yang dipilih akan sangat berpengaruh terhadap estimasi hujan rencana untuk kala ulang tertentu. Pemilihan distribusi dilakukan dengan berbagai metode pendekatan berupa uji kesesuaian atau kecocokan (*the goodness of fit*).

Antara uji yang satu dengan uji yang lain belum tentu menghasilkan jenis distribusi yang sama.

Analisis frekuensi adalah prosedur memperkirakan frekuensi suatu kejadian pada masa lalu atau masa yang akan datang. Prosedur tersebut dapat digunakan untuk menentukan hujan rancangan dalam berbagai kala ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai. Menurut BR. Sri Harto (2000), analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data baik data hujan maupun data debit. Analisis ini sering dianggap cara analisis yang paling baik, karena dilakukan terhadap data yang terukur langsung yang tidak melewati pengalihragaman terlebih dahulu.

## 2. Fluktuasi Muka Air Tanah

Fluktuasi air tanah adalah naik turunnya permukaan air tanah. Air tanah pada akuifer tidak terkekang disebut juga air tanah dangkal atau air tanah bebas. Kedudukan muka air tanah pada sistem akuifer tidak tertekan terutama dipengaruhi oleh curah hujan atau pergantian musim.

Saat pada musim penghujan muka air tanah akan mengalami peningkatan dan pulih karena proses pengisian kembali (*groundwater recharge*) dan berada pada kedudukan tertinggi pada akhir musim penghujan. Lalu musim kemarau muka air tanah pada sistem akuifer cenderung menurun secara bertahap. (*groundwater depletion*).

### 3. Kedalaman Infiltrasi

Infiltrasi merupakan peristiwa atau proses masuknya air ke dalam tanah, umumnya (tidak mesti) melalui permukaan tanah dan secara vertikal. Pada beberapa kasus air dapat masuk melalui jalur atau rekahan tanah atau gerakan horizontal dari samping. Infiltrasi merupakan kompleks antara intensitas hujan karakteristik dan kondisi permukaan tanah.

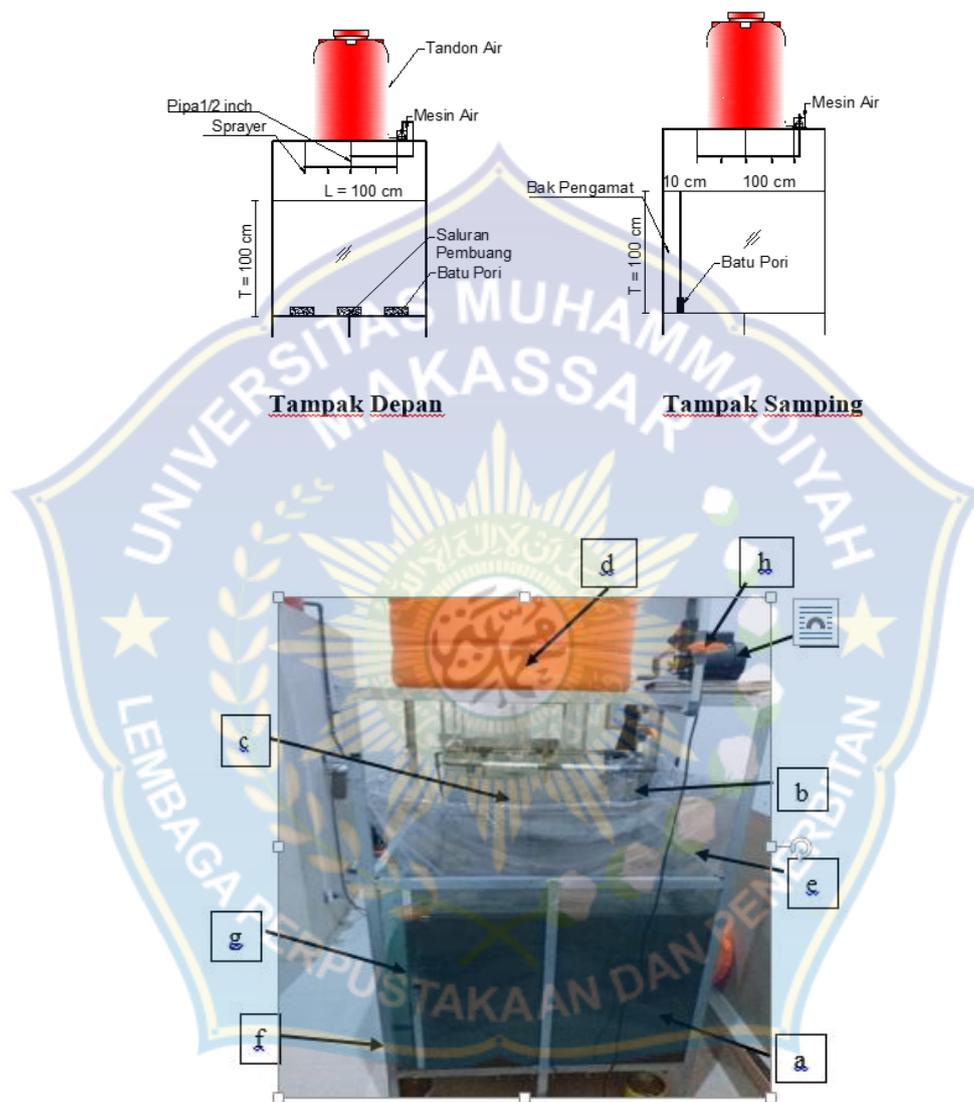
Intensitas hujan berpengaruh terhadap kesempatan air untuk masuk ke dalam tanah, maka semua air mempunyai kesempatan untuk masuk ke dalam tanah. Sebaliknya bila intensitas hujan lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas infiltrasi, maka sebagian air yang jatuh ke permukaan tanah tidak mempunyai kesempatan untuk masuk ke dalam tanah, dan bagian ini akan mengalir sebagai aliran permukaan (BBLSDP, 2006 dalam Maro'ah, 2011)

### 4. Tekanan Kapiler

Menurut (Terzaghi & Peck, 1948) teori dasar tentang ketinggian air kapiler di dalam lapisan tanah bahwa ketinggian tekanan kapiler ( $h_c$ ) di dalam tanah dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu ukuran butir tanah ( $D_{10}$ ) dan angka pori tanah ( $e$ ). Dalam hal ini angka pori yang digunakan adalah angka pori kumulatif, dan tidak memperhitungkan keberadaan air hidroskopik di dalam pori tanah, yang akan mengakibatkan mengecilnya pori tanah yang kosong.

## E. Rancangan Penelitian

### 1. Instrumen Penelitian



**Gambar 5.** Sketsa Alat Model

#### Komponen Alat Pengujian :

- a. Bak Transparan (Kaca),
- b. Sprayer yang dilengkapi dengan Motor Penggerak,

- c. Pipa PVC
- d. Bak Air Kapasitas 600 L
- e. Gorden Plastik
- f. Batu pori
- g. Mistar Pengukur
- h. Keran Air
- i. Mesin Air

## 2. Prosedur Pengujian

### a. Prosedur dan Pemeriksaan Karakteristik Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi yang berbeda kemudian sampel dikumpulkan di laboratorium untuk menguji karakteristik tanah yang ditentukan. Sampel tanah yang sesuai kemudian dikeringkan dan dijemur di bawah sinar matahari.

### b. Prosedur perakitan

1. Menyediakan beberapa besi siku dan besi *hollow* yang akan digunakan untuk 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 mm di setiap sisi yang telah diukur sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan, yang terdiri atas dua bilik yakni bilik pertama untuk bak tanah, dan bilik kedua untuk bak pengamatan genangan air.

3. Memasang tiga batu pori di antara bak tanah yang dimaksudkan untuk mengairkan air tanah ke dalam bak pengamatan
4. Memasang mistar ukur di sisi depan dan sisi belakang alat untuk mengetahui fluktuasi muka air tanah, kedalaman infiltrasi dan ketinggian tekanan kapiler.
5. Memasang alat hujan buatan yang terdiri atas pipa pvc, *stop* keran, dan *nozzle* sebanyak 5 unit.
6. Memasang mesin air untuk membantu mengalirkan hujan buatan secara konstan.
7. Memasang bak air (tandon) untuk menampung air untuk mensimulasikan hujan buatan sesuai kebutuhan pengujian.

c. Kalibrasi Alat

Sebelum prosedur pengujian model simulasi hujan (*rainfall simulation*), perlu dilakukan kalibrasi alat terlebih dahulu. alat *rainfall simulation* disesuaikan dengan intensitas curah. Berikut tabel rekapitulasi perhitungan intensitas curah hujan.

**Tabel 4.** Rekapitulasi Intensitas Curah Hujan

No	Waktu (menit)	I <sub>2</sub> mm/jam	I <sub>5</sub> mm/jam	I <sub>10</sub> mm/jam	I <sub>25</sub> mm/jam	I <sub>50</sub> mm/jam	I <sub>100</sub> mm/jam	I <sub>200</sub> mm/jam
1	5	181.038	246.841	290.335	344.900	385.417	425.769	466.539
2	10	114.047	155.500	182.899	217.273	242.797	268.218	293.901
3	15	87.034	118.669	139.578	165.811	185.289	204.688	224.288
4	20	71.845	97.959	115.219	136.874	152.953	168.967	185.146
5	25	61.914	84.418	99.293	117.954	131.811	145.611	159.554
6	30	54.828	74.757	87.929	104.454	116.725	128.946	141.293
7	35	49.473	67.456	79.341	94.253	105.325	116.352	127.494
8	40	45.260	61.710	72.584	86.225	96.354	106.442	116.635
9	45	41.842	57.050	67.102	79.713	89.078	98.404	107.827
10	50	39.004	53.180	62.551	74.306	83.036	91.729	100.513
11	55	36.602	49.906	58.700	69.732	77.924	86.082	94.325
12	60	34.540	47.094	55.392	65.802	73.532	81.231	89.009
13	65	32.745	44.647	52.513	62.383	69.711	77.010	84.384
14	70	31.166	42.494	49.982	59.376	66.351	73.297	80.316
15	75	29.765	40.584	47.735	56.706	63.368	70.002	76.706
16	80	28.512	38.875	45.725	54.318	60.699	67.054	73.475
17	85	27.382	37.335	43.914	52.167	58.295	64.398	70.565
18	90	26.359	35.939	42.272	50.216	56.115	61.991	67.927

Dari tabel di atas digunakan intensitas curah hujan yaitu  $I_5 = 246,841$  mm/jam. Penyesuaian intensitas curah hujan dengan volume air, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Volume hujan} = I \times t \times A \dots\dots\dots(7)$$

$$I : \text{intensitas hujan} = 246,841 \text{ mm/jam}$$

$$t : \text{waktu} = 60 \text{ menit}$$

$$A : \text{luas permukaan tanah} = 1.000.000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volume hujan tiap jam} : V = \frac{246,481}{60} \times 60 \times 1.000.000$$

$$= 246.481.000 \text{ mm}^3$$

$$= 246.481 \text{ cm}^3$$

$$= 246.481 \text{ ml}$$

$$V = 246,481 \text{ Liter}$$

Hujan yang diaplikasikan dalam 15 menit, sehingga dapat dihitung

volume hujan untuk 15 menit adalah sebesar :  $V_{15} = \frac{15}{60} \times 246,48 = 61,62 \text{ Liter}$

### 1. Running Test

Tanah yang sudah kering dimasukkan ke dalam bak tanah dengan ketebalan lapisan tanah sekitar 80 cm.

- a) Tanah yang sudah kering dimasukkan ke dalam bak tanah dengan ketebalan lapisan tanah sekitar 80 cm dengan volume bak tanah sebesar  $7,2 \text{ m}^3$  dan dikalikan berat jenis rata-rata sebesar 2,621 yang hasilnya sebesar  $18,87 \text{ m}^3$ .
- b) Air dimasukkan ke dalam bak pengamat, lalu didiamkan sampai muka air tanah (dalam bak tanah), sama dengan muka air dalam bak pengamat.
- c) Pengambilan data level muka air tanah, ketinggian tekanan kapiler, dan kedalaman infiltrasi dilakukan setelah tanah diujani, dengan durasi waktu yang digunakan dimulai dari 0' 1' 2' 3' 4' 5' 7' 10' 15' 30' 45' 60' 90' 120'.
- d) Pembacaan selanjutnya dilakukan setelah 12 jam, dan akan kembali diujani secara berkala hingga air tanah mencapai titik maksimum.

## F. Teknik Pengumpulan Data

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

1. Data pra kondisi (*pre test*), yaitu parameter media (tanah) antara lain: ukuran partikel (*grain size*), angka pori ( $e$ ), kadar air ( $w$ ), berat jenis ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), kepadatan relatif ( $R_c$ ), dan kerapatan relatif ( $D_r$ ). Pengambilan data tersebut dilakukan setelah pemadatan lapisan tanah (media), dan sebelum pemberian air genangan di dasar lapisan.
2. Data *preliminary test*, antara lain: level zona jenuh dan level zona kapiler. Pengambilan data tersebut dilakukan setelah pemberian air genangan di dasar lapisan, dan didiamkan paling kurang 24 jam atau setelah zona jenuh dan zona kapiler tidak berubah lagi.
3. Data pengamatan hasil pengujian (*main test*), antara lain: volume air semprotan, kedalaman infiltrasi, level zona jenuh, dan level zona kapiler. Pengambilan data tersebut dilakukan pada setiap tahap penyemprotan air (simulasi hujan), dan dihentikan setelah sepanjang lapisan tanah sudah jenuh keseluruhannya.

Adapun rencana untuk format pencatatan data adalah sebagai berikut :

## G. Teknik Analisa Data

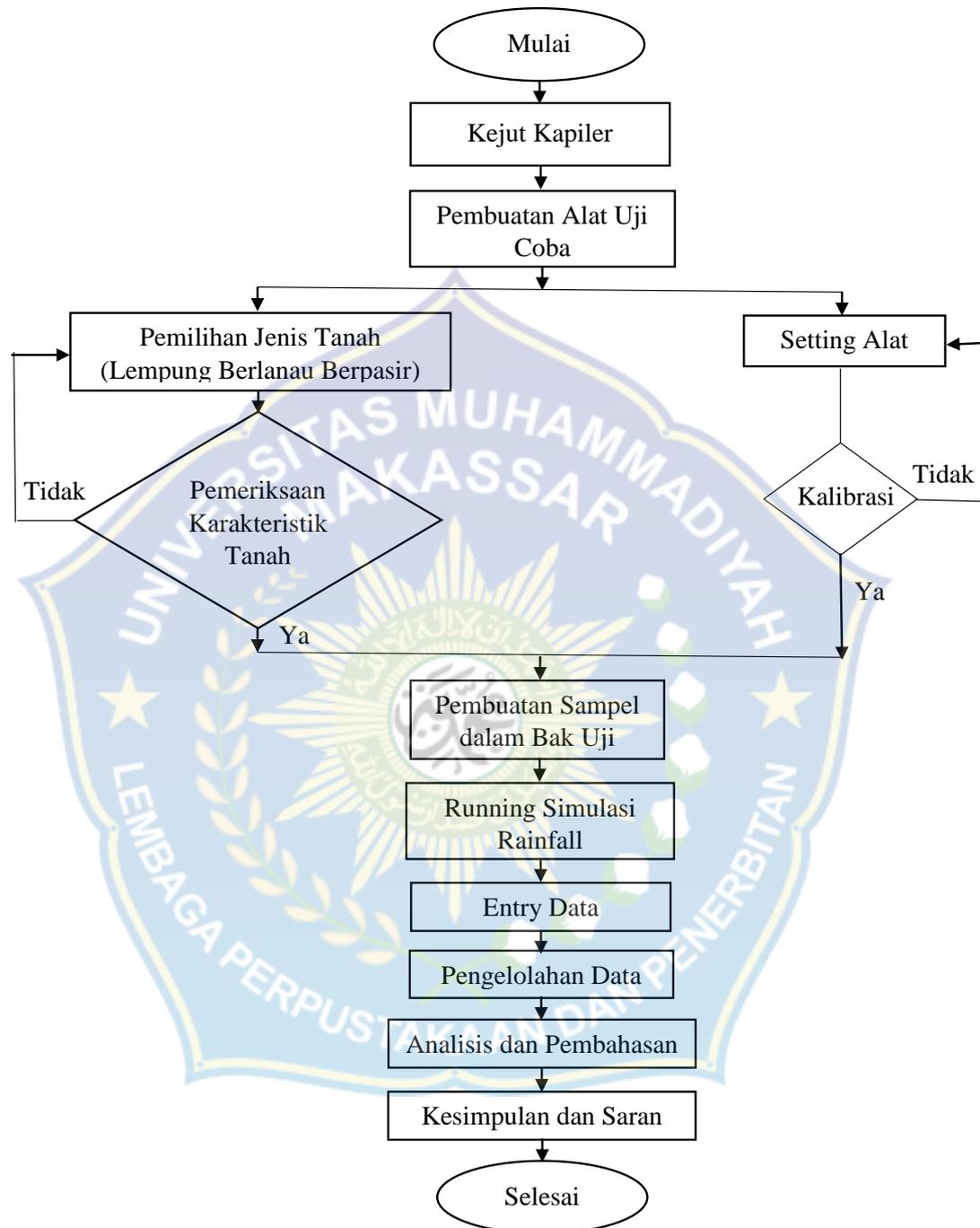
Data hasil pengamatan akan diolah dengan metode statistik biasa, baik dalam perhitungan numerik maupun dalam penggambaran fluktuasi level zona air tanah. Dari hasil pengolahan data selanjutnya akan dilakukan

analisis empirik sehingga dapat dirumuskan formulasi hubungan antar parameter yang dihasilkan dari pengolahan data hasil penelitian. Korelasi parameter yang ingin dilihat dalam penelitian ini, antara lain:

1. Hubungan frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah, yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil,
2. Hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi, yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil,
3. Hubungan frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler, yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil.



## BAGAN ALIR PENELITIAN

**Gambar 6.** Bagan alir penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil pengamatan dengan menggunakan alat simulasi hujan buatan pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, didapatkan hasil berupa turunnya muka air tanah pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*) di sebut kejut kapiler, yang disebabkan meningkatnya tekanan kapiler akibat mengecilnya pori pada tanah. Penelitian ini juga di lakukan untuk mengetahui kemampuan reaksi kejut kapiler pada tanah Lanau Berlempung Berpasir (*Sandy Clayey Silt*).

#### **A. HASIL PENGAMATAN**

##### **1. Karakteristik Tanah**

Dari hasil pengamatan sampel tanah pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bosowa, didapatkan hasil pengujian dengan jenis tanah Lanau Berlempung Berpasir. Dalam penelitian ini digunakan sistem klasifikasi AASHTO tipe A-6 berdasarkan data hasil pengujian batas cair (LL) 31,61% dan Indeks Plastisitas (PI) 12,78% hasil analisa saringan dan hidrometer dirangkum pada tabel berikut :

**Tabel 5.** Hasil pengujian analisa saringan

	<b>Berat (gram)</b>
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	195.9
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	304.10

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0.0	0.0	0.00	100.00
10	2.00	0.1	0.1	0.02	99.98
18	0.85	0.1	0.2	0.04	99.96
40	0.43	6.7	6.9	1.38	98.62
60	0.25	3.1	10.0	2.00	98.00
80	0.18	20.2	30.2	6.04	93.96
100	0.15	40.6	70.8	14.16	85.84
200	0.075	18.7	89.5	17.90	82.10
Pan	-	410.5	500	100.00	0.00
Berat total W1		500			

**Tabel 6.** Hasil Uji Hidrometer

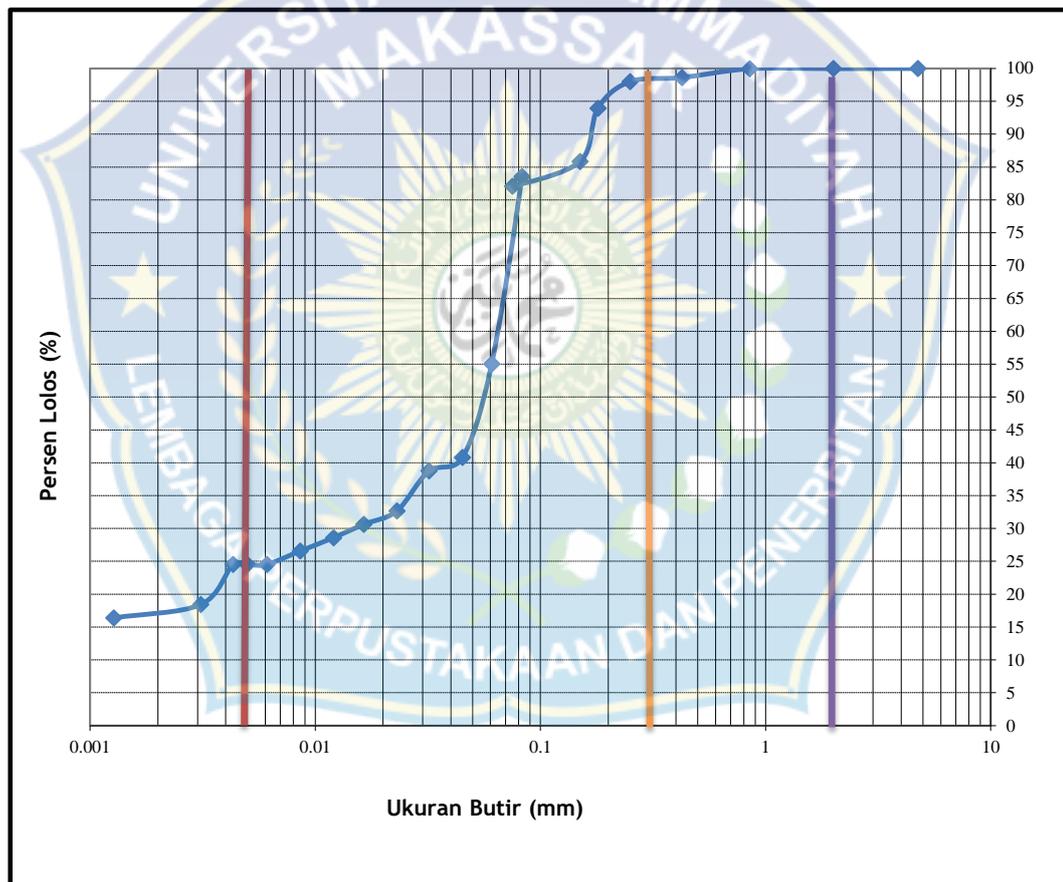
Waktu (menit)	T (°C)	R	Rcp	% Butiran halus $\frac{a.Rcp}{W_s} \times 100\%$	Rcl	L (cm)	K	$D=K(L/t)^{0,5}$
0.25	29	39	41	83.55	39	11.1	0.01240	0.08263
0.5	29	25	27	55.06	25	12.0	0.01240	0.06075
1	29	18	20	40.81	18	13.2	0.01240	0.04505
2	29	17	19	38.77	17	13.3	0.01240	0.03198
4	29	14	16	32.67	14	13.8	0.01240	0.02303
8	29	13	15	30.63	13	14.0	0.01240	0.01640
15	29	12	14	28.60	12	14.2	0.01240	0.01206
30	29	11	13	26.56	11	14.3	0.01240	0.00856
60	29	10	12	24.53	10	14.5	0.01240	0.00610
90	29	10	12	24.53	10	14.5	0.01240	0.00498
120	29	10	12	24.53	10	14.5	0.01240	0.00431
240	29	7	9	18.42	7	15.0	0.01240	0.00310
1440	29	6	8	16.39	6	15.2	0.01240	0.00127

Hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer yang terdapat pada tabel

4 dan 5 menunjukkan bahwa :

- a. Pada saringan nomor 4 berat tertahan sama dengan 0, karena yang tertahan disaringan nomor 4 dikategorikan sebagai kerikil.

- b. Pada tanah yang lolos saringan nomor 10 dan yang tertahan pada saringan nomor 200 dikategorikan sebagai pasir (*sand*) dengan persentase lolos 17,90% dari total sampel pengamatan.
- c. Pada tanah yang lolos saringan nomor 200 dikategorikan sebagai lanau (*silt*) dan lempung dengan persentase lolos 82,10%. Adapun pengujian hidrometer untuk memisahkan ukuran butiran tanah lanau dan lempung dengan persentase lolos lanau 57,57% dan lempung 24,53%.



**Gambar 7.** Grafik Gabungan Analisa Saringan dan Analisa Hidrometer

Dari hasil pengujian analisa saringan dengan hidrometer yang terdapat pada grafik menunjukkan bahwa jumlah persentase lanau dengan ukuran

butir dari 0,075 mm – 0,005 mm yaitu 57,57% dan lempung dengan ukuran butir lebih kecil dari 0,005 mm yaitu 24,53% sedangkan pasir dengan ukuran butir dari 2,0 mm sampai 0,075 mm yaitu 17,90%. Dengan menggunakan uji hidrometer dapat mengetahui ukuran butir yang lolos ayakan 200.

**Tabel 7.** Hasil Pemeriksaan Kadar Air, Pemeriksaan Berat Isi dan Berat Jenis

No	Parameter	NILAI	Satuan
1	Pemeriksaan kadar air mula-mula	21.73	%
2	Pemeriksaan Berat Isi		
	1. Dry Density ( $\gamma_d$ )	1.30	g/cm <sup>3</sup>
	2. Kadar Air (Water Content)	14.58	%
	3. Wet Density ( $\gamma_{wet}$ )	1.49	g/cm <sup>3</sup>
	4. Void Ratio	1.01	%
	5. Porositas (n)	50.23	%
	6. Derajat Kejenuhan (sr)	37.72	%
3	Pengujian berat jenis (Specific Gravity (GS)).	2.62	-

**Tabel 8.** Hasil Pemeriksaan Batas- Batas Atterberg

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Pengujian batas - batas atterberg		
	1. Batas Cair ( LL )	31.61	%
	2. Batas Plastis (PL)	18.82	%
	3. Indeks Plastisitas (PI)	12.78	%
	4. Activity	0.64	%

Dari hasil pengujian karakteristik tanah maka digunakan sistem klasifikasi AASHTO tipe A-6 berdasarkan data hasil pengujian batas cair (LL) 31,61% dan Indeks Plastis (PI) 12,78%.

## 2. Hasil Pengamatan Uji Laboratorium

Hasil pengamatan dengan menggunakan desain alat simulasi kejut kapiler pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, Intensitas curah hujan yang digunakan adalah ( $I_5$ ) = 246,841 mm/jam, dengan periode 9 kali hujan dalam waktu secara bertahap.

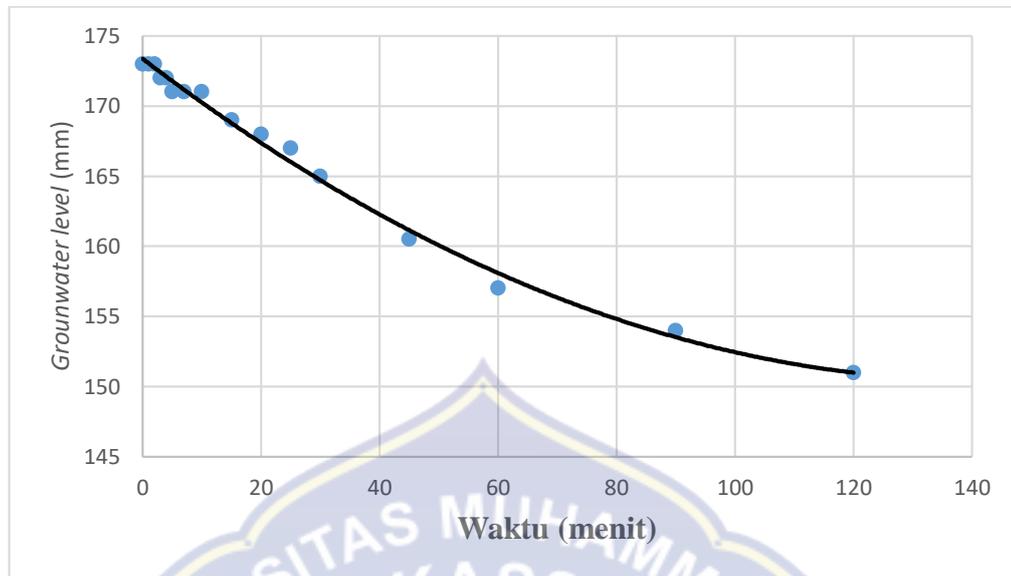
### a. Fluktuasi Muka Air Tanah

Analisis fluktuasi muka air tanah dilakukan dengan simulasi frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan ke sembilan, waktu setiap penghujan selama 15 menit, uraian mengenai hasil fluktuasi muka air tanah dapat dijelaskan pada tabel berikut

**Tabel 9.** Hasil Pengamatan Fluktuasi Muka Air Tanah

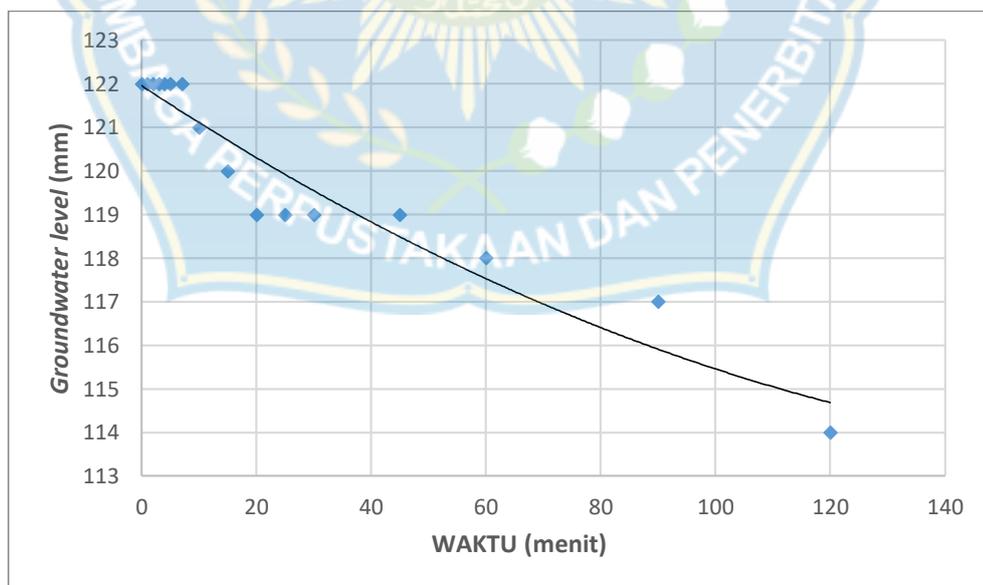
Duration after rain (minutes)	Fluktuasi Muka Air Tanah (mm/menit)								
	Hujan 1	Hujan 2	Hujan 3	Hujan 4	Hujan 5	Hujan 6	Hujan 7	Hujan 8	Hujan 9
0'	173	122	68	49	30	104	269	434	588
1'	173	122	68	49	30	104	269	434	589
2'	173	122	68	49	30	104	269	436	591
3'	172	122	68	49	30	104	269	437	593
4'	172	122	68	49	30	104	269	439	595
5'	171	122	68	49	30	104	269	440	596
7'	171	122	68	49	30	104	269	443	605
10'	171	121	68	48	30	104	269	446	632
15'	169	120	68	48	31	105	270	452	640
20'	168	119	67	48	31	105	271	458	649
25'	167	119	66	47	31	105	273	464	654
30'	165	119	66	47	31	105	270	470	660
45'	160.5	119	65	47	31	107	290	485	675
60'	157	118	64	46	31	112	303	501	687
90'	154	117	62	46	31	119	335	528	711
120'	151	114	61	45	39	134	369	558	734

Dari tabel di bawah fluktuasi muka air tanah mengalami penurunan dari frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima dan pada frekuensi hujan selanjutnya mengalami kenaikan hingga mencapai maksimum pada frekuensi hujan kesembilan.



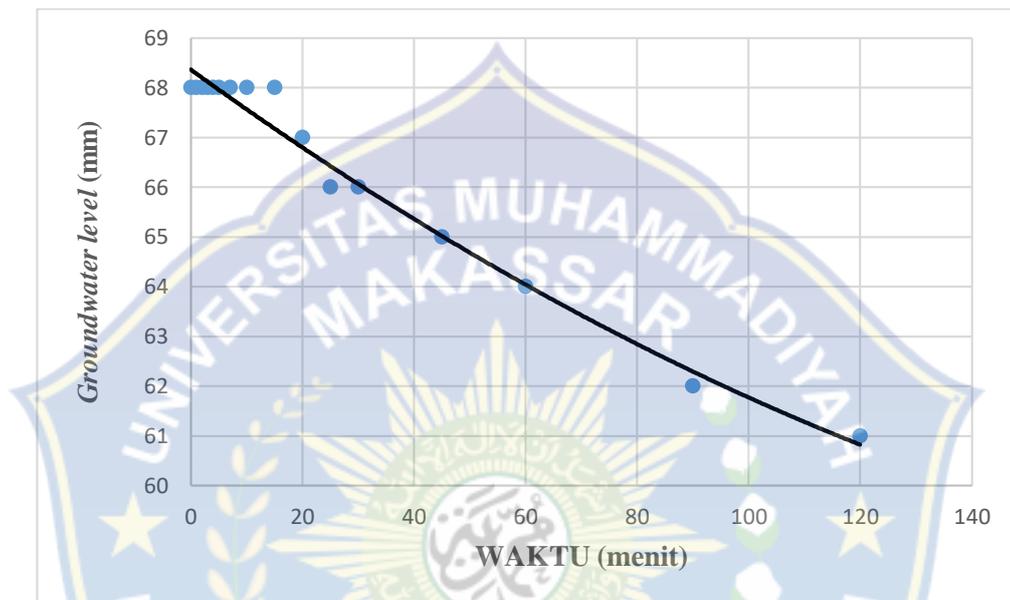
**Gambar 8.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Pertama

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 173 mm dan pada menit ke 20 semakin menurun yaitu 168 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 157 mm selanjutnya pada menit ke 120 mencapai 151 mm.



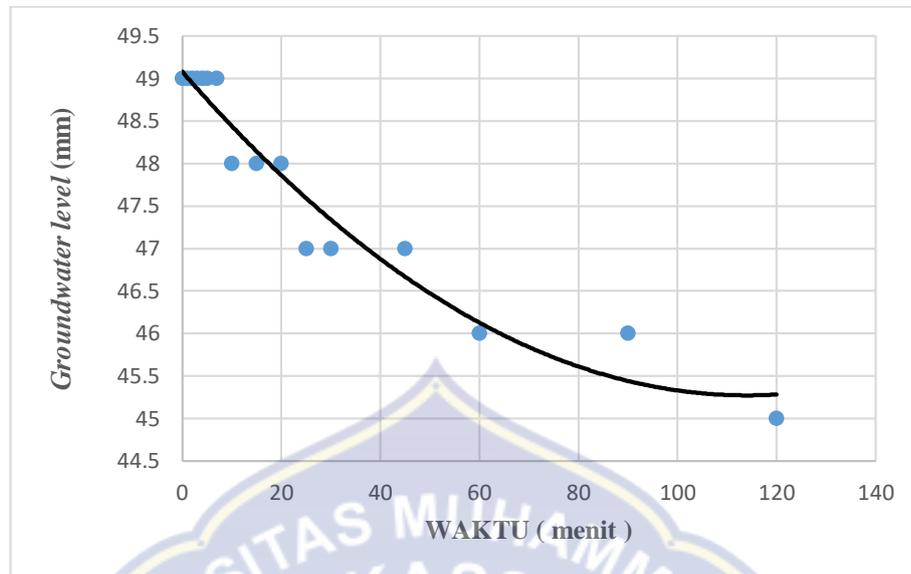
**Gambar 9.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kedua

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 122 mm dan pada menit ke 20 menurun yaitu 119 mm kemudian pada menit ke 60 yaitu 118 mm selanjutnya pada menit ke 120 mencapai 114 mm.



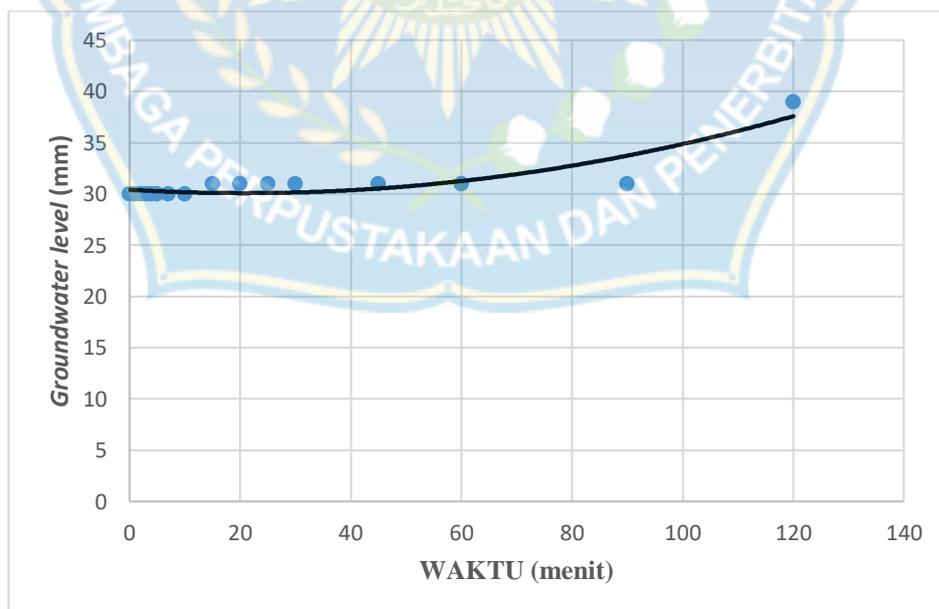
**Gambar 10.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Ketiga

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 68 mm dan pada menit ke 20 menurun yaitu 67 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 64 mm selanjutnya pada menit ke 120 mencapai 61 mm.



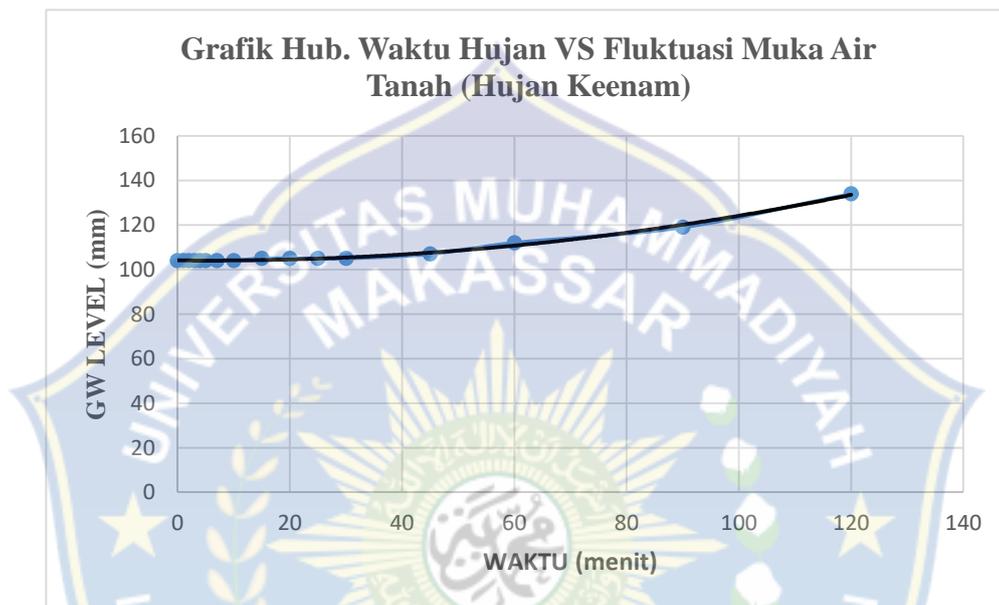
**Gambar 11.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Keempat

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 49 mm dan pada menit ke 20 menurun menjadi 48 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 46 mm selanjutnya pada menit ke 120 mencapai 45 mm.



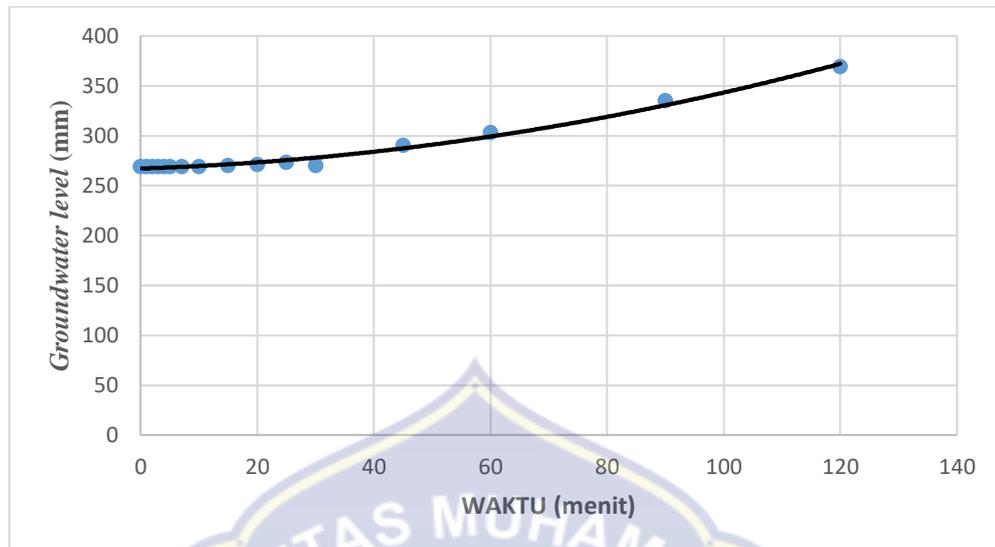
**Gambar 12.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kelima

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 30 mm dan konstan hingga menit ke 10 selanjutnya pada menit ke 15 mulai mengalami kenaikan yaitu 31 mm dan konstan hingga menit ke 90 kemudian pada menit 120 mencapai 39 mm.



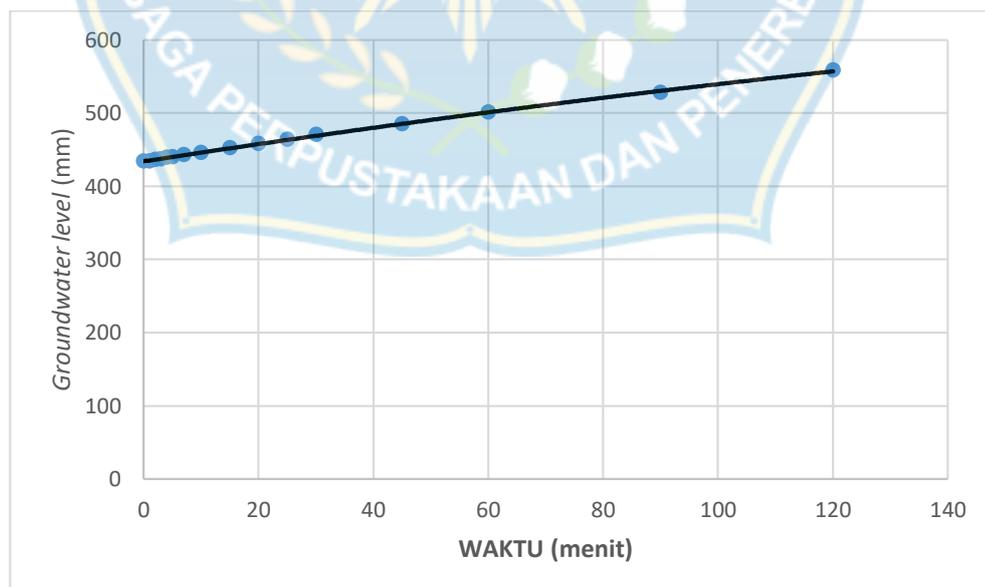
**Gambar 13.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Keenam

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 104 mm dan konstan hingga menit ke 10 selanjutnya pada menit ke 15 mengalami kenaikan yaitu 105 mm namun konstan hingga menit ke 30 kemudian pada menit ke 60 mengalami kenaikan hingga 112 mm dan pada menit 120 mencapai 134 mm.



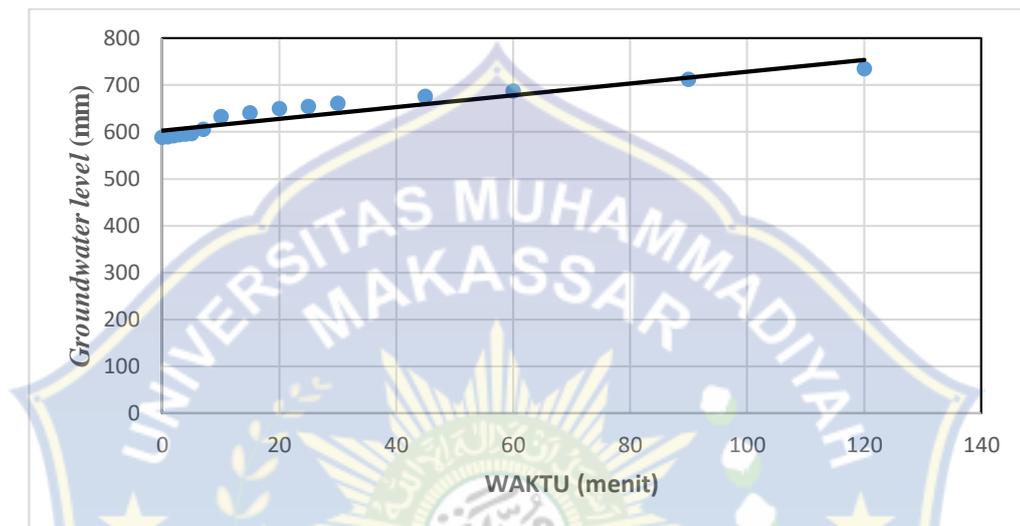
**Gambar 14.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Ketujuh

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 269 mm dan konstan hingga menit ke 10 kemudian pada menit ke 20 mencapai 271 mm selanjutnya pada menit ke 90 terus mengalami peningkatan yaitu 335 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 369 mm.



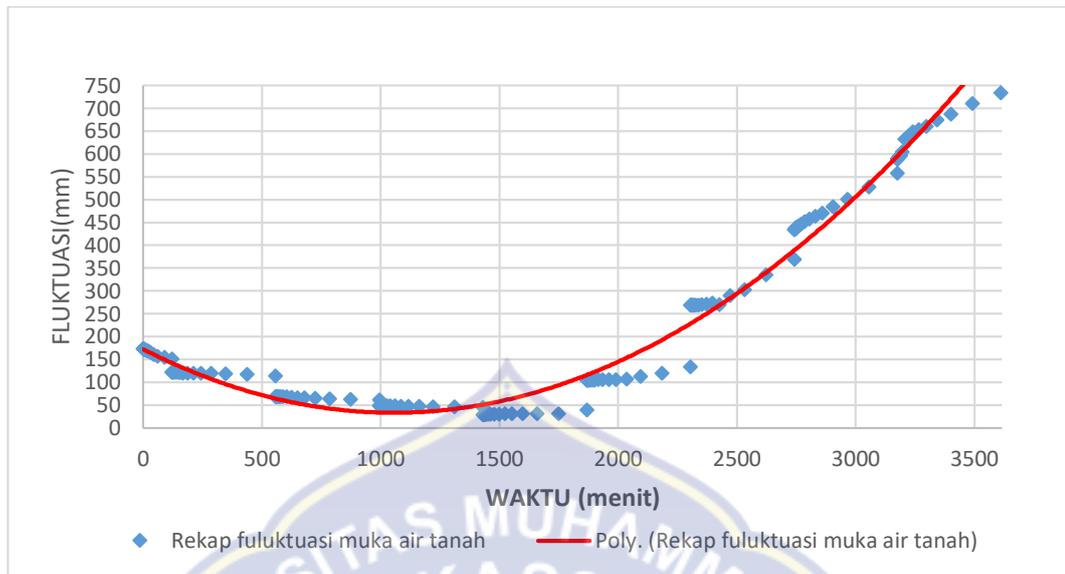
**Gambar 15.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kedelapan

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 434 mm dan pada menit ke 20 mengalami peningkatan menjadi 458 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 501 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 558 mm.



**Gambar 16.** Fluktuasi Muka Air Tanah Hujan Kesembilan

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah pada menit pertama mencapai 588 mm dan pada menit ke 20 mengalami peningkatan menjadi 649 mm kemudian terus meningkat pada menit ke 60 mencapai 687 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 734 mm.



**Gambar 17.** Grafik Gabungan Fluktuasi Muka Air Tanah

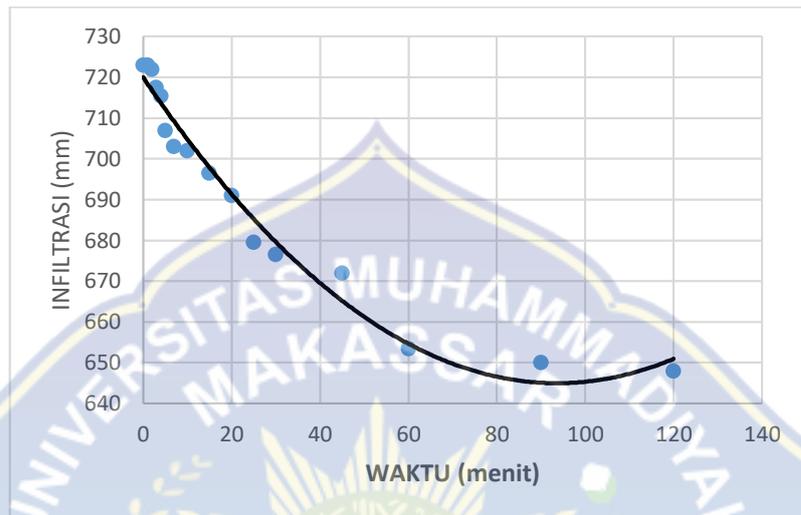
Berdasarkan grafik di atas fluktuasi muka air tanah pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima pada menit ke 15 mengalami penurunan. Sedangkan pada frekuensi hujan kelima menit ke 20 air tanah mengalami kenaikan hingga mencapai titik maksimum pada frekuensi hujan kesembilan.

#### b. Kedalaman Infiltrasi

**Tabel 10.** Hasil Pengamatan Kedalaman Infiltrasi

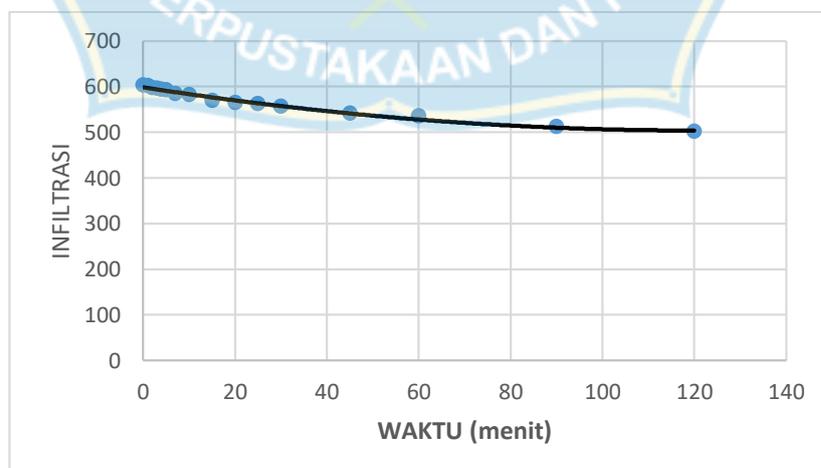
Duration after rain (minutes)	Kedalaman Infiltrasi (mm)			
	Hujan 1 (75 mm)	Hujan 2 (101 mm)	Hujan 3 (55 mm)	Hujan 4 (17,5 mm)
0'	77	197.5	325.5	414
1'	77	198.5	325.5	414
2'	78	203.5	325.5	414
3'	82.5	204.5	325.5	414
4'	84.5	206.5	325.5	414
5'	93	207.5	325.5	414
7'	97	216	325.5	414.5
10'	98	218.5	326	414.5
15'	103.5	230.5	326.5	414.5
20'	109	236	326.5	414.5
25'	120.5	237.5	326.5	415
30'	123.5	244	326.5	415.5
45'	128	258.5	334	415.5
60'	146.5	265	345.5	417.5
90'	150	288.5	359	417.5
120'	152	298.5	380.5	431.5

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa kedalaman infiltrasi pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat mengalami kenaikan.



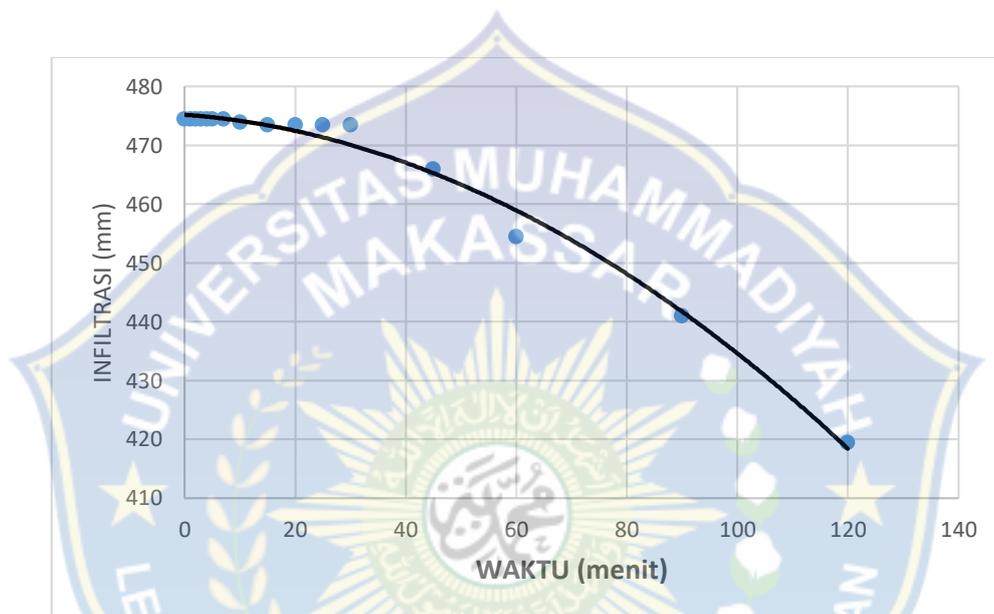
**Gambar 18.** Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan Pertama

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa kedalaman infiltrasi pada menit pertama mencapai 720 mm dan pada menit ke 20 menjadi 690 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 653,5mm hingga pada menit ke 120 mencapai 648 mm.



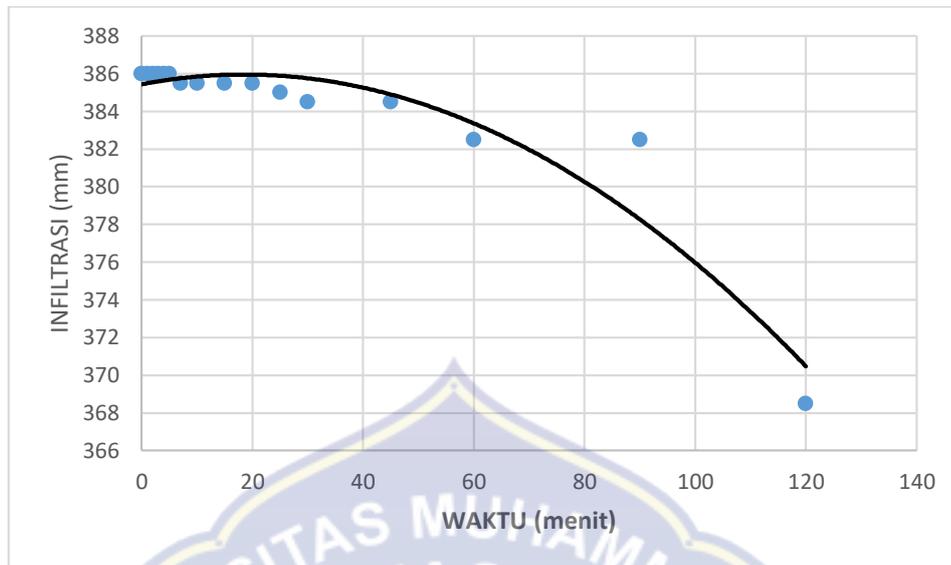
**Gambar 19.** Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan Kedua

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa kedalaman infiltrasi pada menit pertama mencapai 603 mm dan pada menit ke 20 menjadi 564 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 535 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 501,5 mm.



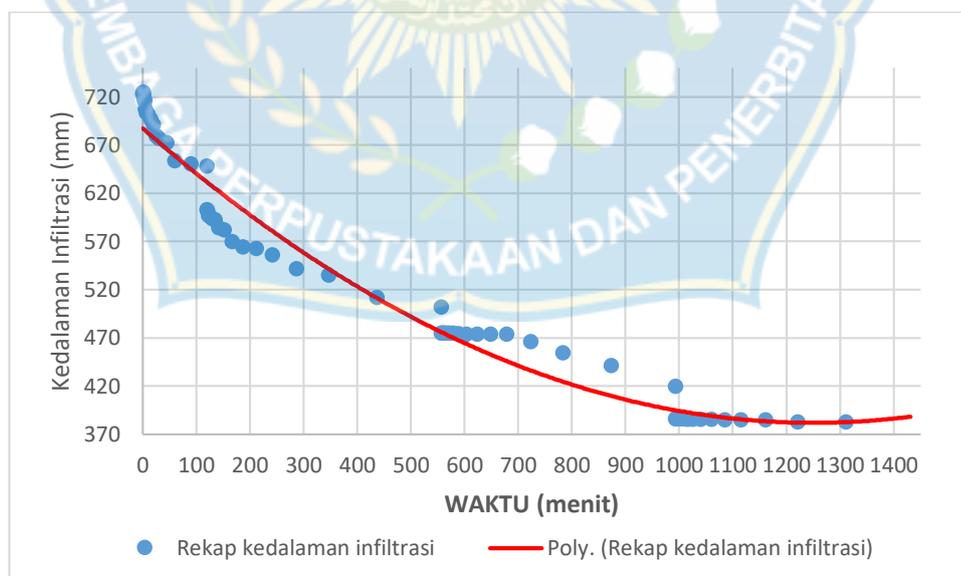
**Gambar 20.** Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan Ketiga

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa kedalaman infiltrasi pada menit pertama mencapai 474,5 mm dan pada menit ke 20 menjadi 473,5 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 454,5 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 419,5 mm.



**Gambar 21.** Grafik Kedalaman Infiltrasi Hujan Keempat

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa kedalaman infiltrasi pada menit pertama mencapai 386mm dan pada menit ke 20 menjadi 385,5 mm kemudian pada menit ke 60 mencapai 382,5 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 368,5 mm.



**Gambar 22.** Grafik Gabungan Kedalaman Infiltrasi

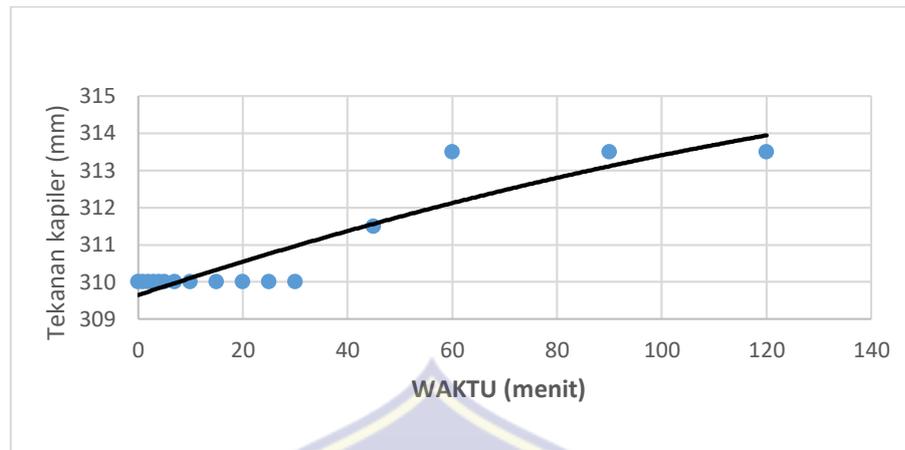
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa pengamatan kedalaman infiltrasi pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat rembesan air dari atas ke bawah yaitu mencapai 354,5 mm.

**c. Peningkatan Tekanan Kapiler**

**Tabel 11.** Hasil Pengamatan Tekanan Kapiler

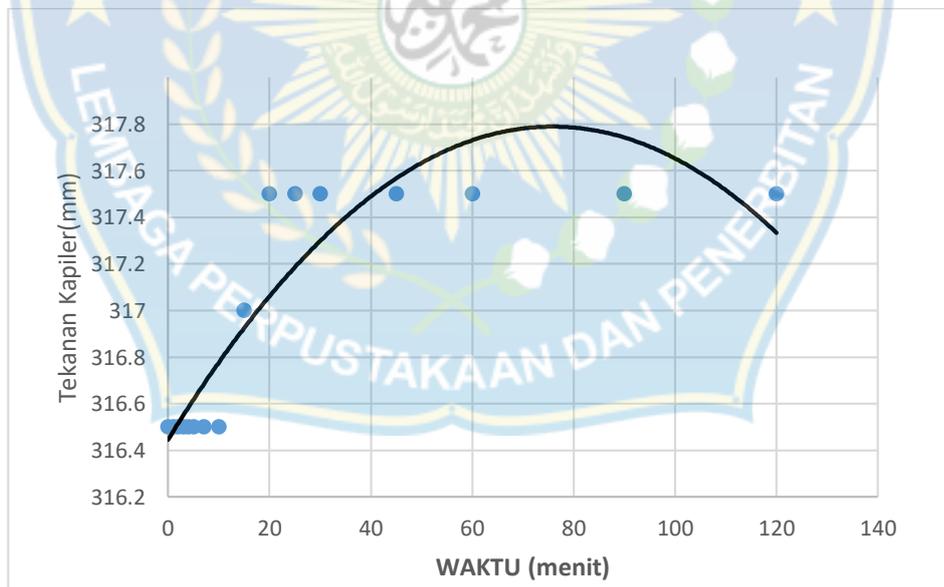
Duration after rain (minutes)	Tekanan Kapiler (mm)			
	Hujan 1 (3.5 mm)	Hujan 2 (1 mm)	Hujan 3 (7.5 mm)	Hujan 4 (2.5 mm)
0'	310	316.5	338.5	358
1'	310	316.5	338.5	358
2'	310	316.5	338.5	358
3'	310	316.5	338.5	358
4'	310	316.5	338.5	358
5'	310	316.5	339	358
7'	310	316.5	339	358
10'	310	316.5	339	358
15'	310	317	341.5	358
20'	310	317.5	341.5	358
25'	310	317.5	341.5	358.5
30'	310	317.5	341.5	358.5
45'	311.5	317.5	343	360.5
60'	313.5	317.5	344.5	360.5
90'	313.5	317.5	345.5	360.5
120'	313.5	317.5	346	360.5

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kapiler pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat mengalami kenaikan.



**Gambar 23.** Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Pertama

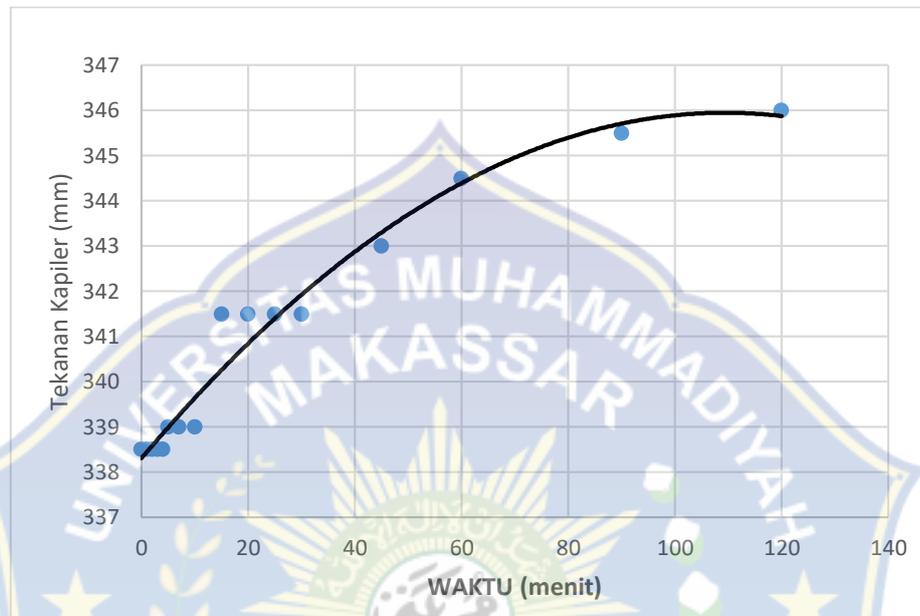
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kapiler pada menit pertama mencapai 310 mm dan konstan hingga menit ke 30 kemudian pada menit ke 45 mengalami kenaikan yaitu 311,5 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 313,5 mm.



**Gambar 24.** Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Kedua

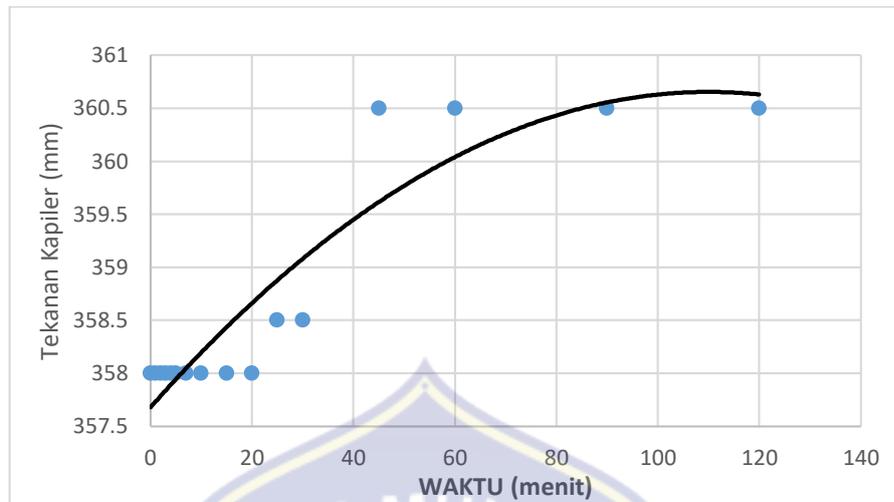
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kapiler pada menit pertama mencapai 316,5 mm dan konstan hingga menit

ke 10 kemudian pada menit ke 15 mengalami kenaikan menjadi 317 mm selanjutnya pada menit ke 20 menjadi 317,5 mm dan konstan hingga menit ke 120.



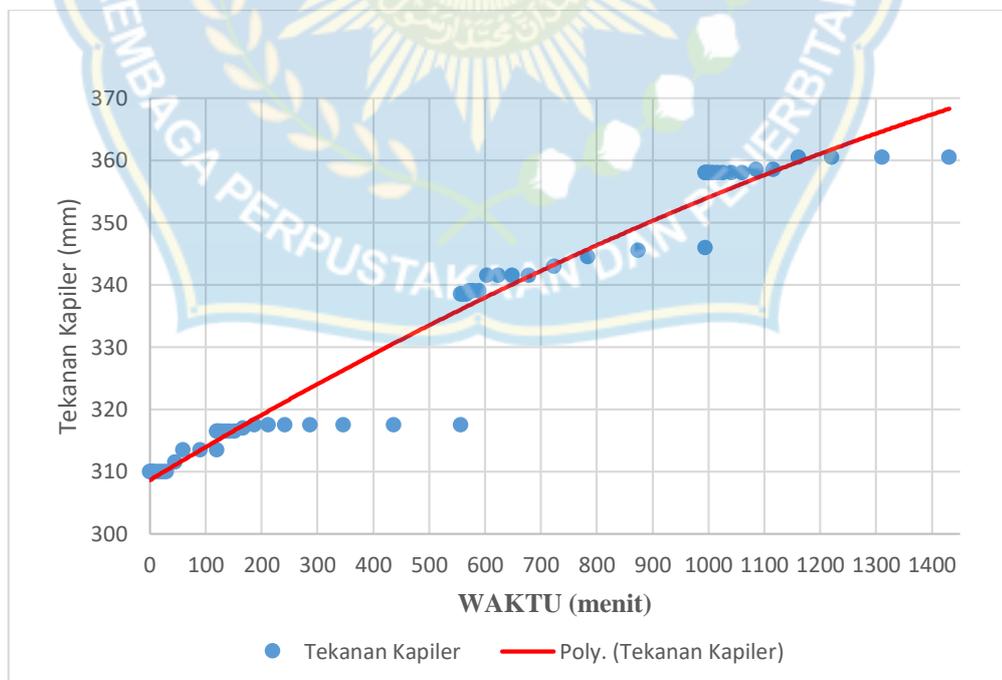
**Gambar 25.** Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Ketiga

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kapiler pada menit pertama mencapai 338,5 mm dan konstan hingga menit ke 4 kemudian pada menit ke 5 mengalami kenaikan yaitu 339 mm dan konstan hingga menit ke 10. Selanjutnya pada menit ke 15 mengalami kenaikan hingga 341,5 mm dan konstan hingga menit ke 30 kemudian pada menit ke 45 mencapai 343 mm hingga menit ke 120 mencapai 346 mm.



**Gambar 26.** Grafik Peningkatan Tekanan Kapiler Hujan Keempat

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kapiler pada menit pertama mencapai 358 dan konstan hingga menit ke 20 kemudian mengalami kenaikan pada menit ke 25 yaitu 358,5 mm hingga pada menit ke 120 mencapai 360,5 mm.



**Gambar 27.** Grafik Gabungan Peningkatan Tekanan Kapiler

Berdasarkan hasil pengamatan peningkatan tekanan kapiler mengalami kenaikan pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat mencapai 50,5 mm.

## **B. Pembahasan**

### **1. Fluktuasi Muka Air Tanah**

Fluktuasi muka air tanah adalah naik turunnya muka air tanah. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis tanah lanau berlempung berpasir yang dihujani Selama 15 menit dengan volume air 61,62 liter. Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa fluktuasi muka air tanah yang terjadi pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kesembilan mengalami penurunan pada awal hujan namun setelah dihujani hingga frekuensi hujan kesembilan mengalami kenaikan hingga mencapai maksimum setara dengan permukaan tanah. Pada frekuensi hujan pertama hingga hujan kelima mengalami penurunan karena pori- pori tanah mengecil sehingga tekanan kapiler mengalami kenaikan. Pada frekuensi hujan keenam sampai frekuensi hujan kesembilan mengalami kenaikan karena tanah mulai jenuh sehingga peningkatan tekanan kapiler sudah tidak terlihat.

### **2. Kedalaman Infiltrasi**

Kedalaman infiltrasi adalah kedalaman air yang masuk ke dalam tanah. Pada jenis tanah lanau berlempung berpasir kedalaman infiltrasi yang terjadi ketika frekuensi hujan pertama dengan periode 15 menit baru menembus

sebagian kedalaman lapisan tanah karena keadaan tanah dalam keadaan kering sehingga pori tanah membesar dan mudah untuk meloloskan air namun pada periode hujan selanjutnya air permukaan mulai tergenang dan membutuhkan waktu untuk meloloskan air. Pada frekuensi hujan ketiga kemampuan tanah dalam meloloskan air semakin sulit karena gaya adhesi yang lebih tinggi sehingga mengecilkan pori tanah. Pada frekuensi hujan keempat genangan di permukaan tanah semakin tinggi dan kedalaman infiltrasi semakin lambat. Kemudian pada frekuensi hujan selanjutnya kedalaman infiltrasi yang bergerak dari atas ke bawah bertemu dengan peningkatan tekanan kapiler yang bergerak dari bawah ke atas sehingga pengamatan kedalaman infiltrasi sudah tidak terlihat.

### **3. Peningkatan Tekanan Kapiler**

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

Berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium fenomena kejutan kapiler pada tanah lanau berlempung berpasir terjadi ketika penurunan muka air tanah pada awal musim hujan dikarenakan hujan yang masuk ke dalam tanah menutup pori-pori tanah sehingga tekanan kapiler naik. Penurunan tersebut

terlihat jelas pada periode hujan pertama sampai hujan kelima sedangkan pada frekuensi hujan selanjutnya air tanah mulai naik dikarenakan kedalaman infiltrasi dan peningkatan tekanan kapiler bertemu dan air dalam tanah mulai jenuh. Laju infiltrasi pada media tanah lanau berlempung berpasir relatif lambat karena pori tanah tersebut kecil dan sulit meloloskan air.





## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. KESIMPULAN**

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

1. Hubungan frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah saat frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima terjadi penurunan kemudian mengalami kenaikan saat frekuensi hujan kelima pada menit ke 15 dan terus meningkat sampai menit ke 120.
2. Hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi mulai pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat terus bertambah, namun pada awal frekuensi hujan kelima kedalaman infiltrasi sudah tidak dapat diamati. Hal ini disebabkan karena rembesan air dari infiltrasi telah bertemu dengan air kapiler yang bergerak dari bawah ke atas.
3. Hubungan frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler, pada frekuensi hujan pertama mengalami kenaikan sampai frekuensi hujan ketiga, kemudian frekuensi hujan keempat mengalami stagnan pada menit pertama sampai menit ke 20 dan pada frekuensi hujan kelima

sudah tidak terbaca karena bertemunya air kapiler dengan air yang terinfiltrasi dari atas ke bawah.

4. Air tanah mengalami penurunan karena adanya tekanan kapiler namun ketika tanah jenuh maka air tanah mulai meningkat.

## **B. SARAN**

- 1) Dalam penelitian ini menggunakan dinding kaca dengan tebal 12 mm sebaiknya pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk tidak menggunakan kaca karena rentan pecah sebaiknya menggunakan fiber.
- 2) Diharapkan pada penelitian selanjutnya perlu memperhatikan parameter-parameter yang berpengaruh di lapangan dan kemudian diperhitungkan dalam simulasi laboratorium seperti kondisional lingkungan yaitu suhu ruangan karena sangat berpengaruh dengan penguapan tanah dan mengenai hujan yang diatur konstan perlu dikaji lebih lanjut dan perlu adanya perbedaan warna pergerakan air kapiler dengan air infiltrasi sehingga dapat diamati lebih jelas pergerakan air tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amyx, J.W., Daniel M.B.Jr., dan Robert L.W., 1960, Petroleum Reservoir Engineering, Mc-Graw-Hill Book Company, USA.
- Bambang Triatmodjo, 2008. Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset.
- Baver, L.D. 1961. *Soil physics*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Bouwer Herman, 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, (2002)10:121-142
- Bowles, J.E. 1989. *Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- BR, Sri Harto. (1993). Analisis Hidrologi Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- BR, Sri Harto. 2000. Hidrologi, Teori-Masalah-Penyelesaian. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Darwis dkk. 2017 dan 2018. *Pemodelan formasi sumur resapan untuk recovery air tanah dan pencegahan intrusi air laut ke dalam lapisan tanah pada lahan pertanian palawija di daerah pesisir pantai kabupaten Takalar*. Laporan penelitian Hibah Bersaing Kegiatan Tahun I dan Tahun II. DP3M, Dikti.
- Darwis et al, 2014 Pengaruh Jumlah Bambu-Rongga Sebagai Alat Pengimbuh Terhadap Durasi Kejut Kapiler Dan Waktu Pemulihan Muka Air Tanah Pada Periode Awal Musim Penghujan [https://tekniksilunibos.ac.id/wpcontent/upload/2108/04/2017\\_PR\\_OSIDING\\_DARWIS\\_archive.pdf](https://tekniksilunibos.ac.id/wpcontent/upload/2108/04/2017_PR_OSIDING_DARWIS_archive.pdf)
- Darwis, (2017a). Teknologi Konservasi Air Tanah Dangkal berbasis Potensi Lokal dengan Bambu sebagai Alat Pengimbuh Laporan Hasil Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT), Oktober 2017
- Darwis, 2018. Kejut Kapiler Prngaruh Jumlah Bambu-Rongga Sebagai Alat Pengimbuh Terhadap Durasi Kejut Kapiler Dan Waktu Pemulihan Muka Air Tanah Pada Periode Awal Musim Penghujan <https://www.researchgate.net/publication/323616784>
- Das, Braja.M., 1998. Mekanika Tanah (prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknis) jilid 1 Erlangga, Jakarta.

- Das, Braja.M.,1993. Mekanika Tanah (Prinsip- Prinsip Geoteknis). Erlangga.Jakarta
- Dhalhar,M,A.1972. Process and Field Evaluation of Infiltration Rate. A”plan B”Paper for The Msc Degree, The University of Minnesota.
- Fakhli.2014.”pengertiandanklasifikasigradasi”.<https://www.kumpulengineer.com/2014/05/pengertian-dan-klasifikasigradasi.html> (diakses pada tanggal 13 oktober 2018)
- Hansbo,S.1975.Soil Material Science. Swedish:AWE/Gebers, Stockholm.
- Hardiyatmo,H.C.,1999, *Mekanika Tanah I*, PT.Gramedia Pustaka Umum Jakarta.
- Hardiyatmo,H.C.,2002. Mekanika Tanah I, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardjowigeno,S. 1987.Ilmu Tanah. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- Holtz,W.G. and Gibbs, H.J., 1956, “Engineering Properties of Expansive Clay Transaction”.ASCE.
- Horton. R.E. 1939.Drainage Basins Characteristics. Trans. Am. Geophics.
- Joerson. 1987. Banjir Rencana untuk bangunan Air. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Bandung.
- Kartasapoetra, A.G. 1989. Kerusakan Tanah Pertanian dan usaha untuk merehabilitasinya. Bina Aksara.Jakarta.
- Lee. R. 1990. Hidrologi Hutan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Pettijohn, F.J. 1987. *Metode Penelitian Kuantitaif kualitatif*. ALFABETA. Bandung.
- Terzaghi, K., and Peck, R.B., 1948, Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, New York; Chapman and Hall, London.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. 1987. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Reakayasa*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Verhoef, PNW. 1994. Geologi Untuk Teknik Sipil. Erlangga. Jakarta

Wesley, Laurence D. (2012). Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu. Yogyakarta.

Wihanda. Deddy. 2013. "Pengertian dan Jenis-jenis Tanah" <http://pengertiandanjenistanah.blogspot.com/2013/12/pengertian-dan-jenis-jenis-tanah.html?m=1> (Diakses Pada Tanggal 25 Oktober 2018).

Wilson, E.M. 1993. Hidrologi Teknik. Institut Teknologi Bandung.







**LABAORATORIUM MEKANIKA TANAH  
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA**

Jln. Urip Sumoharjo km.4 Telp (0411) 452091 - 452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat "Kejut Kapiler" Muka Air Tanah Pada Lanau Berlempung Berpasir Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli (Taeng 1)  
Tanggal Percobaan : 30 November 2018  
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
2. Nita Anugrah Jupriadi

PEMERIKSAAN KADAR AIR  
SNI 1965 : 2008

No.Container		1	2
Berat Cawan (W1)	gram	6.60	6.40
Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	45.00	35.30
Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	38.20	30.10
Berat Tanah Kering (Wd = W3-W1)	gram	31.60	23.70
Berat Air (Ww = W2-W3)	gram	6.80	5.20
Kadar Air (Ww/Wd*100%)	%	21.52	21.94
Kadar Air Rata-rata	%	21.73	

Makassar, november 2018

Diperiksa Oleh :

Dikerjakan Oleh :

Hasrullah,ST  
Asisten Lab



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**  
**JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS BOSOWA**

Jln. Urip Sumoharjo km 4. Telp (0411) 452091 - 452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
 Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat Kejut Kapiler pada tanah Lanau Berlempung Berpasir Dengan Metode Simulasi

Lokasi : Tanah Asli ( Taeng 1 )  
 Tanggal Percobaan : 30 November 2018  
 Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
 Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
 2. Nita Anugrah Jupriadi

SPECIFIC GRAVITY (Gs)  
 (SNI 1964:2008)

Sampel	-	I	II
Berat Piknometer, (W1)	gram	42.50	50.40
Berat Piknometer + Air, (W2)	gram	101.10	113.20
Berat Piknometer + Air + Tanah, (W3)	gram	116.70	128.60
Berat Tanah Kering, (Ws)	gram	25	25
Temperatur	°C	29	29
Faktor Koreksi, $\alpha = \gamma T / \gamma 20$		0.99598	0.99598
Berat Jenis (Gs)		2.65	2.59
Berat Jenis rata-rata		2.621	

**Tabel Pembagian Jenis Tanah Berdasarkan Berat Jenis**

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)	Temperatur (C°)	Unit Weight of Water
Kerikil	2,65 - 2,68	4	1
Pasir	2,65 - 2,68	16	0.99897
<b>Lanau Tak organik</b>	<b>2,62 - 2,68</b>	17	0.99880
Lempung Organik	2,58 - 2,65	18	0.99862
Lempung Tak organ	2,68 - 2,75	19	0.99844
Humus	1,37	20	0.99823
Gambut	1,27 - 1,80	21	0.99802
		22	0.99870
		23	0.99757
		24	0.99733
		25	0.99708
		26	0.99682
		28	0.99267
		29	0.99598
		30	0.99568

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH  
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA

Jln. Urip Sumoharjo km 4. Telp (0411) 452091 - 452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat 'Kejut Kapiler' Muka Air Tanah Pada Lanau Berlempung Berpasir Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)  
Lokasi : Tanah Asli ( Taeng 1 )  
Tanggal Percobaan : 01 Desember 2018  
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
2. Nita Anugrah Jupriadi

PENGUJIAN BERAT ISI (TEST RESULTS OF GENERAL PROPERTIES)  
(SNI 1996:2008)

Bore Hole No.	-	Hand Bor -1
Sample	-	1
Sample Depth (Meter)	m	0.00 - 1.00
Ring/Container Number	-	1
Berar Ring ( W1 )	gram	66.80
Berat Cawan ( W2 )	gram	26.00
Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Basah ( W3 )	gram	166.00
Tanah Basah ( W4 ) = W3-W2-W1	gram	73.20
Volume of Soil ( 5 )	cm <sup>3</sup>	52.16
Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Kering ( W6 )	gram	161.10
Berat Tanah Kering ( W7 ) = W6-W1-W2	gram	68.30
Berat Air ( W8 ) = W4-W7	gram	4.90
Berat Jenis, Gs	-	2.62
Volume of Dry Soil (9) = (7)/Gs	cm <sup>3</sup>	26.06
Volume of Pore (10) = (5)-(9)	cm <sup>3</sup>	26.10
Wet Density, $g_{wet} = (4)/(5)$	gr/cm <sup>3</sup>	1.40
Kadar Air $w = (W8)/(W7)*100\%$	%	7.17
Dry Density, $g_{dry} = g_{wet}/(1+w)$	gr/cm <sup>3</sup>	1.31
Porositas, $n = (W10)/(W5)*100\%$	%	50.05
Derajat Kejenuhan $Sr = (W8)/(W10)*100\%$	%	18.77



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**  
**JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS BOSOWA**

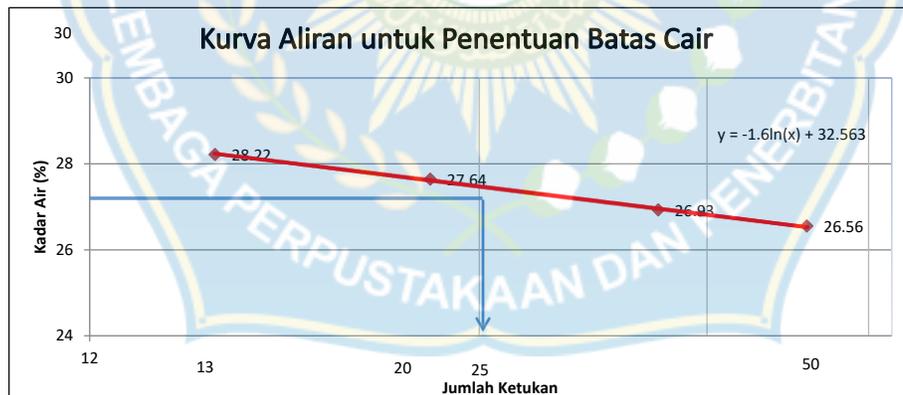
Jln. Urip Sumoharjo km.4 Telp.(0411) 452901 - 452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat 'Kejut Kapiler' Pada Tanah Lanau Berlempung Berpasir Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli (Taeng 1)  
Tanggal Percobaan : 2 Desember 2018  
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
2. Nita Anugrah Jupriadi

PENGUJIAN BATAS-BATAS ATTERBERG  
(SNI 1996:2008)

No. Test	-	Batas Cair (LL)							
		15		22		33		43	
Jumlah Pukulan (N)	-	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
No. Container	-								
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	45.8	33.4	45.4	53.7	49.5	51.5	37.8	36.7
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	37.5	27.6	37.7	43.8	41.6	41.6	31.7	30.9
Berat Container (W3)	Gram	8.7	6.6	9.1	8.9	8.5	8.6	9.0	8.8
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	8.3	5.8	7.7	9.9	7.9	9.9	6.1	5.8
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	28.8	21.0	28.6	34.9	33.1	33.0	22.7	22.1
Kadar Air, Ww/Wd x 100%	%	28.8	27.6	26.9	28.4	23.9	30.0	26.9	26.2
Rata-rata		28.22		27.64		26.93		26.56	



Batas Cair (LL) didapat pada pukulan 25  
Jadi, LL  $-4.121 \ln(25) + 32.563 = 31.61\%$

Makassar, 18 September 2018  
Diperiksa Oleh :

Hasrullah,ST  
Asisten Lab



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH  
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA**

Jln. Urip Sumoharjo km 4. Telp (0411) 452901 - 452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat 'Kejut Kapiler' pada Lanau Berlempung Berpasir dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli ( taeng 1 )  
Tanggal Percobaan : 2 Desember 2018  
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
2. Nita Anugrah Jupriadi

**PENGUJIAN BATAS-BATAS ATTERBERG (BATAS PLASTIS, PL)  
(SNI 1996:2008)**

No Test	-	1	2
No. Container	-	E1	E2
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	13	14.5
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	11.9	13.3
Berat Container (W3)	Gram	6.4	6.5
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	1.1	1.2
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	5.5	6.8
Kadar Air, (Ww/Wd x 100%)	%	20.00	17.65
Kadar Air Rata-rata	%	18.82	

$$\text{Indeks Plastisitas PI} = LL - PL \\ = 31.61 - 18.82 = 12.78 \quad \%$$

$$\text{Activity, A} = \frac{PI}{\% \text{ Clay Sizes} - 5} \\ = \frac{12.78}{25.00 - 5} \\ = \frac{12.78}{20.00} \\ = 0.64$$

Makassar, desember 2019  
Diperiksa Oleh :

Hasrullah,ST  
Asisten Lab



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH  
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA**

Jln. Urip Sumoharjo km 4. Telp (0411) 452901 - 452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
 Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat "Kejut Kapiler" Muka Air Tanah Pada Pasir Berlempung Berlanau (Sandy Clayey Silt) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli (Taeng 1)  
 Tanggal Percobaan : 5 Desember 2018  
 Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
 Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
 : 2. Nita Anugrah Jupriadi

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN  
(SNI 3423:2008)

	Berat (gram)
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	195.9
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	304.10

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0.0	0.0	0.00	100.00
10	2.00	0.1	0.1	0.02	99.98
18	0.85	0.1	0.2	0.04	99.96
40	0.43	6.7	6.9	1.38	98.62
60	0.25	3.1	10.0	2.00	98.00
80	0.18	20.2	30.2	6.04	93.96
100	0.15	40.6	70.8	14.16	85.84
200	0.075	18.7	89.5	17.90	82.1
Pan	-	410.5	500	100.00	0.00
Berat total W1		500			

Berat Jenis : 2.621       $R_{cp} = R + \text{Temperatur Correction} - \text{Zero Correction}$   
 Zero Correction : 1       $R_{cl} = R + \text{Meniscus Correction}$   
 Meniscus Correction : 1  
 Gs Correction : 1.018  
 $\{a = 1.62 Gs / [(Gs-1) \times Gs]\}$   
 Berat Tanah,  $W_s$  : 50      gram

Waktu (menit)	T (°C)	R	R <sub>cp</sub>	% Butiran halus $a.R_{cp}/W_s \times 100\%$	R <sub>cl</sub>	L (cm)	K	D=K (L/t)0,5
0.25	29	39	41	83.55	39	11.1	0.01240	0.08263
0.5	29	25	27	55.06	25	12.0	0.01240	0.06075
1	29	18	20	40.81	18	13.2	0.01240	0.04505
2	29	17	19	38.77	17	13.3	0.01240	0.03198
4	29	14	16	32.67	14	13.8	0.01240	0.02303
8	29	13	15	30.63	13	14.0	0.01240	0.01640
15	29	12	14	28.60	12	14.2	0.01240	0.01206
30	29	11	13	26.56	11	14.3	0.01240	0.00856
60	29	10	12	24.53	10	14.5	0.01240	0.00610
90	29	10	12	24.53	10	14.5	0.01240	0.00498
120	29	10	12	24.53	10	14.5	0.01240	0.00431
240	29	7	9	18.42	7	15.0	0.01240	0.00310
1440	29	6	8	16.39	6	15.2	0.01240	0.00127



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH**  
**JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS BOSOWA**  
Jln. Urip Sumoharjo km 4. Telp (0411) 452901-452789

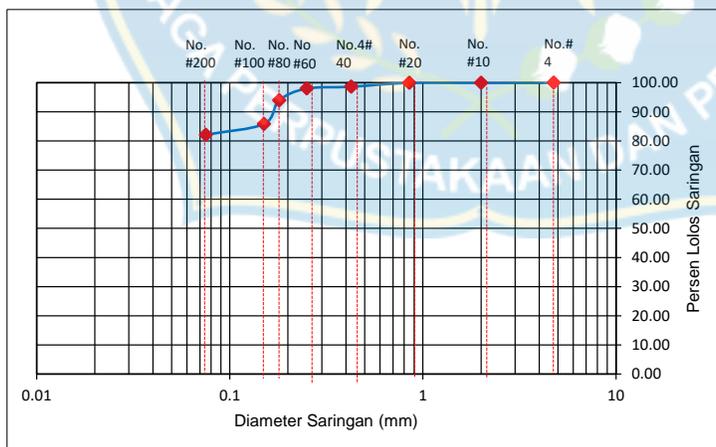
Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat 'Kejut Kapiler' Pada Muka Air Tanah Lanau Berlempung Berpasir Dengan Metode Simulasi

Lokasi : Tanah Asli (Taeng 1)  
Tanggal Percobaan : 5 desember 2018  
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
2. Nita Anugrah Jupriadi

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN  
(SNI 3423:2008)

	Berat (gram)
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	195.9
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	304.10

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0.0	0.0	0.00	100.00
10	2.00	0.1	0.1	0.02	99.98
18	0.85	0.1	0.2	0.04	99.96
40	0.43	6.7	6.9	1.38	98.62
60	0.25	3.1	10.0	2.00	98.00
80	0.18	20.2	30.2	6.04	93.96
100	0.15	40.6	70.8	14.16	85.84
200	0.075	18.7	89.5	17.90	82.10
Pan	-	410.5	500	100.00	0.00
Berat total W1		500			



Makassar, September 2018  
Diperiksa Oleh :

Hasrullah.ST  
Asisten Lab



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH  
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BOSOWA**

Jln. Urip Sumoharjo km 4. Telp (0411) 452901-452789

Pekerjaan : Penelitian Tugas Akhir S1  
Judul tugas Akhir : Analisis Tingkat Kejut Kapiler Pada Muka Air Tanah Lanau Berlempung Berpasir Dengan Metode Simulasi

Lokasi : Tanah Asli ( Taeng 1 )  
Tanggal Percobaan : 5 Desember 2018  
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa  
Dikerjakan Oleh : 1. Andi Alfian Nur  
2. Nita Anugrah Jupriadi

**PENGUJIAN ANALISIS HIDROMETER TANAH  
(SNI 3423:2008)**

Berat Jenis : 2.62 gram/cm<sup>3</sup>  
Zero Correction : 1  
Meniscus Correction : 1  
Gs Correction : 1.018  
{a = 1.62 Gs / [(Gs-1)xGs]}  
Berat Tanah, W<sub>s</sub> : 50 gram

R<sub>cp</sub> = R + Temperatur Correction - Zero Correction  
R<sub>cl</sub> = R + Meniscus Correction

Waktu (menit)	T (°C)	R	R <sub>cp</sub>	% Butiran Halus $\frac{a \cdot R_{cp}}{W_s} \times 100 \%$	R <sub>cl</sub>	L (cm)	K	$D = K (L/t)^{0.5}$
0.25	29	39	41	83.55	40	11.1	0.01249	0.08323
0.5	29	25	27	53.94	26	12.0	0.01249	0.06119
1	29	18	20	39.69	19	13.2	0.01249	0.04538
2	29	17	19	37.66	18	13.3	0.01249	0.03221
4	29	14	16	31.55	15	13.8	0.01249	0.02320
8	29	13	15	29.51	14	14.0	0.01249	0.01652
15	29	12	14	27.48	13	14.2	0.01249	0.01215
30	29	11	13	25.44	12	14.3	0.01249	0.00862
60	29	10	11.5	23.41	11	14.5	0.01249	0.00614
90	29	10	11	22.39	11	14.5	0.01249	0.00501
120	29	10	11.5	23.41	11	14.5	0.01249	0.00434
240	29	7	8.5	17.30	8	15.0	0.01249	0.00312
1440	29	6	7.5	15.27	7	15.2	0.01249	0.00128

Makassar, 5 Desember 2018

Diperiksa Oleh :

Hasrullah,ST  
Asisten Lab



A PERHITUNGAN CURAH HUJAN MAKSIMUM HARIAN RATA-RATA  
METODE ALJABAR

NO	Tahun	Bulan	Tanggal	Stasiun				Hujan Harian Rata-rata	Hujan Maks Harian Rata-rata
				Tamangapa	Panakukang	Maros	Gowa		
1	1982	Mar	3	140	81	188	130	135	135
		Mar	9	110	120	0	90	80	
		Jan	11	70	28	250	37	96	
		Mar	3	140	81	188	130	135	
2	1983	Apr	13	95	120	83	93	98	122
		Apr	13	95	120	83	93	98	
		Nov	25	5	84	280	120	122	
		Des	30	20	109	0	143	68	
3	1984	Feb	9	150	282	56	50	135	135
		Feb	9	150	282	56	50	135	
		Sep	6	0	74	194	63	83	
		Sep	12	0	22	20	228	68	
4	1985	Nov	30	150	5	40	-	-	-
		Jan	5	0	120	50	-	-	-
		Mar	6	10	115	200	-	-	-
5	1986	Jan	18	150	12	19	-	-	-
		Jan	27	45	155	105	-	-	-
		Mar	18	35	0	158	-	-	-
6	1987	Des	22	80	176	247	161	166	193
		Des	16	15	281	261	214	193	
		Des	16	15	281	261	214	193	
		Des	15	80	60	0	309	112	
7	1988	Des	21	55	9	32	21	29	55
		Feb	1	0	152	0	0	38	
		Feb	2	0	0	147	73	55	
		Mar	22	0	25	10	147	46	
8	1989	Des	10	146	4	44	25	55	112
		Jan	25	48	119	140	140	112	
		Jan	29	18	115	167	87	97	
		Jan	25	48	119	140	140	112	
9	1990	Mar	1	198	14	0	49	65	106
		Des	23	43	195	174	10	106	
		Des	23	43	195	174	10	106	
		Jan	7	0	97	21	162	70	
10	1991	Des	1	28	0	20	8	14	51
		Apr	25	-	104	0	0	-	
		Des	25	11	3	95	21	33	
		Des	30	0	32	3	169	51	
11	1992	Jan	11	93	141	15	0	62	64
		Jan	11	93	141	15	0	62	
		Jan	10	23	80	153	0	64	
		Jun	1	16	0	50	86	38	
12	1993	Jan	24	215	133	0	45	98	134
		Mar	3	10	157	5	0	43	
		Des	26	85	52	261	137	134	
		Des	26	85	52	261	137	134	

13	1994	Jan	26	<b>86</b>	40	27	0	38	61
		Mar	24	15	<b>130</b>	8	0	38	
		Mar	12	0	<b>51</b>	<b>135</b>	0	47	
		Jan	24	25	19	37	<b>164</b>	61	
14	1995	Feb	28	<b>212</b>	176	225	207	205	205
		Feb	28	<b>212</b>	<b>176</b>	225	207	205	
		Feb	28	<b>212</b>	176	<b>225</b>	207	205	
		Feb	28	<b>212</b>	176	225	<b>207</b>	205	
15	1996	Feb	4	<b>200</b>	105	0	10	79	136
		Feb	12	0	<b>144</b>	0	0	36	
		Des	19	<b>87</b>	<b>62</b>	<b>200</b>	<b>113</b>	<b>116</b>	
		Des	13	136	138	125	<b>146</b>	136	
16	1997	Jan	17	<b>101</b>	43	35	80	65	76
		Feb	13	0	<b>91</b>	64	0	39	
		Feb	22	80	56	<b>130</b>	32	75	
		Feb	23	92	43	78	<b>90</b>	76	
17	1998	Okt	5	<b>98</b>	0	0	98	49	65
		Nov	14	9	<b>103</b>	0	13	31	
		Des	30	<b>54</b>	49	<b>126</b>	30	65	
		Okt	5	98	0	0	<b>98</b>	49	
18	1999	Des	12	<b>105</b>	36	0	31	43	121
		Jan	3	25	<b>235</b>	50	6	79	
		Jan	2	28	183	<b>250</b>	21	121	
		Jan	22	41	57	30	<b>83</b>	53	
19	2000	Nov	3	<b>185</b>	0	0	190	94	154
		Feb	3	20	<b>376</b>	200	19	154	
		Feb	3	20	376	<b>200</b>	19	154	
		Nov	3	185	0	0	<b>190</b>	94	
20	2001	Feb	3	<b>145</b>	30	100	26	75	110
		Feb	2	36	<b>200</b>	35	42	78	
		Mar	4	4	149	<b>260</b>	27	110	
		Mar	3	4	80	67	<b>128</b>	70	
21	2002	Jan	2	<b>172</b>	156	190	93	153	153
		Mar	6	0	<b>161</b>	0	0	40	
		Des	28	0	145	<b>200</b>	0	86	
		Feb	2	125	1	15	<b>180</b>	80	
22	2003	Jan	11	<b>107</b>	23	28	121	70	80
		Jan	10	0	<b>210</b>	100	0	78	
		Jan	13	47	64	<b>150</b>	60	80	
		Jan	11	<b>107</b>	23	28	<b>121</b>	70	
23	2004	Jan	21	<b>93</b>	0	0	110	51	117
		Jan	20	0	<b>128</b>	0	0	32	
		Feb	4	69	125	<b>200</b>	75	117	
		Jan	21	93	0	0	<b>110</b>	51	
24	2005	Des	20	<b>98</b>	38	0	106	61	75
		Jan	5	9	<b>141</b>	61	12	56	
		Des	19	24	55	<b>200</b>	21	75	
		Mar	25	96	0	0	<b>147</b>	61	
25	2006	Des	30	<b>107</b>	103	215	90	129	129
		Des	29	14	<b>110</b>	0	10	34	
		Mar	28	3	66	<b>228</b>	4	75	
		Mar	27	102	5	16	<b>119</b>	61	

26	2007	Des	20	<b>120</b>	55	0	112	72	89
		Jan	2	101	<b>97</b>	75	84	89	
		Feb	21	0	34	<b>160</b>	0	49	
		Feb	2	98	38	82	<b>113</b>	83	
27	2008	Feb	3	<b>137</b>	22	38	149	87	88
		Feb	2	0	<b>181</b>	172	0	88	
		Feb	2	0	181	<b>172</b>	0	88	
		Feb	3	137	22	38	<b>149</b>	87	
28	2009	Jan	17	<b>90</b>	67	5	94	64	84
		Jan	29	17	<b>113</b>	32	14	44	
		Jan	31	40	102	<b>158</b>	35	84	
		Jan	1	72	10	47	<b>95</b>	56	
29	2010	Jan	11	<b>80</b>	51	71	0	51	64
		Jan	19	50	<b>91</b>	78	36	64	
		Jan	12	11	78	<b>89</b>	21	50	
		Sept	6	59	50	8	<b>90</b>	52	
30	2011	Des	27	<b>120</b>	20	22	116	70	91
		Feb	4	22	<b>217</b>	42	25	77	
		Feb	28	78	72	<b>125</b>	90	91	
		Jan	20	118	9	25	<b>133</b>	71	
31	2012	Feb	2	<b>118</b>	39	0	112	67	67
		Mar	14	60	<b>115</b>	67	20	66	
		Mar	19	0	56	<b>80</b>	0	34	
		Feb	2	118	39	0	<b>112</b>	67	
32	2013	Des	10	<b>98</b>	104	0	0	51	118
		Jan	1	80	<b>193</b>	121	78	118	
		Jan	2	72	64	<b>164</b>	75	94	
		Feb	18	97	7	130	<b>93</b>	82	

TABEL HUJAN MAKSIMUM HARIAN RATA-RATA

No	Tahun	Hujan Maks Harian Rata-rata
1	1982	135
2	1983	122
3	1984	135
4	1987	193
5	1988	55
6	1989	112
7	1990	106
8	1991	51
9	1992	64
10	1993	134
11	1994	61
12	1995	205
13	1996	136
14	1997	76
15	1998	65

No	Tahun	Hujan Maks Harian Rata-rata
16	1999	121
17	2000	154
18	2001	110
19	2002	153
20	2003	80
21	2004	117
22	2005	75
23	2006	129
24	2007	89
25	2008	88
26	2009	84
27	2010	64
28	2011	91
29	2012	67
30	2013	118

**B ANALISA FREKUENSI****1 Parameter Statistik ( Pengukuran Dispersi )**

n	Tahun	$X_i$	$X_r$	$(X_i - X_r)$	$(X_i - X_r)^2$	$(X_i - X_r)^3$	$(X_i - X_r)^4$
1	1995	205	106	99	9748	962479	95028790
2	1987	193	106	86	7479	646841	55940930
3	2000	154	106	47	2255	107059	5083523
4	2002	153	106	46	2161	100437	4668626
5	1996	136	106	30	899	26955	808201
6	1982	135	106	28	811	23109	658208
7	1984	135	106	28	797	22505	635402
8	1993	134	106	27	755	20759	570529
9	2006	129	106	22	506	11365	255531
10	1983	122	106	16	255	4083	65263
11	1999	121	106	14	203	2883	41042
12	2013	118	106	12	138	1615	18953
13	2004	117	106	11	121	1325	14552
14	1989	112	106	5	30	165	904
15	2001	110	106	4	14	52	194
16	1990	106	106	-1	1	0	0
17	2011	91	106	-15	226	-3386	50850
18	2007	89	106	-17	290	-4927	83849
19	2008	88	106	-18	325	-5848	105365
20	2009	84	106	-23	507	-11416	257049
21	2003	80	106	-26	677	-17610	458149
22	1997	76	106	-31	931	-28419	867258
23	2005	75	106	-31	978	-30566	955710
24	2012	67	106	-39	1522	-59395	2317398
25	1998	65	106	-42	1724	-71560	2970913
26	1992	64	106	-42	1786	-75508	3191479
27	2010	64	106	-43	1808	-76856	3267660
28	1994	61	106	-45	2027	-91226	4106703
29	1988	55	106	-51	2628	-134743	6907809
30	1991	51	106	-55	3054	-168807	9329387
$\Sigma$		3188			44654	1151364.557	198660229

Nilai rata-rata (  $X_r$  ) :

$$X_r = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{3188}{30} = 106 \text{ mm}$$

Standar Deviasi (  $S_d$  ) :

$$\begin{aligned} S_d &= \sqrt{\left(\frac{\sum (Xi - X_r)^2}{n - 1}\right)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{44654}{30 - 1}\right)} \\ &= 39 \end{aligned}$$

Koefisien Kurtosis (  $C_k$  ) :

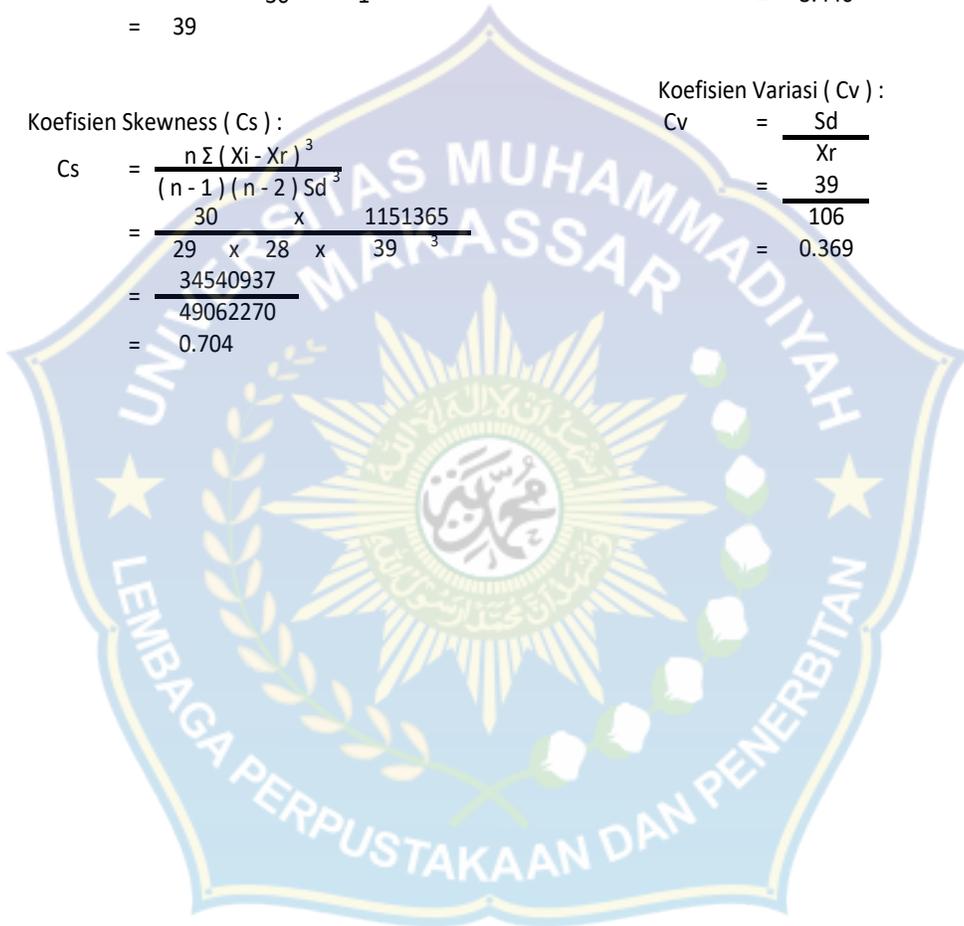
$$\begin{aligned} C_k &= \frac{n^2 \sum (Xi - X_r)^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3) S_d^4} \\ &= \frac{30^2 \times 198660229}{29 \times 28 \times 27 \times 39^4} \\ &= \frac{178794206193}{51980678037} \\ &= 3.440 \end{aligned}$$

Koefisien Skewness (  $C_s$  ) :

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n \sum (Xi - X_r)^3}{(n - 1)(n - 2) S_d^3} \\ &= \frac{30 \times 1151365}{29 \times 28 \times 39^3} \\ &= \frac{34540937}{49062270} \\ &= 0.704 \end{aligned}$$

Koefisien Variasi (  $C_v$  ) :

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{S_d}{X_r} \\ &= \frac{39}{106} \\ &= 0.369 \end{aligned}$$



2 Pengukuran Dispersi dengan Logaritma

n	Tahun	$X_i$	$\log X_i$	$\log X_r$	$(\log X_i - \log X_r)$	$(\log X_i - \log X_r)^2$	$(\log X_i - \log X_r)^3$	$(\log X_i - \log X_r)^4$
1	1995	205	2.312	1.998	0.31371	0.09841	0.03087	0.00968514
2	1987	193	2.285	1.998	0.28695	0.08234	0.02363	0.00677984
3	2000	154	2.187	1.998	0.18877	0.03563	0.00673	0.00126979
4	2002	153	2.184	1.998	0.18594	0.03457	0.00643	0.00119524
5	1996	136	2.134	1.998	0.13629	0.01858	0.00253	0.00034504
6	1982	135	2.130	1.998	0.13148	0.01729	0.00227	0.00029887
7	1984	135	2.129	1.998	0.13068	0.01708	0.00223	0.00029161
8	1993	134	2.126	1.998	0.12825	0.01645	0.00211	0.00027053
9	2006	129	2.110	1.998	0.11170	0.01248	0.00139	0.00015568
10	1983	122	2.087	1.998	0.08920	0.00796	0.00071	0.00006332
11	1999	121	2.081	1.998	0.08294	0.00688	0.00057	0.00004733
12	2013	118	2.072	1.998	0.07384	0.00545	0.00040	0.00002972
13	2004	117	2.069	1.998	0.07107	0.00505	0.00036	0.00002551
14	1989	112	2.048	1.998	0.05020	0.00252	0.00013	0.00000635
15	2001	110	2.041	1.998	0.04335	0.00188	0.00008	0.00000353
16	1990	106	2.023	1.998	0.02521	0.00064	0.00002	0.00000040
17	2011	91	1.960	1.998	-0.03781	0.00143	-0.00005	0.00000204
18	2007	89	1.951	1.998	-0.04744	0.00225	-0.00011	0.00000506
19	2008	88	1.946	1.998	-0.05233	0.00274	-0.00014	0.00000750
20	2009	84	1.923	1.998	-0.07506	0.00563	-0.00042	0.00003174
21	2003	80	1.904	1.998	-0.09360	0.00876	-0.00082	0.00007676
22	1997	76	1.879	1.998	-0.11866	0.01408	-0.00167	0.00019827
23	2005	75	1.875	1.998	-0.12298	0.01513	-0.00186	0.00022877
24	2012	67	1.828	1.998	-0.17035	0.02902	-0.00494	0.00084217
25	1998	65	1.811	1.998	-0.18681	0.03490	-0.00652	0.00121775
26	1992	64	1.806	1.998	-0.19187	0.03681	-0.00706	0.00135514
27	2010	64	1.804	1.998	-0.19357	0.03747	-0.00725	0.00140381
28	1994	61	1.787	1.998	-0.21094	0.04450	-0.00939	0.00197983
29	1988	55	1.740	1.998	-0.25768	0.06640	-0.01711	0.00440900
30	1991	51	1.708	1.998	-0.29048	0.08438	-0.02451	0.00711927
$\Sigma$		3188	59.941			0.74668	-0.00140	0.03934501

Nilai Rata-rata ( Log Xr ) :

$$\text{Log Xr} = \frac{\sum \text{Log Xi}}{n} = \frac{59.941}{30} = 1.998$$

Standar Deviasi ( Sd ) :

$$\begin{aligned} \text{Sd} &= \sqrt{\frac{\sum (\text{Log Xi} - \text{Log Xr})^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{0.74668}{30 - 1}} \\ &= 0.160 \end{aligned}$$

Koefisien Kurtosis ( Ck ) :

$$\begin{aligned} \text{Ck} &= \frac{n^2 \sum (\text{Log Xi} - \text{Log Xr})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3) \text{Sd}^4} \\ &= \frac{30^2 \times 0.03934501}{29 \times 28 \times 27 \times 0.160^4} \\ &= \frac{35.41051}{14.53444} \\ &= 2.436 \end{aligned}$$

Koefisien Skewness ( Cs ) :

$$\begin{aligned} \text{Cs} &= \frac{n \sum (\text{Log Xi} - \text{Log Xr})^3}{(n - 1)(n - 2) \text{Sd}^3} \\ &= \frac{30 \times -0.00140}{29 \times 28 \times 0.160^3} \\ &= \frac{-0.04202}{3.355} \\ &= -0.013 \end{aligned}$$

Koefisien Variasi ( Cv ) :

$$\begin{aligned} \text{Cv} &= \frac{\text{Sd}}{\text{Log Xr}} \\ &= \frac{0.160}{1.998} \\ &= 0.080 \end{aligned}$$

### 3 Menentukan Jenis Distribusi / Uji Parameter Statistik

Jenis Distribusi / Sebaran	Syarat	Hasil Perhitungan	Kesimpulan
Normal	Cs ≈ 0 Ck ≈ 3	0.704 3.440	Tidak Memenuhi
Gumbel	Cs = 1.1396 Ck = 5.4002	0.704 3.440	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs = Cv <sup>3</sup> + 3 Cv Ck = Cv <sup>8</sup> + 5Cv <sup>6</sup> + 15 Cv <sup>4</sup> + 16 Cv <sup>2</sup> + 3	0.241 3.104	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Selain dari nilai-nilai diatas	Cs = -0.013 Ck = 2.436	Memenuhi

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa jenis distribusi yang dapat digunakan adalah **Metode Log Pearson tipe III**

### Analisa Jenis Distribusi

#### Metode Log Pearson tipe III

$$\log X_T = \log X_r + G \times S_d$$

Dimana :

G = Konstanta Log Pearson tipe III berdasarkan nilai Koefisien Kepeccngan ( Cs )

Tabel nilai G untuk Cs = -0.013 ( Interpolasi )

Cs	Periode Ulang ( Tahun )						
	2	5	10	25	50	100	200
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.013	0.002	0.841	1.280	1.747	2.047	2.317	2.564
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482

Tabel Hasil Perhitungan nilai X untuk setiap kala ulang ( T ) tahun

T	Log X <sub>r</sub>	G	S <sub>d</sub>	Log X <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>
2	1.998	0.002	0.160	1.998	99.629
5	1.998	0.841	0.160	2.133	135.842
10	1.998	1.280	0.160	2.204	159.777
25	1.998	1.747	0.160	2.278	189.806
50	1.998	2.047	0.160	2.327	212.103
100	1.998	2.317	0.160	2.370	234.310
200	1.998	2.564	0.160	2.410	256.746

### C ANALISA INTENSITAS HUJAN

#### Metode Mononobe

Rumus :

$$I = \frac{R}{24} \left( \frac{24}{t_c} \right)^{2/3}$$

Dimana :

- I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)
- R = Curah Hujan Rancangan (mm)
- t = Lama waktu konsentrasi

diketahui :

R <sub>2</sub>	=	99.629	mm
R <sub>5</sub>	=	135.842	mm
R <sub>10</sub>	=	159.777	mm
R <sub>25</sub>	=	189.806	mm
R <sub>50</sub>	=	212.103	mm
R <sub>100</sub>	=	234.310	mm
R <sub>200</sub>	=	256.746	mm

Contoh Perhitungan untuk t = 5 menit

$$t = 5 \text{ menit}$$

$$I_2 = \frac{99.629}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 181.038 \text{ mm/jam}$$

$$I_5 = \frac{135.842}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 246.841 \text{ mm/jam}$$

$$I_{10} = \frac{159.777}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 290.335 \text{ mm/jam}$$

$$I_{25} = \frac{189.806}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 344.900 \text{ mm/jam}$$

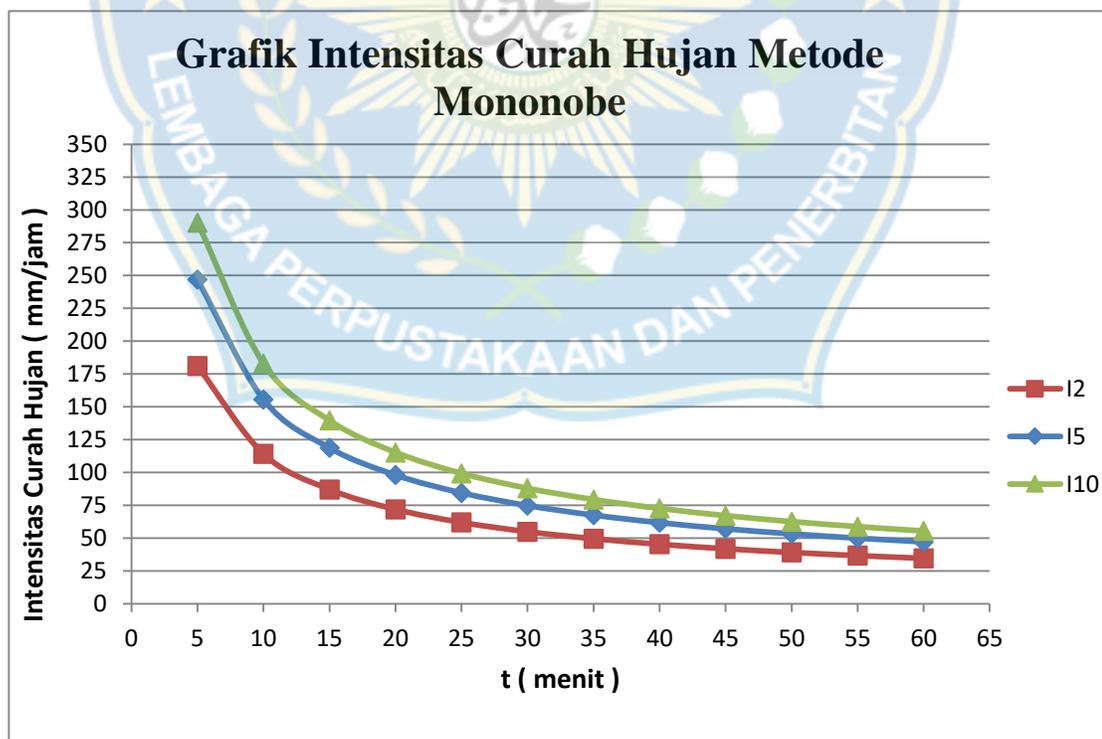
$$I_{50} = \frac{212.103}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 385.417 \text{ mm/jam}$$

$$I_{100} = \frac{234.310}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 425.769 \text{ mm/jam}$$

$$I_{200} = \frac{256.746}{24} \left( \frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 466.539 \text{ mm/jam}$$

Tabel Rekapitulasi Hasil Perhitungan Intensitas curah hujan metode Mononobe :

No	Waktu (menit)	$I_2$ mm/jam	$I_5$ mm/jam	$I_{10}$ mm/jam	$I_{25}$ mm/jam	$I_{50}$ mm/jam	$I_{100}$ mm/jam	$I_{200}$ mm/jam
1	5	181.038	246.841	290.335	344.900	385.417	425.769	466.539
2	10	114.047	155.500	182.899	217.273	242.797	268.218	293.901
3	15	87.034	118.669	139.578	165.811	185.289	204.688	224.288
4	20	71.845	97.959	115.219	136.874	152.953	168.967	185.146
5	25	61.914	84.418	99.293	117.954	131.811	145.611	159.554
6	30	54.828	74.757	87.929	104.454	116.725	128.946	141.293
7	35	49.473	67.456	79.341	94.253	105.325	116.352	127.494
8	40	45.260	61.710	72.584	86.225	96.354	106.442	116.635
9	45	41.842	57.050	67.102	79.713	89.078	98.404	107.827
10	50	39.004	53.180	62.551	74.306	83.036	91.729	100.513
11	55	36.602	49.906	58.700	69.732	77.924	86.082	94.325
12	60	34.540	47.094	55.392	65.802	73.532	81.231	89.009
13	65	32.745	44.647	52.513	62.383	69.711	77.010	84.384
14	70	31.166	42.494	49.982	59.376	66.351	73.297	80.316
15	75	29.765	40.584	47.735	56.706	63.368	70.002	76.706
16	80	28.512	38.875	45.725	54.318	60.699	67.054	73.475
17	85	27.382	37.335	43.914	52.167	58.295	64.398	70.565
18	90	26.359	35.939	42.272	50.216	56.115	61.991	67.927



## DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENELITIAN



PENGAMBILAN SAMPEL TANAH



PENGUJIAN SAMPEL TANAH DI  
LAB. UNIBOS



PENGAMBILAN SAMPEL  
MENGUNAKAN KALENG SUSU



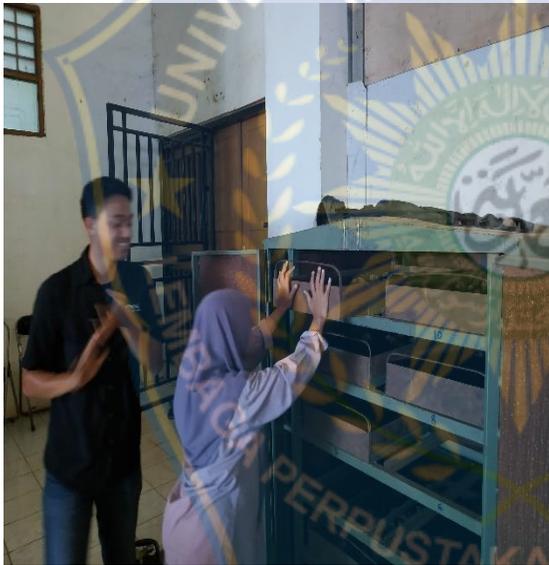
PENGAMBILAN TANAH DALAM  
SKALA BESAR



PROSES PENJEMURAN TANAH



PENGHANCURAN TANAH



PROSES MENGOVEN TANAH



KALIBRASI ALAT



MEMASUKKAN TANAH KE  
DALAM ALAT SIMULASI



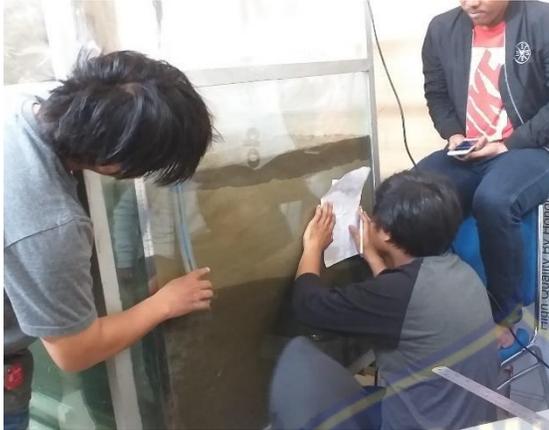
PEMBACAAN AIR SUMUR



PROSES KONSTANNYA AIR  
TANAH



PEMBACAAN AIR KAPILER



PEMBACAAN INFILTRASI



PEMBACAAN AIR SUMUR  
MAKSIMUM



PEMBACAAN AIR KAPILER,  
INFILTRASI, DAN AIR SUMUR  
SETELAH DIHUKANI



PROSES PEMBERSIHAN ALAT



