

SKRIPSI

**ANALISIS TINGKAT ‘KEJUT KAPILER’ MUKA AIR TANAH PADA
TANAH LEMPUNG BERPASIR BERLANAU (*SILTY SANDY CLAY*)
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 :

PUTRI RADHIANA EKO YUSUF

ZAFIERA PARASWATY DJALLE

10581 2217 14

10581 2236 14

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



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

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

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN 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 LEMPUNG BERPASIR BERLANAU (SILTY SANDY CLAY) DENGAN METODE SIMULASI (UJI LABORATORIUM)**

Nama : PUTRI RADHIANA EKO YUSUF
ZAFIERA PARASWATY DJALLE

Stambuk : 105 81 2217 14
105 81 2236 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, e-mail : unismuh@gmail.com

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Putri Radhiana Eko Yusuf dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2217 14 dan Zafiera Praswaty Djalle dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2236 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

27 Syawal 1440 H

Makassar,

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 Thahta, MT.

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Fenty Daud, S, MT

b. Sekertans : Ir. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT

3. Anggota

1. Dr. Ir. Muh. Yunus Ali, ST., MT

2. Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antaria, M.Si

3. Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Dekan

Dr. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 855 500

**ANALISIS TINGKAT “KEJUT KAPILER” MUKA AIR TANAH PADA TANAH LEMPUNG
BERPASIR BERLANAU (*SILTY SANDY CLAY*) DENGAN METODE SIMULASI
(UJI LABORATORIUM)**

Putri Radhiana Eko Yusuf¹, Zafiera Paraswaty Djalle²

Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar

Email : putri_radiana@yahoo.co.id

Mahasiswa Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Makassar

Email : zafieraparaswaty@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 pada tanah lempung berpasir berlanau. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental model fisik laboratorium (*Experimental Research model*), dimana kondisi penelitian didesain dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada sumber-sumber yang berkaitan dengan penelitian tersebut. Penelitian ini menggunakan media jenis tanah lempung berpasir berlanau dan bak kaca ukuran 100 cm x 100 cm, dan *nozzle* sebagai alat simulasi hujan yang disesuaikan dengan intensitas curah hujan yang digunakan yaitu I₅ dengan volume hujan 246,841 mm/jam yang dinamakan alat *rainfall simulation*. 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, jenis 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 ground water level fluctuations, infiltration depth, and capillary pressure in soil silty sandy clay. The research method used was an experimental physical laboratory model (*Experimental Research model*), where the condition of the study is designed and regulated by the researcher with reference to the sources related to the research. This study uses silty sandy clay type media and glass tubs measuring 100 cm x 100 cm and the nozzle as a rain simulation tool that is adjusted to the intensity of rainfall used is I₅ with a rainfall volume of 246,841 mm/hour called the rainfall simulation tool. From the results of the observation that ground water drops when capillary pressure is still ongoing, but when the soil is saturated, the ground water starts to increase until it is parallel to the ground surface.

Keywords: Capillary shock, type of soil, frequency of rain, capillary pressure

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Ujian Akhir 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 LEMPUNG BERPASIR BERLANAU (SILTY SANDY CLAY) 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.

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.

Tekhusus kepada 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 terima kasih 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

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Klasifikasi Tanah	6
1. Gradasi Tanah	7
2. Sistem Klasifikasi AASHTO	8
3. Sifat Dan Karakteristik Tanah Lempung Berpasir Berlanau	10
B. Teori Tekanan Kapiler	13
1. Pengertian Tekanan Kapiler	13
2. Pengaruh Tekanan Kapiler Terhadap Sifat Hidrolik Tanah.....	14
C. Teori Kejut Kapiler	16
1. Pengertian Kejut Kapiler	16
2. Mekanisme Dan Proses Terjadinya Kejut Kapiler.....	17

D. Intensitas Curah Hujan Dan Parameter Infiltrasi	18
1. Pengertian Intensitas Hujan	18
2. Frekuensi Hujan	20
3. Laju Infiltrasi.....	21
4. Kapasitas Infiltrasi	22
 BAB III METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	25
B. Tempat Penelitian.....	25
C. Variabel Penelitian.....	25
D. Definisi Operasional Variabel.....	27
E. Rancangan Penelitian.....	30
F. Teknik Pengumpulan Data.....	34
G. Teknik Analisa Data.....	35
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Pengamatan	37
1. Karakteristik Tanah.....	37
2. Hasil Pengamatan Uji Laboratorium.....	40
a. Fluktuasi Muka Air Tanah.....	40
b. Kedalaman Infiltrasi	45
c. Peningkatan Tekanan Kapiler.....	47
B. Pembahasan.....	50
1. Fluktuasi Muka Air Tanah.....	50

2. Kedalaman Infiltrasi	51
3. Peningkatan Tekanan Kapiler.....	52

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	53
B. Saran.....	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DOKUMENTASI



DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 1	Sistem Klasifikasi AASHTO	9
Tabel 2	Ketinggian Air Kapiler.....	16
Tabel 3	Hasil Analisa Saringan.....	38
Tabel 4	Hasil Analisis Hidrometer.....	38
Tabel 5	Hasil Pengamatan Kadar Air Tanah, Berat isi dan Berat Jenis	39
Tabel 6	Hasil Pengamatan Batas-batas Atterberg.....	40
Tabel 7	Hasil Pengamatan Fluktuasi Muka Air Tanah.....	41
Tabel 8	Hasil Pengamatan Kedalaman Infiltrasi.....	45
Tabel 9	Hasil Pengamatan Tekanan Kapiler.....	48



DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
Gambar 1	Diagram Kapilaritas Air dalam Tanah	15
Gambar 2	Zona Air Lapisan Tanah.....	17
Gambar 3	Kurva Infiltrasi	24
Gambar 4	Skema Hubungan Variabel Penelitian.....	27
Gambar 5	Sketsa Alat dan Model	30
Gambar 6	Bagan Alir Penelitian	36
Gambar 7	Grafik Gabungan Hasil Analisa Saringan dan Hidrometer.....	39
Gambar 8	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Pertama)	42
Gambar 9	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Kedua).....	42
Gambar 10	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Ketiga).....	43
Gambar 11	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Keempat).....	43
Gambar 12	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Kelima).....	44
Gambar 13	Grafk Gabungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan 1-5)	44
Gambar 14	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Kedalaman Infiltrasi (Hujan Pertama)	46
Gambar 15	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Kedalaman Infiltrasi (Hujan Kedua).....	46
Gambar 16	Grafik Gabungan Waktu Hujan VS Kedalaman Infiltrasi (Hujan 1-2)	47

Gambar 17	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Peningkatan Tekanan Kapiler (Hujan Pertama)	49
Gambar 18	Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Peningkatan Tekanan Kapiler (Kedua).....	49
Gambar 19	Grafik Gabungan Waktu Hujan VS Peningkatan Tekanan Kapiler (Hujan 1-2)	50



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
μ	Mikro
LL	Liquid Limit
PI	<i>Plasticity Index</i>
Δ	Delta
ρ	Rho
σ	Sigma
θ	Theta
α	Alpha
\int	Integral
cm	<i>Centimeter</i>
ml	Mililiter
γ	Gamma
PL	<i>Plastic Limit</i>
GS	<i>Spesific Grafity</i>
GW	<i>Groundwater Level</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan substansi yang paling umum di atas bumi dan diperlukan untuk semua kehidupan. Tanah terletak di daerah atmosfer. Litosfer memainkan peranan penting dalam menentukan jumlah presipitasi yang mengalir lahan dan jumlah yang meresap ke dalam tanah untuk disimpan serta digunakan di masa mendatang kadar air tanah ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah (Henry D. Foth, 1994).

Proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah disebut infiltrasi. Sedangkan gerakan air di dalam tanah karena ada gaya gravitasi disebut perkolasi. Tanah pada kedalaman tertentu selalu dijenuhi air yang disebut dengan air tanah. Melalui profil, kedalaman air tanah yang diduga berdasarkan tinggi muka air tanah yang selalu mengalami periode naik turun sesuai dengan keadaan musim atau faktor lingkungan luar lainnya.

Air tanah telah diklasifikasikan sebagai air higroskopis, kapiler, dan gravitasi. Air higroskopis adalah pada permukaan butir tanah dan tidak dapat bergerak secara berarti oleh kekuatan gravitasi atau kapilaritas. Air kapiler adalah yang merupakan bagian kelebihan air higroskopis yang ada di dalam rongga tanah dan tertahan oleh gaya gravitasi dalam tanah sehingga membolehkan tidak terhalangnya drainase. Air

gravitasi merupakan bagian kelebihan air higroskopis dan kapiler yang akan siap bergerak keluar tanah jika drainase yang baik tersedia.

Menurut Driscoll (1987), secara umum fenomena keberadaan air tanah dibagi dalam dua tipe, yaitu air pada *vadose zone* dan air pada *phreatic zone*. *Vadose zone*, dibagi menjadi tiga tipe air: air tanah (*soil water*), *intermediate vadose water*, dan air kapiler. Pada *phreatic zone* atau *saturated zone* (Zona jenuh air) terdapat air tanah (*groundwater*).

Turunnya permukaan air tanah (freatis) pada saat hujan pertama sampai hujan yang keempat atau kelima. Kejadian ini penulis berikan istilah “kejut kapiler” (Darwis dkk. 2012; 2013), yang mana kejadiannya memberikan kejutan karena bertolak belakang dengan adanya hujan, justru air tanah jenuh permukaannya mengalami penurunan (degradasi). 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.

Eksistensi jenis tanah lempung berpasir berlanau merupakan salah satu jenis tanah dengan permeabilitas yang kecil. Oleh karena itu, perilaku tekanan kapiler di dalam lapisan lempung berpasir berlanau penting untuk diamati.

Mengingat begitu besarnya pengaruh tekanan kapiler di dalam pembentukan air tanah, maka diperlukan analisa yang lebih spesifik terhadap pengaruh kejut kapiler dalam pembentukan air tanah, maka perlu melakukan pengujian eksperimental. Salah satu faktor yang penting untuk diteliti adalah “**Analisis Tingkat ‘Kejut Kapiler’**”

Muka Air Tanah pada Lempung Berpasir Berlanau (Silty Sandy Clay) 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 lempung berpasir berlanau?
2. Bagaimana hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lempung berpasir berlanau?
3. Bagaimana hubungan frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lempung berpasir berlanau?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui hubungan frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lempung berpasir berlanau.

2. Mengetahui hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lempung berpasir berlanau.
3. Mengetahui hubungan frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler yang diamati sesaat setelah diujani sampai mencapai kondisi stabil pada tanah lempung berpasir berlanau.

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 bidang 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 lempung berpasir berlanau.

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 diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Tanah juga merupakan benda yang tidak homogen, sangat bervariasi baik secara fisik: warna, tekstur, maupun secara kimia atau kandungan mineralnya. Usaha untuk membedakan tanah berdasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya disebut mengklasifikasi tanah. Klasifikasi tanah dapat dibedakan menjadi klasifikasi alami dan klasifikasi teknis (Hardjowigeno, 1987).

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995). Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979).

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan *AASHTO (American Association of State Highway and*

Transportation Officials). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

1. Gradasi Tanah

Menurut Fakhli (2014), gradasi tanah atau biasa disebut gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran agregat. Gradasi agregat berpengaruh pada besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workabilitas (kemudahan dalam pekerjaan) serta stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan, dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawat per inchi persegi dari saringan tersebut.

Berdasarkan butiran tanah yang telah di analisa saringan maka gradasi agregat dapat dibedakan atas (Fakhli, 2014) :

a. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam merupakan 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. Gradasi agregat ini memiliki daya serap tinggi sehingga air mudah meresap ke dalam tanah maka laju dan kapasitas infiltrasi yang dihasilkan semakin besar.

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*). Bentuk gradasi yang sedikit rongga/ruang kosong sehingga air susah meresap ke dalam tanah maka laju dan kapasitas infiltrasi semakin kecil.

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

Dalam buku Mekanika Tanah 1, Hary Cristiadi Hardiyatmo (2012) mengemukakan bahwa sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO, dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Sistem Klasifikasi AASHTO (Hary Crisiyadi Hardiyatmo, 2012)

Klasifikasi umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempong (>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
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	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	
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	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 berlempong dan pasir		tanah berlanau		tanah berlempong		
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 PL > 30, klasifikasinya A-7-5;
 untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.
 np = nonplastis

Indeks kelompok (*group index*, GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (Hary Christady Hardiyatmo, 2012) :

$$GI = (F-35)[0,2 + 0,005 (LL-40)] + 0,01 (F-15)(PI-10) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no. 20 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

3. Sifat dan Karakteristik Tanah Lempung Berpasir Berlanau

a. Lempung

Lempung adalah komposisi dari partikel mineral *elongate* berdimensi koloid, yang umumnya ukurannya kurang dari 2μ (Gillott, 1968). Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokopis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. 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).

Menurut Laurence D. Wesley (2012), lempung adalah suatu istilah yang digunakan pada tanah berbutir halus yang bersifat kohesi, plastis, dan tidak mengandung 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.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 1992) adalah sebagai berikut :

- 1) Ukuran butir halus, yaitu 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.

b. Pasir

Batuan pasir merupakan sedimen lepas dari butir mineral dan pecahan batuan. Butir itu biasanya tersusun dari kuarsa (Bell, 2007). Pada beberapa keadaan, pasir hanya terdiri atas butiran-butiran yang seukuran, sehingga disebut pasir seragam (Laurence D. Wesley, 2012). Batuan pasir terbentuk dari material yang berukuran pasir yang diameternya mencapai 0,06 sampai 2 mm (Goodman, 1993).

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.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah pasir (AAK, 1993) adalah sebagai berikut :

- 1) Ukuran butir-butir pasir adalah 0,002 mm – 2,0 mm
- 2) Tekstur tanah pasir adalah kasar

- 3) Kohesi dan konsistensi (ketahanan terhadap proses pemisahan) pasir sangat kecil sehingga mudah terkikis oleh air atau angin

c. Lanau

Menurut Laurence D. Wesley (2012), lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir. Lanau bersifat kurang plastis dibanding lempung (lanau “asli” sebenarnya tidak memiliki sifat plastis). Lanau memiliki permeabilitas yang lebih tinggi. Lanau juga menunjukkan sifat-sifat khusus, yaitu *quick behavior* dan dilatasi yang tidak ditemukan pada lempung. *Quick behavior* menunjukkan kecenderungan lanau untuk menjadi cair ketika digetarkan, dan dilatasi merupakan kecenderungan untuk mengalami penambahan volume ketika berubah bentuk. Lanau adalah suatu istilah yang digunakan seperti istilah lempung dan kadar lanau adalah bagian (menurut perbandingan berat) yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,06 mm.

Sifat-sifat yang dimiliki lanau adalah sebagai berikut (Das, 1991) :

- 1) Ukuran butir halus, antara 0,002-0,05 mm
- 2) Bersifat kohesif
- 3) Kenaikan air kapiler yang cukup tinggi, antara 0,76-7,6 m
- 4) Permeabilitas rendah
- 5) Potensi kembang susut rendah sampai sedang
- 6) Proses penurunan lambat

Pada tanah lempung berpasir berlanau persentase didominasi oleh partikel lempung, pasir dan juga terdapat sedikit kandungan lanau. Menurut Hanafiah

(2005), pada tanah lempung berpasir akan terasa agak jelas dan juga akan membentuk bola yang agak keras tetapi akan mudah hancur. Jadi, tanah lempung berpasir berlanau memiliki sifat permeabilitas cenderung sedang, sifat kohesif sedang, plastisitasnya sedang, dan konsolidasinya lambat. Selama infiltrasi, muka basah dari kandungan air tanah yang lebih tinggi akan bergerak turun melalui tanah selama waktu tertentu. Perilaku tekanan kapiler pada tanah lempung berpasir berlanau relatif rumit. Untuk tanah dengan tekstur halus agak kasar dengan distribusi ukuran pori yang agak sempit, muka basah akan tersebar.

Dengan menggunakan media tanah lempung berpasir berlanau dilakukan pengujian terhadap fenomena kejut kapiler, yang diamati secara langsung dengan alat simulasi di laboratorium.

B. Teori Tekanan Kapiler

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 bercampur (cairan-cairan atau gas-cairan) sebagai akibat dari terjadinya pertemuan permukaan yang memisahkan cair dan gas. Perbedaan tekanan dua fluida ini adalah perbedaan tekanan antara fluida *non wetting* fasa (P_{nw}) dengan fluida *wetting* fasa (P_w) atau:

$$P_c = P_{nw} - P_w \dots\dots\dots (2)$$

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

$$P_c = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r} = \Delta\rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

P_c = tekanan kapiler

σ = tegangan permukaan antara dua fluida

$\Delta\rho$ = perbedaan densitas dua fluida

g = percepatan gravitasi

θ = sudut kontak permukaan antara dua fluida

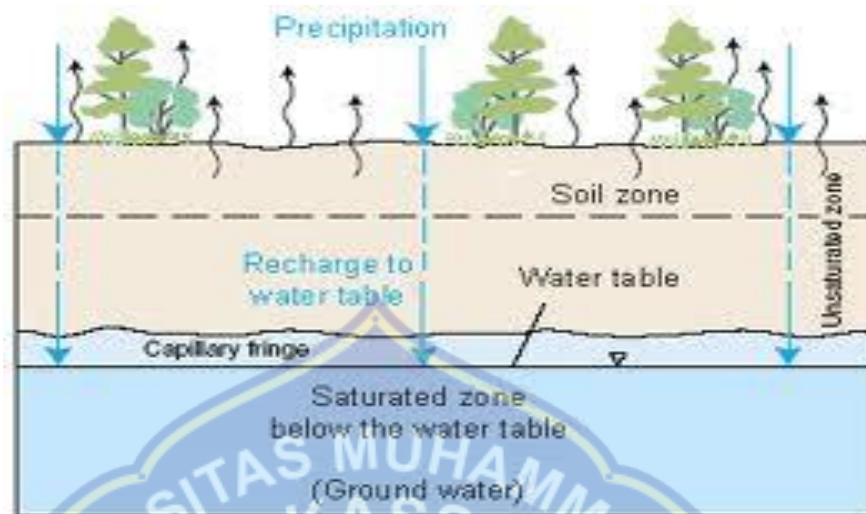
r = jari-jari lengkung pori-pori

h = selisih ketinggian permukaan kedua fluida

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 $h_{c(\maks)}$, tanah dapat bersifat jenuh sebagian (*partially saturated*). Terzaghi dan Peck (1948) memberikan hubungan pendekatan antara h_c (maks) dan diameter butiran sbb :

$$h_c = \frac{C}{e \cdot D_{10}} (\text{mm}) \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- h_c = tinggi air dalam pipa kapiler (mm)
- C = konstanta (C bervariasi antara 10-50 mm^2)
- D_{10} = diameter efektif (mm)
- e = angka pori tanah

Hansbo (1975) menyarankan tinggi air kapiler untuk berbagai macam tanah dapat dilihat dalam penyajian pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Ketinggian air kapiler (*Hansbo, 1975*)

Jenis 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	> 10 m

Pengaruh tekanan kapiler pada tanah adalah menambah tegangan efektif. Jika tekanan kapiler membesar, maka tegangan kontak di antara partikel juga membesar. Akibatnya, ketahanan tanah terhadap gaya geser atau kuat geser tanah menjadi bertambah.

C. Teori Kejut Kapiler

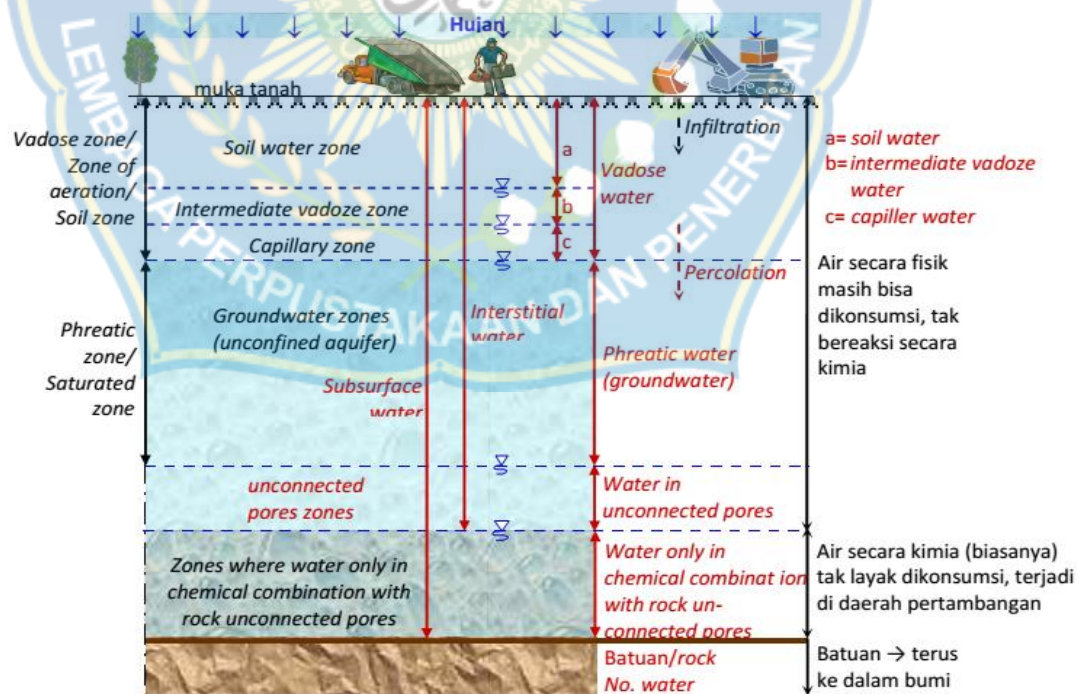
1. Pengertian Kejut Kapiler

Penelitian ini dilaksanakan untuk menjawab tantangan atas terjadinya degradasi air tanah untuk irigasi pertanian dan upaya konservasi air tanah di Kabupaten Takalar selama 4 (empat) tahun terakhir, penulis menemukan suatu fenomena cukup ganjil yang terjadi terhadap eksistensi air tanah freatis pada saat awal musim hujan (Darwis, 2018).

Istilah kejut kapiler (*capillary shock*) telah penulis perkenalkan sejak tahun 2014, yang didefinisikan sebagai “gejala penurunan muka air tanah yang terjadi pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*) (Darwis et al., 2014).

2. Mekanisme dan Proses Terjadi Kejut Kapiler

Kejut kapiler yang mana kejadiannya memberikan kejutan karena bertolak belakang dengan adanya hujan, justru air tanah jenuh permukaannya mengalami penurunan (degradasi). Menurut Darwis (2017a), bahwa gejala kejut kapiler disebabkan meningkatnya tekanan kapiler akibat mengecilnya pori tanah pada *vadose zone*, sehingga air tanah yang berada pada *saturated zone* akan terhisap (tertarik) ke lapisan tanah *unsaturated*, sehingga menurunkan muka air tanah yang signifikan.



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

Fenomena “kejut kapiler” ini dapat dikemukakan beberapa sintesa yang dapat menjadi dasar ilmiah sebagai berikut (Darwis, 2015) :

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

D. Intensitas Curah Hujan dan Parameter Infiltrasi

1. Pengertian Intensitas Curah Hujan

Menurut Florence (2015), intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi

pada masa lampau. Untuk menghitung intensitas curah hujan dapat digunakan beberapa rumus empiris sebagai berikut (Florence, 2015) :

a. Rumus Talbot

Rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan terapan-terapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang terukur.

$$i = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

i = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

a & b = konstanta yang tergantung lamanya hujan terjadi di DAS

b. Rumus Sherman

Rumus ini mungkin cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$i = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

i = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

a dan n = konstanta

c. Persamaan Ishiguro

$$i = \frac{a}{b + \sqrt{t}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

i = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

a dan b = konstanta

d. Persamaan Mononobe

Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian maka digunakan perhitungan mononobe :

$$i = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

i = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum (mm)

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.

Menurut Harto (1993), 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. 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.

3. Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi adalah banyaknya air per satuan waktu yang 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 penambah air di permukaan tanah melampaui laju infiltrasi tertinggi. Laju infiltrasi maksimum dinamakan kapasitas infiltrasi (Horton, 1971).

Tanah yang berbeda-beda menyebabkan air meresap dengan laju yang berbeda-beda. 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).

4. Kapasitas infiltrasi

Menurut Kartasapoetra (1989), 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.

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah (Sosrodarsono, 2003). Banyaknya air persatuan waktu yang masuk melalui permukaan tanah disebut sebagai laju infiltrasi. Pada saat tanah masih kering, laju infiltrasi cenderung tinggi kemudian setelah tanah jenuh air laju infiltrasi menurun dan menjadi konstan. Laju infiltrasi konstan atau laju infiltrasi maksimum disebut sebagai kapasitas infiltrasi (Arsyad, 2010; Sosrodarsono, 2003).

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.

Pada umumnya tanah liat memiliki ukuran pori halus, sedangkan pasir memiliki ukuran pori besar dan sedikit halus, sehingga kapasitas infiltrasi pada pasir lebih besar dari pada tanah liat.

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

a. Persamaan Horton

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

$$F_t = \int_0^t f(t) \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

F_t = Kapasitas Infiltrasi (mm/menit)

f = Laju infiltrasi (mm/menit)

t = Waktu (menit)

b. Persamaan Philip

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

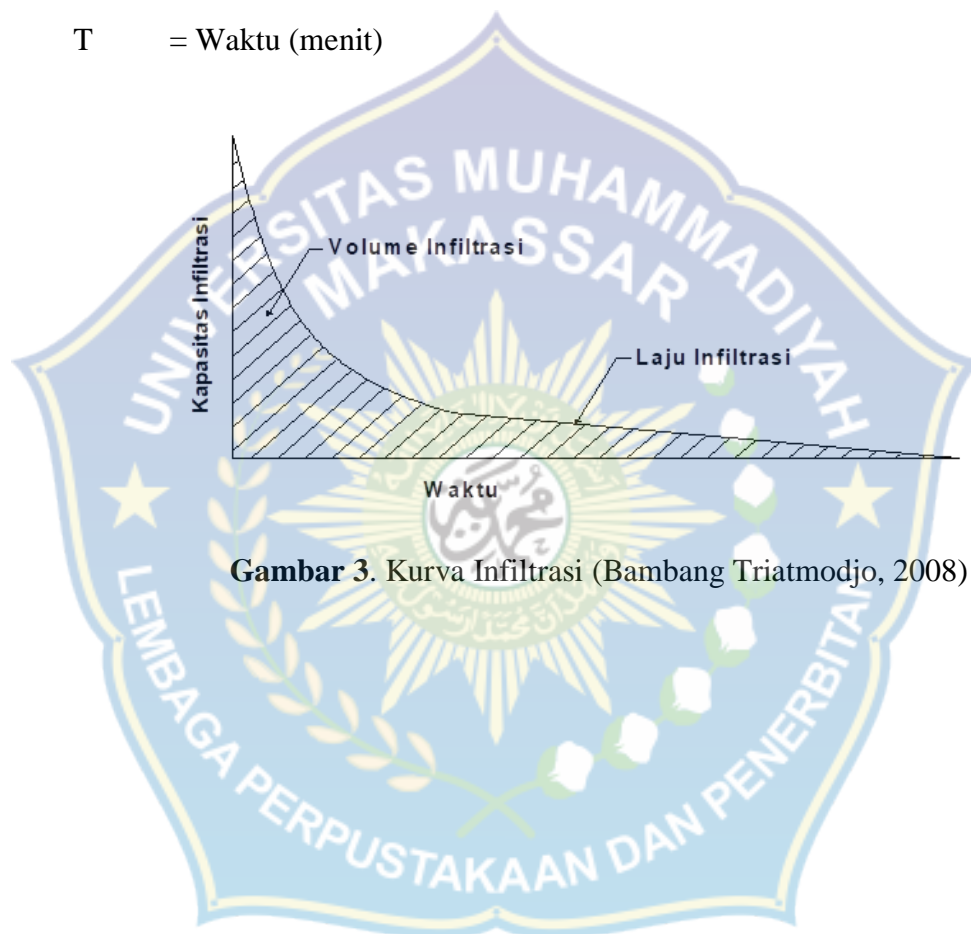
$$F_p = C + D t^{-0,5} \dots\dots\dots (10)$$

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

Penggolongan jenis penelitian menurut proses berlangsungnya prosedur penelitian, dibagi menjadi 3 (tiga) macam penelitian yaitu: penelitian historis, penelitian eksperimen, penelitian survei. Penelitian eksperimen (*experimental research*) yaitu suatu penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang terkontrol secara ketat (Tuckman, 1972 : 128-156).

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam bentuk penelitian eksperimental model (*model experimental research*) tentang “Analisis Tingkat ‘Kejut Kapiler’ Muka Air Tanah pada Tanah Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*)”. Penelitian ini menggunakan hujan buatan dari alat simulasi yang didesain dan dibuat khusus (*specific equipment*).

B. Tempat Penelitian

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

C. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah suatu atribut, sifat atau nilai dari orang, obyek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang diterapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2012).

Pada penelitian ini telah ditentukan 2 (dua) variabel, yaitu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*).

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

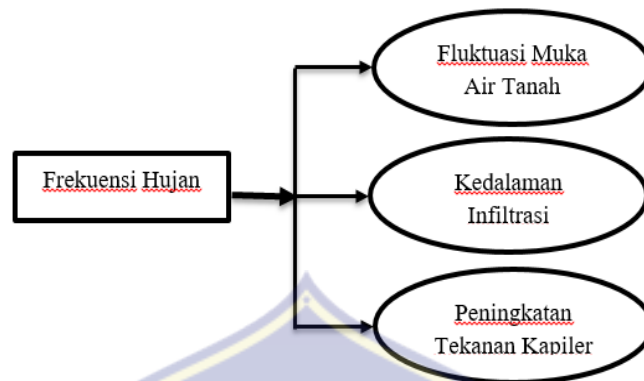
Menurut Sugiyono (2011), variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (*independent variable*). Variabel bebas pada penelitian ini, yaitu frekuensi hujan.

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 digambar dengan skema 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 Sri Harto, BR (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.

2. Fluktuasi Muka Air Tanah

Untuk tujuan rekayasa geoteknik, tanah biasanya dibagi menjadi dua golongan, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Masing-masing golongan dibagi lagi menjadi dua jenis. Tanah berbutir kasar terdiri atas kerikil dan/atau pasir dan biasanya disebut bahan granular atau tanah tidak berkohesif. Tanah berbutir halus terdiri dari lanau dan lempung dan sering disebut tanah berkohesif (Wesley, 2012).

Jenis tanah yang digunakan yaitu tanah dengan komposisi lempung yang lebih dominan dan pasir lanau yang lebih sedikit, tanah ini disebut tanah lempung pasir berlanau.

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.

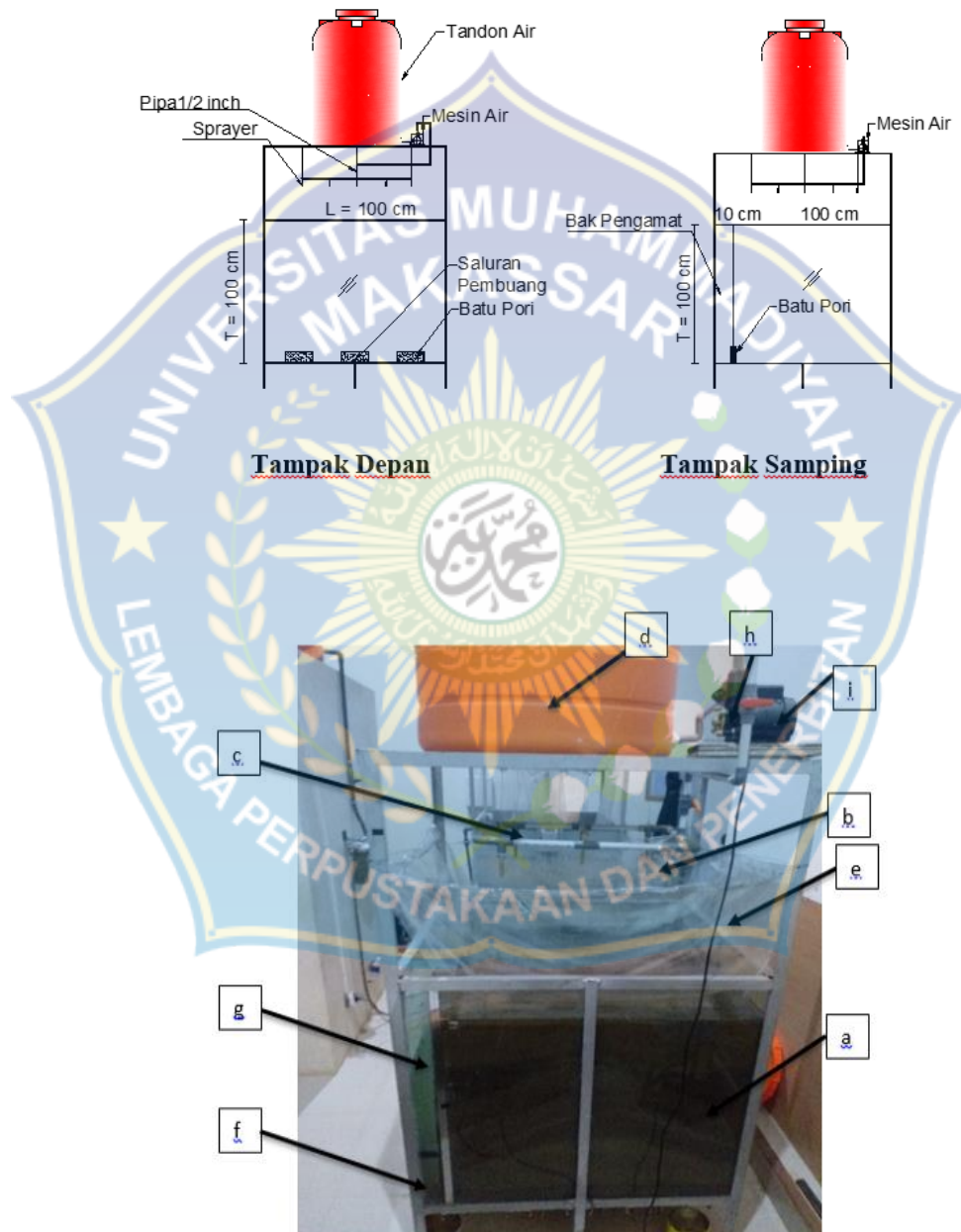
Intensitas hujan berpengaruh terhadap kesempatan air untuk masuk ke dalam tanah, maka semua air mempunyai kesempatan untuk masuk ke dalam tanah. Sebaliknya bila intensitas hujan lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas infiltrasi, maka sebagian air yang jatuh ke permukaan tanah tidak mempunyai kesempatan 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 dan Model

Alat Pengujian Komponen

- 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
- 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 hujan yang digunakan yaitu $I_5 = 246,841$ mm/jam yang dapat dilihat di lampiran data curah hujan. Penyesuaian intensitas curah hujan dengan volume air, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume Hujan} = I \times t \times A$$

I : intensitas hujan = 246,841 mm/jam

t : waktu = 60 menit

A : luas permukaan tanah = 1.000.000 mm²

$$\begin{aligned} \text{Volume hujan tiap jam : } V &= \frac{246,481}{60} \times 60 \times 1.000.000 \\ &= 246.481.000 \text{ mm}^3 \\ &= 246.481 \text{ cm}^3 \\ &= 246.481 \text{ ml} \\ V &= 246,481 \text{ Liter} \end{aligned}$$

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

- a) Tanah yang sudah kering dimasukkan ke dalam bak tanah dengan ketebalan lapisan tanah sekitar 80 cm dengan volume bak tanah sebesar 7,2 m³ dan dikalikan berat jenis rata rata sebesar 2,621 yang hasilnya sebesar 18,87 m³.
- 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 dihujani, 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 dihujani 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*), antara lain: *grain size* (ukuran butir), angka pori (e), kadar air (w), berat jenis (γ), 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 *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

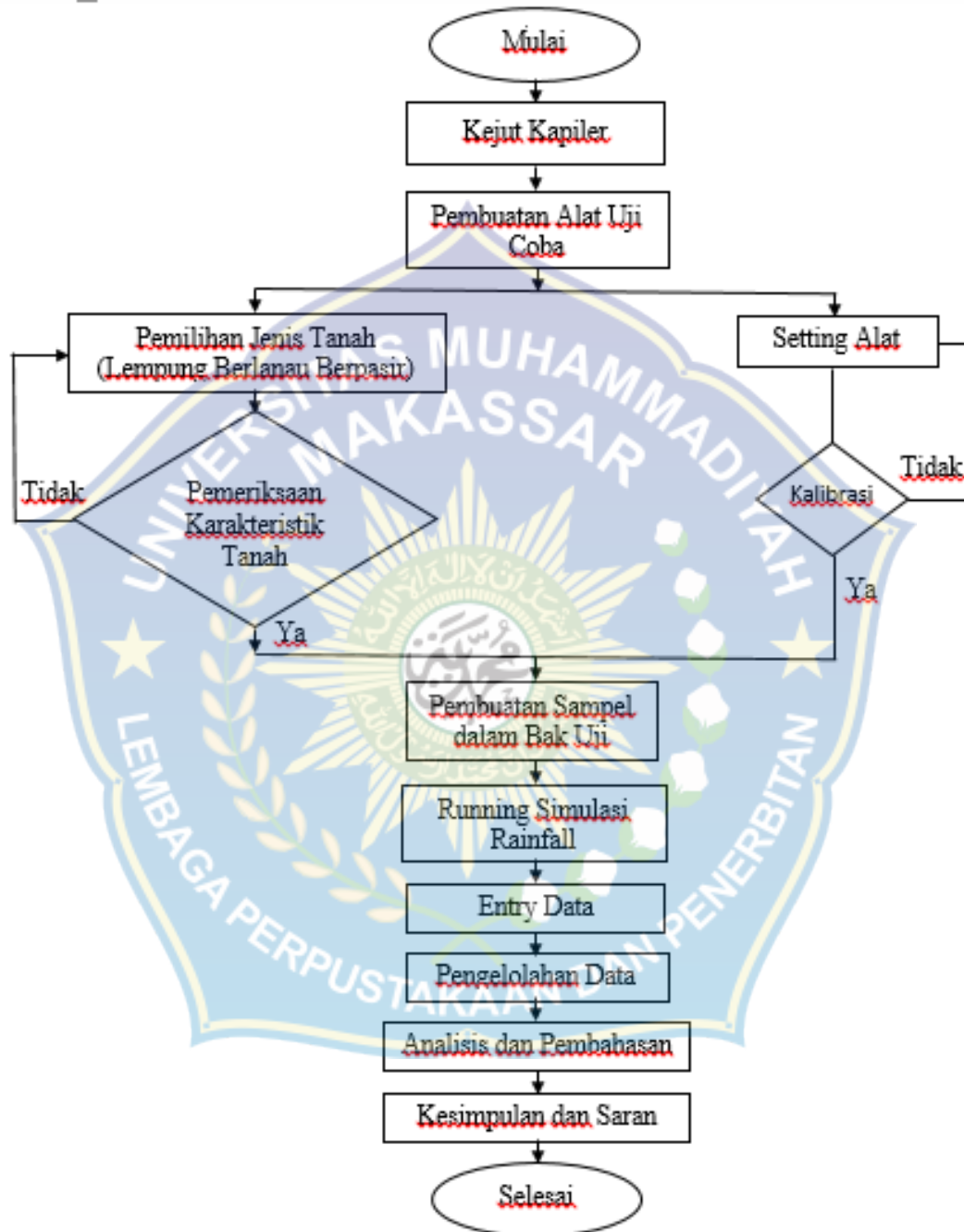
G. Teknik Analisa Data

Data hasil pengamatan akan diolah dengan metode statistik biasa, baik dalam perhitungan numerik maupun dalam penggambaran fluktuasi level zona-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, diamati sesaat setelah dihujani sampai mencapai kondisi stabil.
2. Hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi yang diamati sesaat setelah dihujani sampai mencapai kondisi stabil.
3. Hubungan frekuensi hujan dengan peningkatan tekanan kapiler yang diamati sesaat setelah dihujani sampai mencapai kondisi stabil.

BAGAN ALIR PENELITIAN



Gambar 6. Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan dengan menggunakan alat uji desain model alat simulasi hujan buatan pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, didapatkan hasil berupa turunya muka air tanah pada awal musim penghujan (*beginning of rainy season*) disebut kejut kapiler, yang disebabkan meningkatnya tekanan kapiler akibat mengecilnya pori pada tanah. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui kemampuan reaksi kejut kapiler pada tanah Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*).

A. Hasil Pengamatan

1. Karakteristik Tanah

Menurut Hanifah (2005) Tanah lempung berpasir berlanau memiliki sifat permeabilitas cenderung sedang, sifat kohesif sedang, plastisitasnya sedang, dan konsolidasinya lambat. Selama infiltrasi, muka basah dari kandungan air tanah yang lebih tinggi bergerak turun melalui tanah selama waktu tertentu. Perilaku tekanan kapiler pada tanah lempung berpasir berlanau relatif rumit.

Dari hasil pengamatan sampel tanah pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Bosowa dengan pengujian mekanika tanah, dimana terdiri dari pemeriksaan kadar air, berat isi, berat jenis, analisa saringan dan hidrometer didapatkan hasil karakteristik tanah lempung berpasir berlanau dengan hasil klasifikasi tanah AASHTO tipe A-6. Hasil pengujian di laboratorium diperoleh data: batas plastis (PL) = 18,54%, batas cair (LL) = 31,61%, adapun data yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

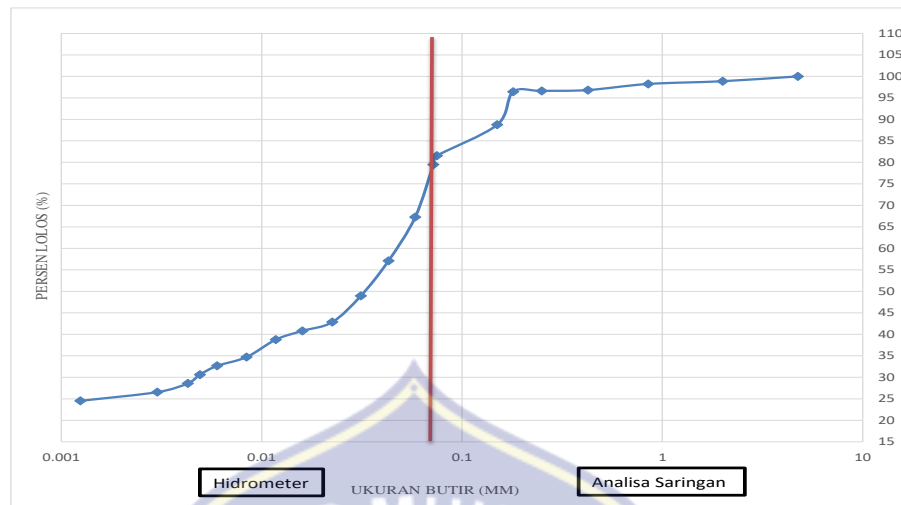
Tabel 3. Hasil Analisa Saringan

Parameter	Berat (gram)
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	92.3
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	407.70

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	5.6	5.6	1.12	98.88
18	0.85	3.2	8.8	1.76	98.24
40	0.43	7.1	15.9	3.18	96.82
60	0.25	1.0	16.9	3.38	96.62
80	0.18	1.0	17.9	3.58	96.42
100	0.15	38.3	56.2	11.24	88.76
200	0.075	36.1	92.3	18.46	81.54
Pan	-	407.7	500	100.00	0.00
Berat total W1		500			

Tabel 4. Hasil Analisis Hidrometer

Waktu (menit)	T (°C)	R	Rcp	% Butiran halus $\frac{a.Rcp}{W_s} \times 100\%$	Rcl	L (cm)	K	$D = K(L/t)^{0.5}$
0.3	29	37	39	79.48	38	10.1	0.01240	0.07195
0.5	29	31	33	67.27	32	11.1	0.01240	0.05842
1	29	26	28	57.09	27	12.0	0.01240	0.04295
2	29	22	24	48.95	23	12.7	0.01240	0.03125
4	29	19	21	42.85	20	13.2	0.01240	0.02253
8	29	18	20	40.81	19	13.3	0.01240	0.01599
15	29	17	19	38.77	18	13.5	0.01240	0.01176
30	29	15	17	34.70	16	13.8	0.01240	0.00841
60	29	14	16	32.67	15	14.0	0.01240	0.00599
90	29	13	15	30.63	14	14.2	0.01240	0.00493
120	29	12	14	28.60	13	14.3	0.01240	0.00428
240	29	11	13	26.56	12	14.2	0.01240	0.00302
1440	29	10	12	24.53	11	14.5	0.01240	0.00124



Gambar 7. Grafik Gabungan Hasil Analisa Saringan dan Hidrometer

Dari hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer yang terdapat pada grafik menunjukkan bahwa jumlah persentase dengan menggunakan berbagai saringan, maka didapatkan tanah fraksi kasar dengan diameter dari 4,75 mm-0,075 sebesar 18,46%, fraksi sedang dengan diameter 0,01176 mm-0,07195 mm sebesar 18,46%, fraksi halus dengan diameter 0,00124 mm-0,00841 mm sebesar 63,08%. Dengan menggunakan uji hidrometer dapat mengetahui ukuran butir tanah yang lebih kecil dari butiran yang lolos ayakan 200.

Tabel 5. Hasil Pengamatan Kadar air, Berat isi dan Berat jenis

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Pemeriksaan kadar air mula-mula	25.26	%
2	Pemeriksaan Berat Isi		
	1. Dry Density (γ_d)	1.31	g/cm^3
	2. Kadar Air (Water Content)	26.91	%
	3. Wet Density (γ_{wet})	1.66	g/cm^3
	4. Void Ratio	1.00	%
	5. Porositas (n)	50.01	%
	6. Derajat Kejenuhan (sr)	70.72	%
3	Pengujian berat jenis (Specific Gravity (GS)).	2.62	-

Tabel 6. Hasil Pengamatan Batas-batas Atterberg

Parameter	Nilai	Satuan
1. Batas Cair (LL)	31.61	%
2. Batas Plastis (PL)	18.54	%
3. Indeks Plastisitas (PI)	13.06	%
4. Activity	0.65	%

2. Hasil Pengamatan Uji Laboratorium

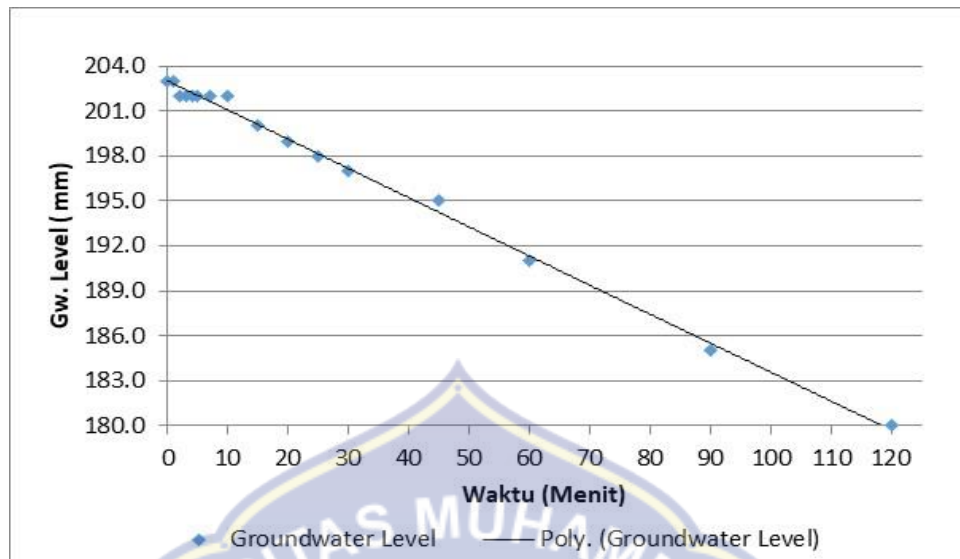
Hasil pengamatan dengan menggunakan desain alat simulasi kejut kapiler pada laboratorim Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, intensitas curah hujan yang digunakan adalah (I_5) = 246,841 mm/jam yang dapat dilihat di lampiran data curah hujan, dengan periode 5 kali hujan dalam waktu secara bertahap.

a. Fluktuasi Muka Air Tanah

Analisis fluktuasi muka air tanah dilakukan dengan simulasi hujan pertama sampai hujan kelima, waktu setiap hujan selama 15 menit dengan kapasitas air yang turun 61,62 liter, uraian mengenai hasil pengamatan fluktuasi muka air tanah dapat dijelaskan pada tabel berikut :

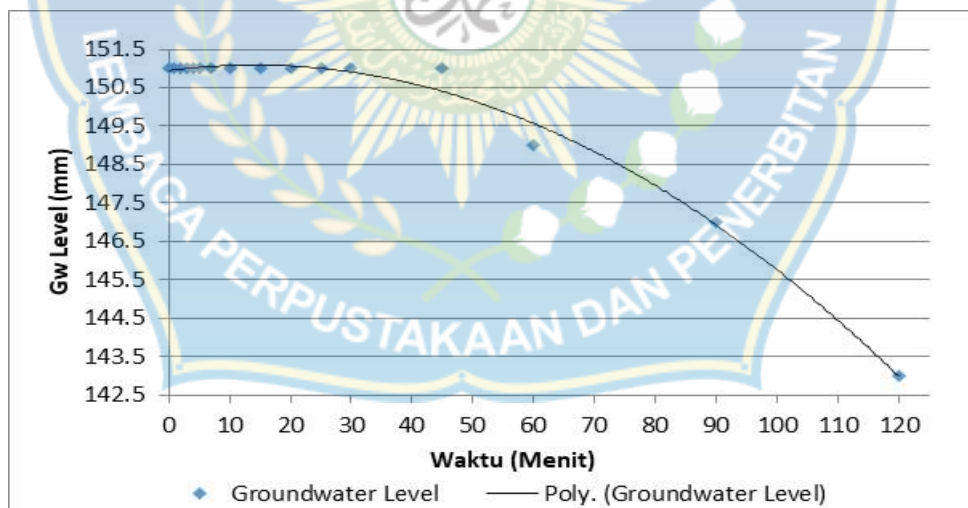
Tabel 7. Hasil Pengamatan Fluktuasi Muka Air Tanah (GW Level)

Duration After Rain (minutes)	Groundwater Level (mm)				
	Hujan Pertama	Hujan Kedua	Hujan Ketiga	Hujan Keempat	Hujan Kelima
0'	203	151	85	213	518
1'	203	151	85	213	521
2'	202	151	85	214	524
3'	202	151	85	214	526
4'	202	151	85	217	526
5'	202	151	85	217	533
7'	202	151	85	220	539
10'	202	151	85	223	549
15'	200	151	85	231	565
20'	199	151	85	245	581
25'	198	151	89	245	597
30'	197	151	95	258	610
45'	195	151	120	293	649
60'	191	149	173	333	685
90'	185	147	201	411	741
120'	180	143	203	434	748
180'			205		



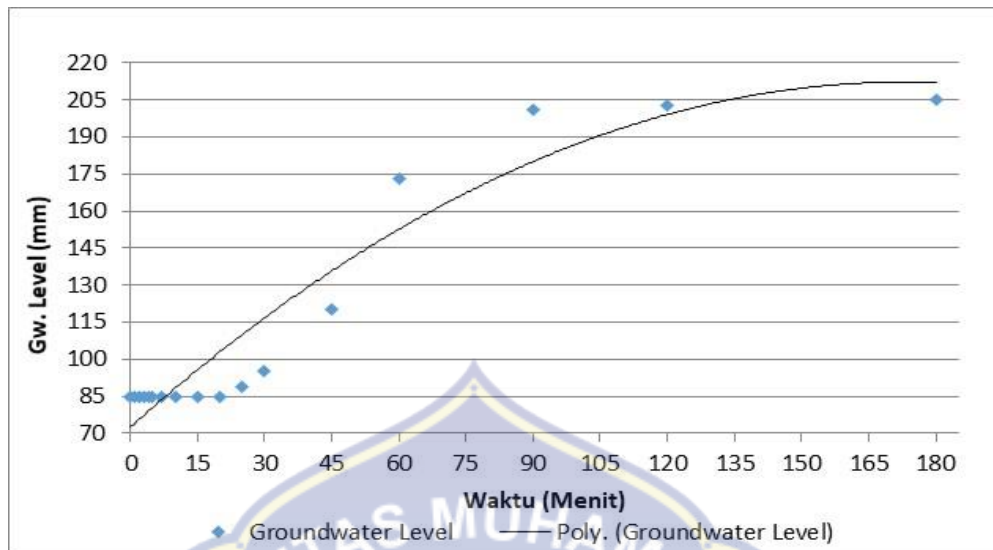
Gambar 8. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Pertama)

Grafik di atas menjelaskan bahwa *groundwater level* hujan pertama mengalami penurunan dari menit ke 0 yaitu 203 mm sampai menit ke 120 yaitu 180 mm.



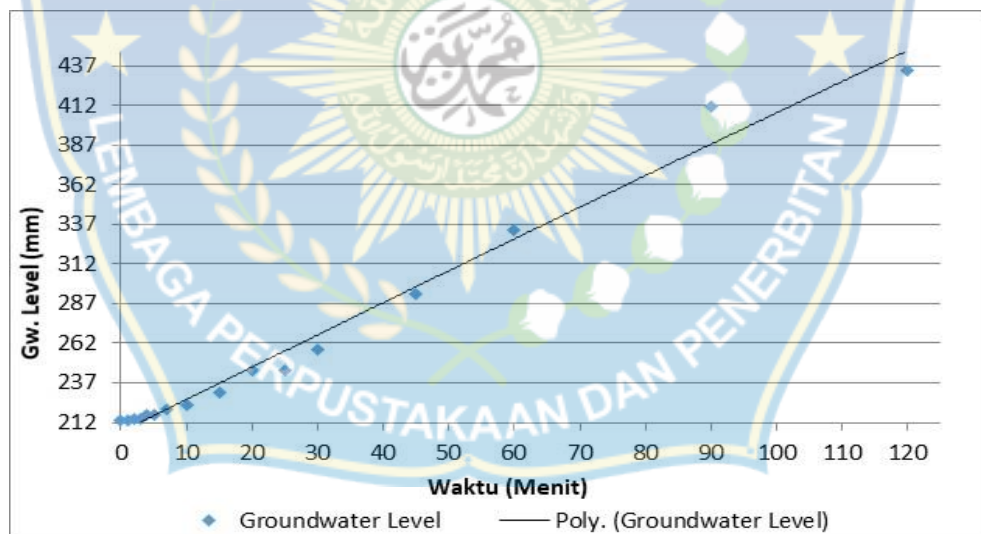
Gambar 9. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Kedua)

Grafik diatas menjelaskan bahwa *groundwater level* hujan kedua masih mengalami penurunan dari menit ke 0 yaitu 151 mm sampai menit ke 120 yaitu 143 mm.



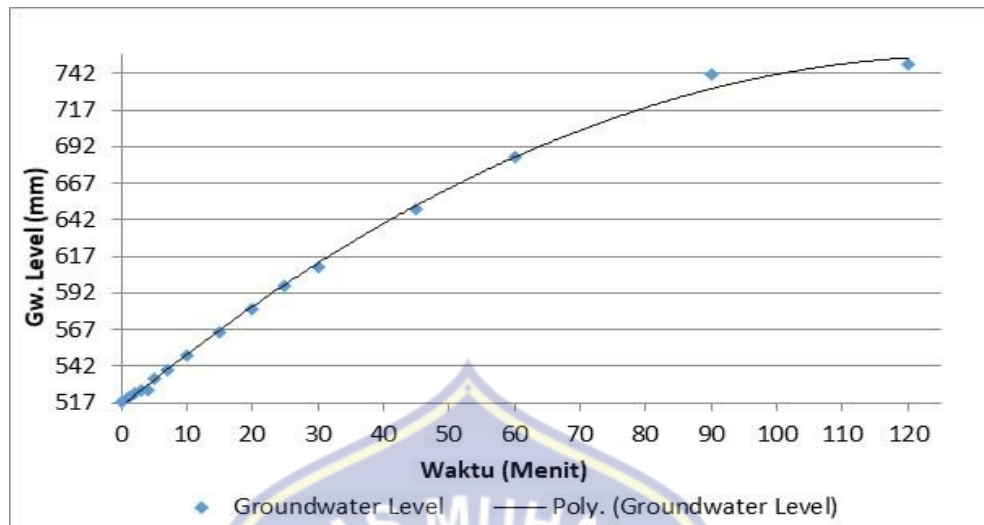
Gambar 10. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Ketiga)

Grafik diatas menjelaskan bahwa hujan ketiga *groundwater level* mulai naik pada menit 25 yaitu 89 mm sampai menit ke 180 yaitu 205 mm.



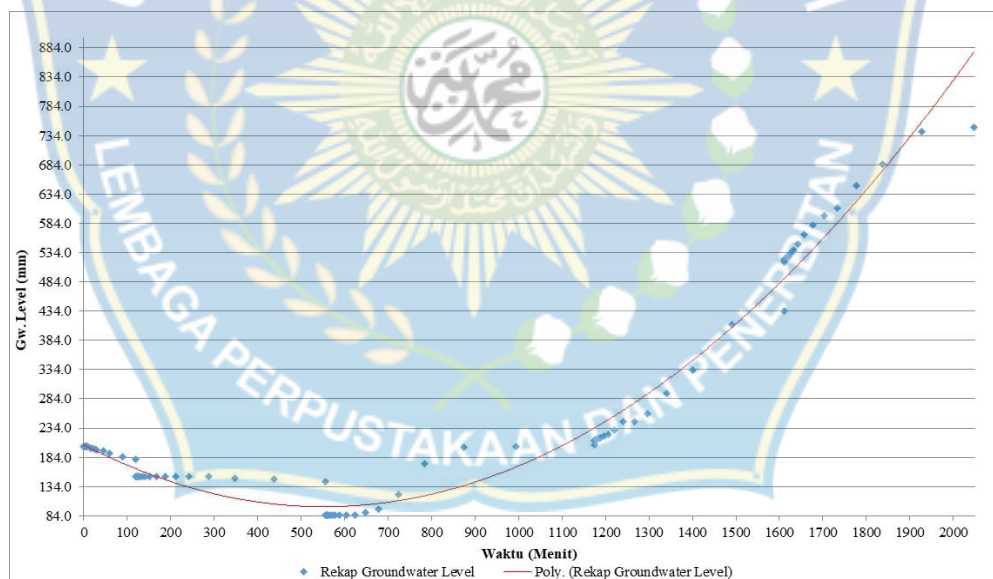
Gambar 11. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Keempat)

Grafik diatas menjelaskan bahwa hujan keempat *groundwater level* masih mengalami kenaikan mulai dari menit ke 0 yaitu 213 mm sampai menit 120 yaitu 434 mm.



Gambar 12. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan Kelima)

Grafik di atas menjelaskan bahwa hujan kelima *groundwater level* terus naik mulai dari menit ke 0 yaitu 518 mm sampai menit ke 120 yaitu 748 mm.



Gambar 13. Grafik Gabungan Waktu Hujan VS Fluktuasi Muka Air Tanah (Hujan 1-5)

Grafik di atas menjelaskan bahwa hujan pertama sampai hujan kelima fluktuasi muka air tanah terjadi mulai dari menit 0 sampai menit ke 2048.

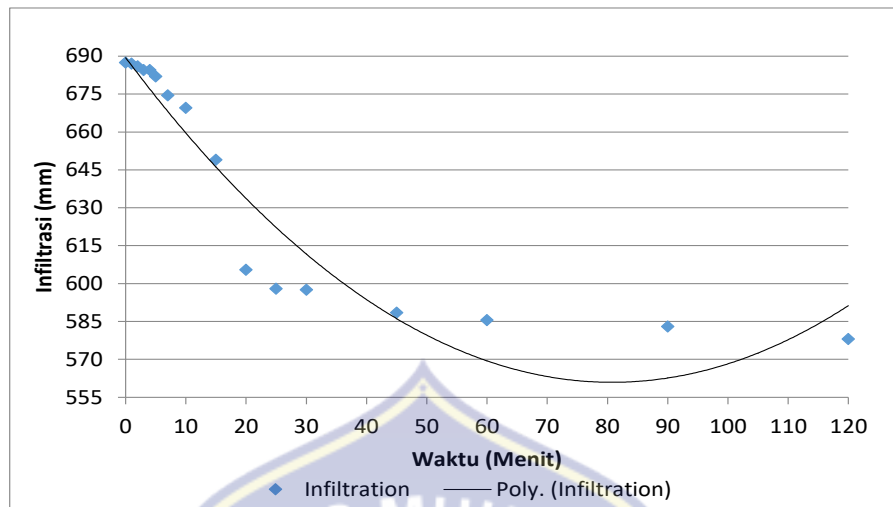
b. Kedalaman Infiltrasi

Pembacaan kedalaman infiltrasi pada penelitian ini yang terjadi setelah dihujani dari hujan pertama sampai hujan kedua dalam waktu setiap hujan selama 15 menit dengan kapasitas air yang turun 61,62 liter, hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Pengamatan Kedalaman Infiltrasi

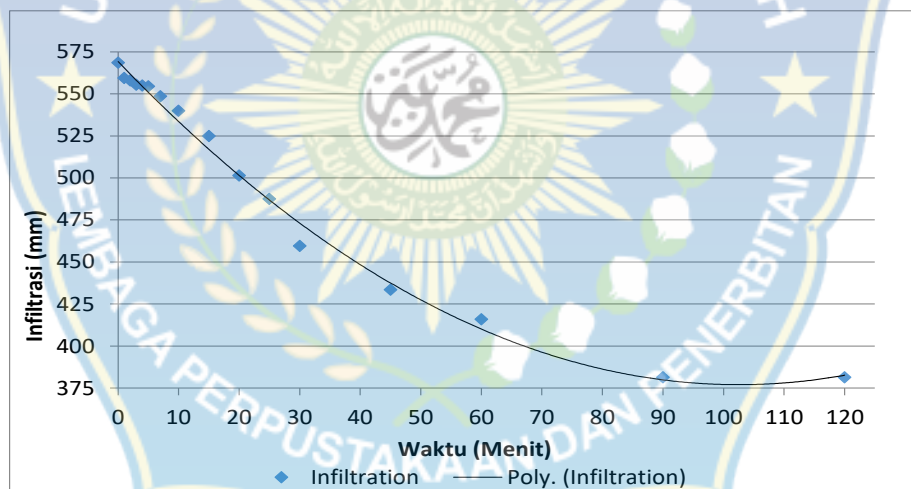
Duration After Rain (minutes)	Kedalaman Infiltrasi (mm)	
	Hujan Pertama (109 mm)	Hujan Kedua (187 mm)
0'	113	232
1'	113	241
2'	114	242
3'	116	245
4'	116	245
5'	118	246
7'	126	252
10'	131	260
15'	151	275
20'	195	299
25'	202	313
30'	203	341
45'	212	367
60'	215	384
90'	217	419
120'	222	419

Pada hujan ketiga zona infiltrasi telah bertemu dengan zona kapiler sehingga menyulitkan pengamatan terhadap dua variabel tersebut.



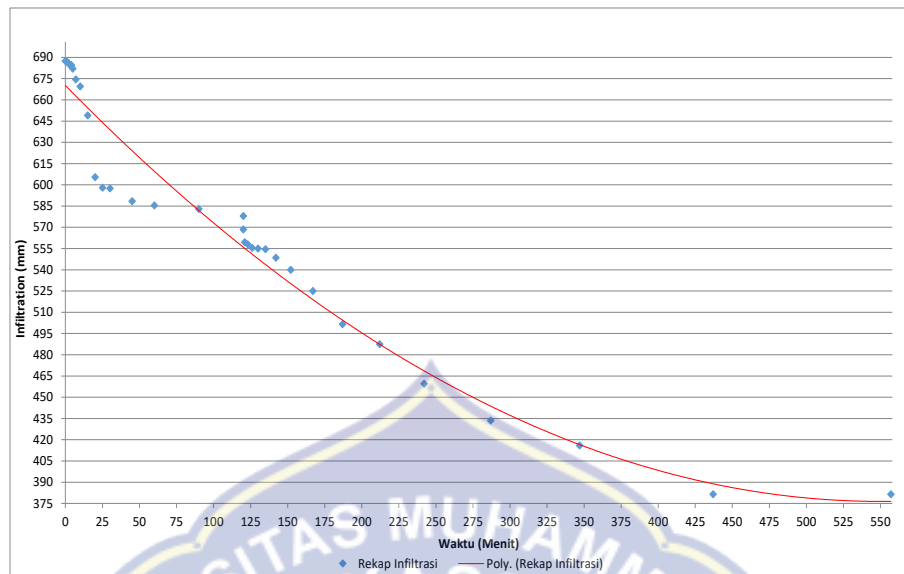
Gambar 14. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Kedalaman Infiltrasi (Hujan Pertama)

Kedalaman infiltrasi yang terjadi pada hujan pertama pada menit 0 sebesar 688 mm sampai pada menit ke 120 sebesar 578 mm.



Gambar 15. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Kedalaman Infiltrasi (Hujan Kedua)

Kedalaman infiltrasi yang terjadi pada hujan kedua pada menit 0 sebesar 568 mm sampai pada menit ke 120 sebesar 385 mm.



Gambar 16. Grafik Gabungan Waktu Hujan VS Kedalaman Infiltrasi (Hujan 1-2)

Grafik di atas menjelaskan bahwa kedalaman infiltrasi yang terjadi dari hujan pertama sampai hujan kedua terus bertambah.

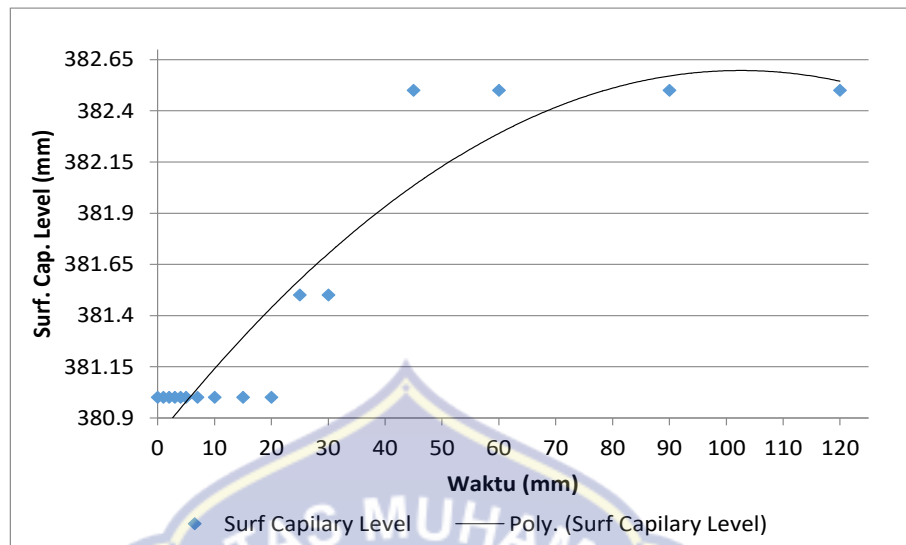
c. Peningkatan Tekanan Kapiler

Peningkatan tekanan kapiler yang dilakukan dengan simulasi hujan pertama sampai hujan kedua dalam waktu setiap hujan yaitu 15 menit dengan kapasitas air yang turun 61,62 liter, setelah dihujani peningkatan tekanan kapiler yang terjadi dapat diuraikan hasil sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil Pengamatan Tekanan Kapiler

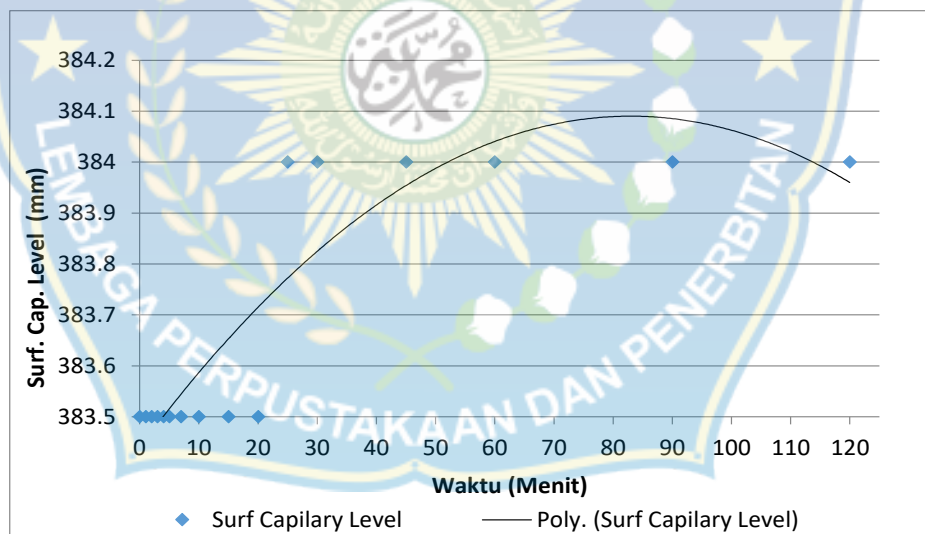
Duration After Rain (minutes)	Peningkatan Tekanan Kapiler (mm)	
	Hujan Pertama (2 mm)	Hujan Kedua (0 mm)
0'	381	384
1'	381	384
2'	381	384
3'	381	384
4'	381	384
5'	381	384
7'	381	384
10'	381	384
15'	381	384
20'	381	384
25'	382	384
30'	382	384
45'	383	384
60'	383	384
90'	383	384
120'	383	384

Pada hujan kedua air kapiler semakin meningkat dan bertemu dengan air yang telah terinfiltrasi, sehingga pada hujan ketiga menyulitkan pengamatan terhadap variabel peningkatan tekanan kapiler.



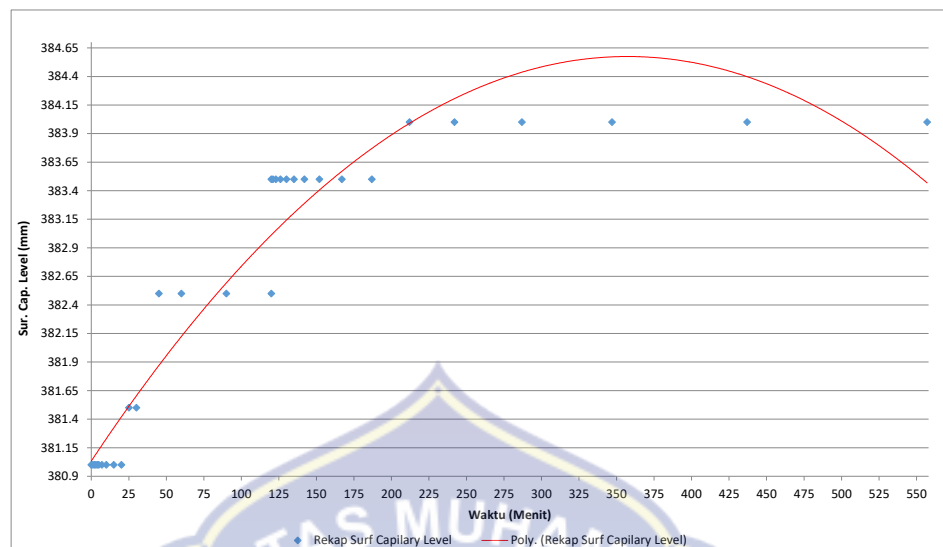
Gambar 17. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Peningkatan Tekanan Kapiler (Hujan Pertama)

Peningkatan tekanan kapiler pada hujan pertama dari menit ke 0 sampai menit 120 sebesar 2 mm.



Gambar 18. Grafik Hubungan Waktu Hujan VS Peningkatan Tekanan Kapiler (Hujan Kedua)

Peningkatan tekanan kapiler pada hujan kedua dari menit ke 0 sampai menit ke 120 sebesar 1 mm.



Gambar 19. Grafik Gabungan Hubungan Waktu Hujan VS Peningkatan Tekanan Kapiler (Hujan 1-2)

Grafik di atas menjelaskan bahwa yang bertambah adalah kedalaman infiltrasi sedangkan tekanan kapiler cenderung menurun.

B. Pembahasan

1. Fluktuasi Muka Air Tanah

Berdasarkan hasil penelitian muka air tanah yang diujikan dengan 5 kali periode hujan dalam waktu secara bertahap, hasil yang didapatkan dalam uji laboratorium yaitu, *groundwater level* pada hujan pertama setelah diamati dalam waktu 2 jam dari menit ke 0 sampai menit ke 120, kapasitas air yang turun 61,62 liter, *groundwater level* mengalami penurunan. Terjadinya penurunan muka air tanah pada awal hujan diakibatkan karena sebagian pori tanah terisi air, 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, pada periode hujan pertama ini terjadinya kejut kapiler, karena turunnya air sumur dan

naiknya air kapiler pada awal penghujan. Periode hujan kedua yang dihujani dengan kapasitas air yang turun 61,62 liter selama 15 menit, *groundwater level* tidak bergerak atau mengalami stagnan dari menit ke 0 sampai menit ke 45, kemudian mengalami penurunan atau degradasi pada menit ke 60 sampai menit ke 120. Periode hujan ketiga yang dihujani dengan kapasitas air 61,62 liter selama 15 menit, air yang turun pada menit ke 0 sampai menit ke 20 tidak bergerak, kemudian mengalami kenaikan pada menit ke 25 sampai menit ke 180, pada periode ini terjadinya *recovery* atau kembali ke titik awal pada menit ke 120. Periode hujan keempat yang dihujani dengan kapasitas air 61,62 liter selama 15 menit, *groundwater level* terus mengalami kenaikan. Pada periode hujan kelima yang dihujani dengan kapasitas air 61,62 liter selama 15 menit, pergerakan *groundwater level* semakin meningkat, hingga mencapai maksimum atau setara dengan permukaan tanah.

2. Kedalaman Infiltrasi

Pada tanah lempung berpasir berlanau mempunyai sifat permeabilitas sedang, yaitu mampu meloloskan air dalam tanah. Dari hasil pengamatan pada saat dihujani di periode hujan pertama, air yang tergenang di atas permukaan tanah mulai masuk ke dalam tanah yang disebut *infiltration change*. Pergerakan infiltrasi setelah dihujani selama 15 menit dengan kapasitas air yang turun 61,62 liter yang diamati dalam waktu 120 menit, air yang masuk ke dalam tanah setinggi 109,5 mm. Infiltrasi yang terjadi pada periode hujan kedua yang dihujani dalam waktu 15 menit dengan kapasitas air 61,62 liter yang diamati

selama 120 menit, air yang tergenang di atas permukaan tanah semakin menembus ke dalam tanah sedalam 187 mm.

3. Peningkatan Tekanan Kapiler

Pada tanah lempung berpasir berlanau mempunyai sifat tanah yang memiliki tekanan kapiler relatif rumit dan distribusi ukuran pori yang agak sempit, sehingga muka basah akan tersebar. Dari hasil pengamatan pada peningkatan tekanan kapiler yang telah diamati dari menit ke 0 sampai menit ke 120 setiap hujan, terjadi pada hujan pertama sampai hujan kedua. *Surface capillary level* mengalami kenaikan 2 mm dari menit ke 25 sampai menit ke 120, pada hujan pertama yang disebabkan air yang telah terinfiltrasi menutup pori-pori pada tanah, sehingga meningkatnya tekanan kapiler pada tanah. Pada periode hujan pertama ini dapat dinyatakan bahwa terjadinya kejut kapiler, karena turunnya air sumur dan naiknya air kapiler pada awal penghujan. Pada periode hujan kedua saat dihujani selama 15 menit, *Surface capillary level* bertambah 1 mm. *Surface capillary level* yang terjadi pada hujan kedua ini tidak lagi mengalami perubahan sampai menit ke 120.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

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

1. Hubungan antara frekuensi hujan dengan fluktuasi muka air tanah, memperlihatkan degradasi muka air tanah (fenomena kejut kapiler) yang terjadi pada hujan pertama dan kedua. Selanjutnya muka air tanah meningkat dan terus berlangsung sampai pada hujan kelima.
2. Hubungan frekuensi hujan dengan kedalaman infiltrasi, mulai pada hujan pertama sampai hujan kedua terus bertambah. Namun pada awal hujan ketiga 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 pada peningkatan tekanan kapiler, saat hujan pertama mengalami kenaikan. Kemudian pada hujan kedua mengalami stagnan, dan pada hujan ketiga sudah tidak terbaca karena bertemunya air kapiler dengan air yang terinfiltrasi dari atas ke bawah.

B. Saran

1. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi *rainfall* yang dimana alat yang digunakan terbuat dari kaca bening setebal 12 mm, disarankan untuk tidak memakai dinding alat yang terbuat dari kaca karena rentan pecah, sebaiknya memakai alas dan dinding yang terbuat dari fiber dan berukuran lebih tebal.
2. Dalam penelitian ini digunakan intensitas curah hujan I_5 dengan menggunakan jenis tanah yang berbeda, untuk mengetahui terjadi atau tidaknya fenomena kejut kapiler, disarankan pada penelitian selanjutnya menghasilkan solusi tentang fenomena kejut kapiler yang lebih intensif.
3. Hasil penelitian kejut kapiler di laboratorium akan berbeda dengan hasil uji kejut kapiler di lapangan.



DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1993. *Budidaya Tanaman Jagung*. Kanisius. Yogyakarta.
- Aisyah, Ayu. (2012). *Tekstur Tanah*. Bloger. Diambil dari: lilinkecil1610.blogspot.com/2012/02/tekstur-tanah.html?m=1
- Amyx, J.W., Daniel M.B., Jr., dan Robert L.W., 1960, *Petroleum Reservoir Engineering*, Mc-Graw-Hill Book Company, USA.
- Anonim. (2018). bab 2 – 05308141009. Universitas Negeri Yogyakarta. Diambil dari: <http://eprints.uny.ac.id/8190/3/bab%20%20-%2005308141009.pdf> (25 Oktober 2018)
- Arsyad Sitanala, (2010). *Konservasi Tanah dan Air. Edisi Kedua*, IPB Press. Bogor.
- Atma Handika, Suci. 2018. *Jenis-Jenis Penelitian*. Academia.edu. Diambil dari: https://www.academia.edu/8307303/JENIS-JENIS_PENELITIAN (3 November 2018)
- Bambang Triatmodjo, 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Bell, F.G., 2007, *Engineering Geology Second Edition*. Elsevier: Amsterdam.
- Bowles, J. E. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- BR, Sri Harto. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta : Gramedia Pusaka Utama.
- Bunari, A. (2014). BAB II. Digital Repository UNILA. Diambil dari: digilib.unila.ac.id/2136/8/BAB%2011.pdf (22 Oktober 2018)
- Christady Hardiyatmo, Hary. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 59, 61, 144.
- Darwis. 2015. Fenomena Kejut Kapiler Air Tanah pada Lahan Pengguna Irigasi Air Tanah di Takalar. Dalam: Seminar Nasional FGDT-PTM se-Indonesia.
- Darwis. 2016. Capillary Shock Phenomena of Groundwater in Land of Irrigation Groundwater Users in Takalar. ResearchGate, Juni, 2016. Diambil dari: https://www.researchgate.net/publication/303989142_Capillary_Shock_Pheno

mena_of_Groundwater_in_Land_of_Irrigation_Groundwater_Users_in_Tak
alar?enrichId=rgreq-1e803e17afdca6b1880767cf52f6c2cd-
XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzk4OTE0MjtBUzozNzMzN
DI5OTg2Nzk1NTJAMTQ2NjAyMzMxNTE0Ng%3D%3D&el=1_x_3&_esc
=publicationCoverPdf

Darwis Panguriseng. 2017. Pengaruh Jumlah Bambu-Rongga Sebagai Alat Pengimbuah terhadap Durasi Kejut Kapiler dan Waktu Pemulihan Muka Air Tanah pada Periode Awal Musim Penghujan. Dalam: Seminar Ilmiah Nasional Teknik Sipil Universitas Bosowa “SINALTSUB 1”, Desember 2017.

Darwis: “Pengelolaan Air Tanah”, Buku Ajar Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, Tahun

Das, B. M. 1991. *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid I. Jakarta: Erlangga.

Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah 1*. Erlangga. Jakarta.

Davie, T. 2008. *Fundamentals of Hydrology: an Introduction to Water and Forest*. Florida: CRC press.

Dhalhar, M, A. 1972. Process and Field Evaluation of Infiltration Rate. A “Plan B “Paper for The MSc Degree, The University of Minnesota.

Driscoll, Fletcher G., 1987. *Groundwater and Wells*. Johnson Division. St. Paul, Minnesota

Eagleson, P. S. 1970. *Dynamic Hydrogy*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Effendi, Rahmat. 2018. Analisis dan *Design* Sistem Drainase di Lingkungan Universitas Lampung. Digital Repository UNILA. Juni 2018. Diambil dari: <http://digilib.unila.ac.id/33050/2/SKRIPSI%20TANPA%20BAB%20PEMBAHASAN.pdf>

Fakhli. (2014): *Pengertian dan Klasifikasi Gradasi Agregat*. Kumpul Engineer. Diambil dari: <https://www.kumpulengineer.com/2014/05/pengertian-dan-klasifikasi-gradasi.html>. (19 Oktober 2018)

Florence B, Amsalia., 2015. *Industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)*. Skripsi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

- Gillot, J.E., 1968, *Clay Engineering Geology*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Goodman, Richard E. 1993. *Engineering Geology*. New York: John Wiley dan Sons.
- Hanafiah, K.A., 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta : PT. Raja Grafindo Persada.
- Hansbo, S. 1975. *Soil Material Science*. Swedish: AWE/Gebers, Stockholm.
- Hardiyatmo, Hary Chirstady. 1992. *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 1987. *Ilmu Tanah*. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- Harnandi, Dadi., Pasaribu, Manaris. 2009. *Penyelidikan Konservasi Cekungan Air Tanah Bogor Provinsi Jawa Barat*. Dept. ESDM: Bandung
- Henry D. Foth, *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, Jakarta: Erlangga, 1994.
- Horton. R. E. 1939. *Drainage Basins Characteristics*. Trans. Am. Geophics.
- Kartasapoetra, A G. 1989. *Kerusakan Tanah Pertanian dan Usaha untuk Merehabilitasinya*. Bina Aksara. Jakarta
- Lambe, T.W. dan Whitman, R.V. 1979. *Soil Mechanics*, SI Version, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Lee. R. 1990. *Hidrologi Hutan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Panguriseng, Darwis, (2014). *Buku Ajar Mekanika Tanah Dasar (1)*. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., dan Siever, R., 1987, *Sand and Sandstones, 2nd ed.*, Springer-Verlag, New York, 553h.
- R, Santika. (2013). BAB II. Digital Repository UNILA. Diambil dari: <http://digilib.unila.ac.id/507/8/BAB%20II.pdf> (24 Oktober 2018)
- Raudkivi, A. J. 1979. *HYDROLOGY : An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling*. British Library Catalog.

- Satriana, dkk. 2017. Analisis Pengaruh Gradasi Tanah terhadap Kapasitas Infiltrasi pada Frekuensi Hujan Berulang (Studi Laboratorium dengan Rainfall Simulator) [skripsi]. Makassar (ID): Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Setiyanto, Adhy. (2018). BAB 2 Karakteristik Pasir. Academia.edu. Diambil dari: https://www.academia.edu/10854445/BAB_2_KARAKTERISTIK_PASIR (24 Oktober 2018)
- Sosrodarsono Suyono, Kensaku Takeda, 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sugiyono. 2002. *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung: CV Alfabeta.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- 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 Rekayasa*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Tuckman. (1972). *Conducting Educational Research*, New York; Harcourt Brace Jovanovich, Inc.
- Wesley, Laurence D. (2012). *Mekanika Tanah, untuk Tanah Endapan dan Residu*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 33.



**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 Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)
Lokasi : Tanah Asli (Limbung 2)
Tanggal Percobaan : 29 November 2018
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa
Dikerjakan Oleh : 1. Putri Radhiana Eko Yusuf
: 2. Zafiera Paraswaty Djalle

PEMERIKSAAN KADAR AIR

SNI 1965 : 2008

No.Container		1	2
Berat Cawan (W1)	gram	6.4	8.5
Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gram	35.5	44.9
Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gram	29.6	37.6
Berat Tanah Kering ($W_d = W_3 - W_1$)	gram	23.2	29.1
Berat Air ($W_w = W_2 - W_3$)	gram	5.9	7.3
Kadar Air ($W_w/W_d * 100\%$)	%	25.43	25.09
Kadar Air Rata-rata	%	25.26	

Diperiksa Oleh :
Makassar, November 2018
Dikerjakan Oleh :

Hasrullah,ST
Asisten Lab

Putri Radhiana Eko Yusuf
Zafiera Paraswaty Djalle



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 Lempung Berpasir Berlananu (*Silty Sandy Clay*) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli (Limbung 2)
Tanggal Percobaan : 29 November 2018
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa
Dikerjakan Oleh : 1. Putri Radhiana Eko Yusuf
: 2. Zafiera Paraswaty Djalle

PENGUJIAN BATAS-BATAS ATTERBERG
(SNI 1996:2008)

No. Test		Batas Cair (LL)							
		10		20		30		40	
Jumlah Pukulan (N)	-								
No. Container	-	1A	2B	1B	2B	1C	2C	1D	2D
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	31.9	39.6	36.5	31.8	18.0	27.4	45.6	39.4
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	26.0	31.4	29.7	26.2	15.8	23.0	36.9	32.5
Berat Container (W3)	Gram	9.2	8.6	8.7	8.7	8.5	9.1	8.6	8.6
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	5.9	8.2	6.8	5.6	2.2	4.4	8.7	6.9
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	16.8	22.8	21.0	17.5	7.3	13.9	28.3	23.9
Kadar Air, Ww/Wd x 100%	%	35.1	36.0	32.4	32.0	30.1	31.7	30.7	28.9
Rata-rata		35.54		32.19		30.90		29.81	



Batas Cair (LL) didapat pada pukulan 25
Jadi, LL = $-4.121 \ln(25) + 44.87 = 31.61\%$

Makassar, November 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" Muka Air Tanah Pada Lempung Berpasir Berlanau (Silty Sandy Clay) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli (Limbung 2)
 Tanggal Percobaan : 29 November 2018
 Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa
 Dikerjakan Oleh : 1. Putri Radhiana Eko Yusuf
 : 2. Zafiera Paraswaty Djalle

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

No Test	-	1	2
No. Container	-	E1	E2
Berat Tanah Basah + Container (W1)	Gram	32.1	31.1
Berat Tanah Kering + Container (W2)	Gram	30.8	30.1
Berat Container (W3)	Gram	23.8	24.7
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	1.3	1
Berat Tanah Kering, (Wd=W2-W3)	Gram	7	5.4
Kadar Air, (Ww/Wd x 100%)	%	18.57	18.52
Kadar Air Rata-rata	%	18.54	

$$\text{Indeks Plastisitas PI} = LL - PL$$

$$= 31.61 - 18.54 = 13.06 \%$$

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

$$= \frac{13.06}{25.00 - 5}$$

$$= \frac{13.06}{20.00}$$

$$= 0.65$$

Makassar, November 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" Muka Air Tanah Pada Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)

Lokasi : Tanah Asli (Limbung 2)
 Tanggal Percobaan : 2 Desember 2018
 Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa
 Dikerjakan Oleh : 1. Putri Radhiana Eko Yusuf
 : 2. Zafiera Paraswaty Djalle

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

Bore Hole No. Sample Sample Depth (Meter)	-	Berat Isi	
		Sampel	
Ring/Container Number	-	1	2
Berar Ring (W1)	gram	66.90	66.90
Berat Cawan (W2)	gram	29.30	23.60
Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Basah (W3)	gram	179.90	180.30
Tanah Basah (W4) = W3-W2-W1	gram	83.70	89.80
Volume of Soil (5)	cm ³	52.16	52.16
Berat Ring+Berat Cawan+Tanah Kering (W6)	gram	162.30	161.10
Berat Tanah Kering (W7) = W6-W1-W2	gram	66.10	70.60
Berat Air (W8) = W4-W7	gram	17.60	19.20
Berat Jenis, Gs	-	2.62	2.62
Volume of Dry Soil (9) = (7)/Gs	cm ³	25.22	26.93
Volume of Pore (10) = (5)-(9)	cm ³	26.94	25.23
Wet Density, $g_{wet} = (4)/(5)$	gr/cm ³	1.60	1.72
Kadar Air $w = (W8)/(W7)*100\%$	%	26.63	27.20
Dry Density, $g_{dry} = g_{wet}/(1+w)$	gr/cm ³	1.27	1.35
Porositas, $n = (W10)/(W5)*100\%$	%	51.66	48.36
Derajat Kejenuhan $Sr = (W8)/(W10)*100\%$	%	65.32	76.11

Makassar, Desember 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" Muka Air Tanah Pada Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)
Lokasi : Tanah Asli (Limbung 2)
Tanggal Percobaan : 4 Desember 2018
Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa
Dikerjakan Oleh : 1. Putri Radhiana Eko Yusuf
: 2. Zafiera Paraswaty Djalle

SPECIFIC GRAVITY (Gs)
(SNI 1964:2008)

Sampel	-	I	II
Berat Piknometer, (W1)	gram	42.5	53.5
Berat Piknometer + Air, (W2)	gram	100.9	116.5
Berat Piknometer + Air + Tanah, (W3)	gram	116.5	131.9
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
Lanau Tak organik	2,62 - 2,68	17	0.99880
Lempung Organik	2,58 - 2,65	18	0.99862
Lempung Tak organik	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*)

Makassar, Desember 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" Muka Air Tanah Pada Lempung Berpasir Berlanau (*Silty Sandy Clay*) Dengan Metode Simulasi (Uji Laboratorium)
 Lokasi : Tanah Asli (Limbung 2)
 Tanggal Percobaan : 3 Desember 2018
 Laboratorium : Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Bosowa
 Dikerjakan Oleh : 1. Putri Radhiana Eko Yusuf
 : 2. Zafiera Paraswaty Djalle

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN
 (SNI 3423:2008)

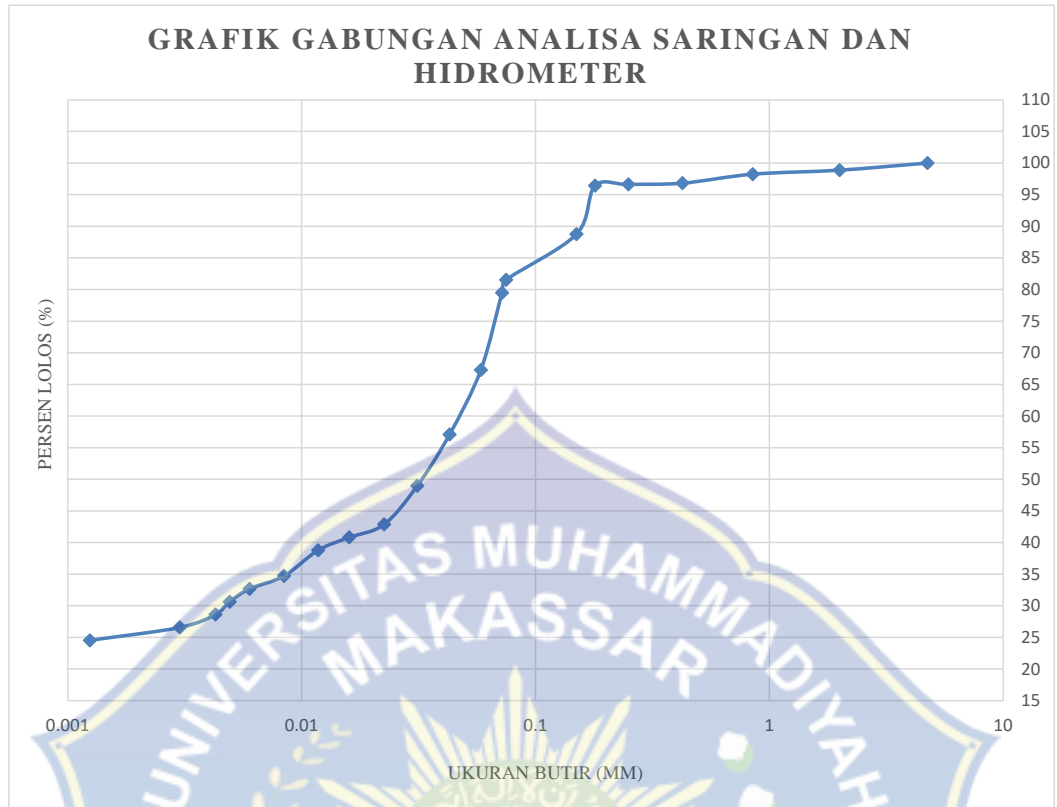
	Berat (gram)
Berat tanah kering oven	500.00
Berat tanah kering tertahan sar. 200 sesudah dicuci	92.3
Berat tanah lolos saringan 200 setelah dicuci	407.70

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	5.6	5.6	1.12	98.88
18	0.85	3.2	8.8	1.76	98.24
40	0.43	7.1	15.9	3.18	96.82
60	0.25	1.0	16.9	3.38	96.62
80	0.18	1.0	17.9	3.58	96.42
100	0.15	38.3	56.2	11.24	88.76
200	0.075	36.1	92.3	18.46	81.54
Pan	-	407.7	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_{cp}	% Butiran halus $a.R_{cp}/W_s \times 100\%$	R_{cl}	L (cm)	K	$D=K(L/t)^{0,5}$
0.3	29	37	39	79.48	38	10.1	0.01240	0.07195
0.5	29	31	33	67.27	32	11.1	0.01240	0.05842
1	29	26	28	57.09	27	12.0	0.01240	0.04295
2	29	22	24	48.95	23	12.7	0.01240	0.03125
4	29	19	21	42.85	20	13.2	0.01240	0.02253
8	29	18	20	40.81	19	13.3	0.01240	0.01599
15	29	17	19	38.77	18	13.5	0.01240	0.01176
30	29	15	17	34.70	16	13.8	0.01240	0.00841
60	29	14	16	32.67	15	14.0	0.01240	0.00599
90	29	13	15	30.63	14	14.2	0.01240	0.00493
120	29	12	14	28.60	13	14.3	0.01240	0.00428
240	29	11	13	26.56	12	14.2	0.01240	0.00302
1440	29	10	12	24.53	11	14.5	0.01240	0.00124

GRAFIK GABUNGAN ANALISA SARINGAN DAN HIDROMETER



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

26	2007	Des	20	120	55	0	112	72	89
		Jan	2	101	97	75	84	89	
		Feb	21	0	34	160	0	49	
		Feb	2	98	38	82	113	83	
27	2008	Feb	3	137	22	38	149	87	88
		Feb	2	0	181	172	0	88	
		Feb	2	0	181	172	0	88	
		Feb	3	137	22	38	149	87	
28	2009	Jan	17	90	67	5	94	64	84
		Jan	29	17	113	32	14	44	
		Jan	31	40	102	158	35	84	
		Jan	1	72	10	47	95	56	
29	2010	Jan	11	80	51	71	0	51	64
		Jan	19	50	91	78	36	64	
		Jan	12	11	78	89	21	50	
		Sept	6	59	50	8	90	52	
30	2011	Des	27	120	20	22	116	70	91
		Feb	4	22	217	42	25	77	
		Feb	28	78	72	125	90	91	
		Jan	20	118	9	25	133	71	
31	2012	Feb	2	118	39	0	112	67	67
		Mar	14	60	115	67	20	66	
		Mar	19	0	56	80	0	34	
		Feb	2	118	39	0	112	67	
32	2013	Des	10	98	104	0	0	51	118
		Jan	1	80	193	121	78	118	
		Jan	2	72	64	164	75	94	
		Feb	18	97	7	130	93	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
Σ		3188			44654	1151364.557	198660229

Nilai rata-rata (X_r) :

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

Standar Deviasi (S_d) :

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

Koefisien Kurtosis (C_k) :

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

Koefisien Skewness (C_s) :

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

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
Σ		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) :

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

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 \approx 0 Ck \approx 3	0.704 3.440	Tidak Memenuhi
Gumbel	Cs = 1.1396 Ck = 5.4002	0.704 3.440	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3 Cv Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15 Cv ⁴ + 16 Cv ² + 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 Kepencengan (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 _r	G	S _d	Log X _T	X _T
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 ₂	=	99.629	mm
R ₅	=	135.842	mm
R ₁₀	=	159.777	mm
R ₂₅	=	189.806	mm
R ₅₀	=	212.103	mm
R ₁₀₀	=	234.310	mm
R ₂₀₀	=	256.746	mm

Contoh Perhitungan untuk t = 5 menit

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

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

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

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

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

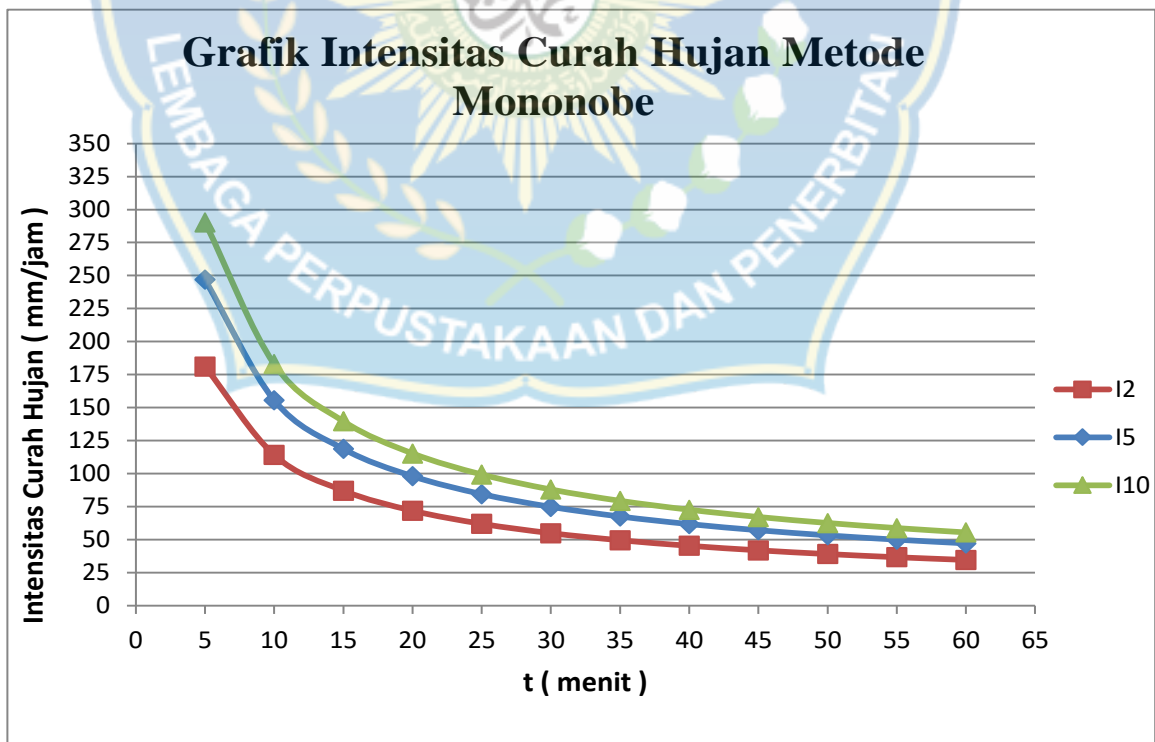
$$I_{50} = \frac{212.103}{24} \left(\frac{24}{(5/60)} \right)^{2/3} = 385.417 \text{ mm/jam}$$

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

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

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



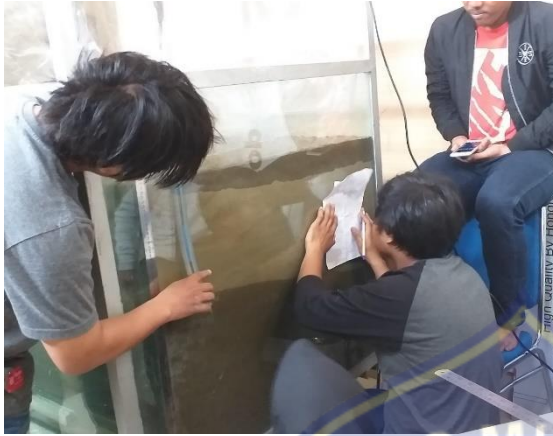
PEMBACAAN AIR SUMUR



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



