

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH GRADASI TANAH TERHADAP
PERMEABILITAS DAN WAKTU PENGGENANGAN (*PONDING TIME*)
PADA FREKUENSI HUJAN BERULANG (Studi Laboratorium Dengan
Rainfall Simulator)**



Oleh :

**ILHAM SUDIRMAN
105 81 1730 12**

**ALAMSYAH
105 81 1786 12**

JURUSAN SIPIL PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019

**ANALISIS PENGARUH GRADASI TANAH TERHADAP
PERMEABILITAS DAN WAKTU PENGGENANGAN (*PONDING TIME*)
PADA FREKUENSI HUJAN BERULANG (Studi Laboratorium Dengan
Rainfall Simulator)**

SKRIPSI

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

Disusun Dan Diajukan Oleh :

**ILHAM SUDIRMAN
105 81 1730 12**

**ALAMSYAH
105 81 1786 12**

JURUSAN SIPIL PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2019

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

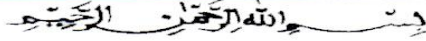
FAKULTAS TEKNIK

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>



HALAMAN PERSETUJUAN

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

Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH GRADASI TANAH TERHADAP PERMEABILITAS DAN WAKTU PENGGENANGAN (*PONDING TIME*) PADA FREKUENSI HUJAN BERULANG (Studi Laboratorium Dengan *Rainfall Simulator*)**

Nama : ILHAM SUDIRMAN
ALAMSYAH

No. Stambuk : 105 81 1730 12
: 105 81 1786 12

Makassar, 09 Februari 2019

Telah Diperiksa dan Disetujui

Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I


Pembimbing II


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


Mahmuddin S.T., M.T



Mengetahui,
Ketua Jurusan Sipil


Andi Makbul Syamsuri, S.T., M.T
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 **Ilham Sudirman** dengan nomor induk Mahasiswa **105 81 1730 12** dan **Alamsyah** dengan nomor induk Mahasiswa **105 81 1786 12**, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/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 09 Februari 2019

Makassar, 6 Jumadil Akhir 1440 H

11 Februari 2019 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

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

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT

2. Penguji

a. Ketua : Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna, M.Sc., M.Eng

b. Sekretaris : Farida Gaffar, ST., MM

3. Anggota : 1. Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, MT

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

3. Dr. Ir. Hj. Fenty Daud S, MT

Mengetahui :

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Mahmuddin, ST., MT

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 966 500

ANALYSIS OF THE EFFECT OF LAND GRADATION ON PERMEABILITY AND PONDING TIME ON REPEAT RAIN FREQUENCY

(Laboratory Study With Rainfal Simulator)

(Ilham Sudirman¹) dan (Alamsyah²)

¹Program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar, ilhammandalan@gmail.com

²Program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar, Alamsyahreza2911@yahoo.com

Abstrak

Analisis Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (Ponding Time) Pada Frekuensi Hujan Berulang (Studi Laboratorium Dengan Rainfall Simulator) dibimbing oleh Darwis Panguriseng dan Mahmuddin. Bahwa permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk meloloskan air atau udara. Permeabilitas tanah biasanya diukur dengan istilah kecepatan air yang mengalir dalam waktu tertentu yang ditetapkan dalam satuan cm/jam. Waktu penggenangan (ponding time) tp merupakan selisih waktu antara saat hujan turun dan waktu dimana air mulai menggenang diatas permukaan tanah. Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan dengan frekuensi hujan berulang yang intensitasnya sama pada jenis tanah campuran. Metode penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental laboratorium, dengan menggunakan alat rainfall simulator. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis tanah campuran. Selanjutnya diberikan hujan buatan dengan intensitas I₁₅, setiap intensitas digunakan frekuensi lima kali hujan dan dilakukan pembacaan waktu final genangan dan tinggi genangan pada bak percobaan Rainfall Simulator dan untuk pengujian permeabilitas dilakukan pengamatan dengan uji constant head. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien permeabilitas berbanding terbalik dengan meningkatnya intensitas curah hujan dan frekuensi hujan. final genangan berbanding lurus dengan meningkatnya intensitas curah hujan dan frekuensi hujan.

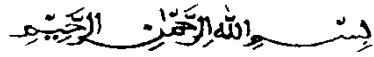
Kata kunci : gradasi tanah, permeabilitas, waktu final genangan.

Abstract

Analysis of the Effect of Soil Gradation on Permeability and Ponding Time on the Frequency of Repeated Rain (Laboratory Study with Rainfall Simulator) was guided by Darwis Panguriseng and Mahmuddin. That soil permeability is the ability of the soil to escape water or air. Soil permeability is usually measured in terms of the speed of water flowing within a specified time in units of cm / hour. Ponding time is the time difference between when the rain falls and the time when the water starts to pool above the ground. The aim of the study was to determine the effect of soil gradation on permeability and time of flooding with the frequency of repeated rain with the same intensity in mixed soil types. This research method is a type of laboratory experimental research, using the rainfall simulator tool. The land used in this study is a type of mixed soil. Furthermore, given artificial rainfall with I₁₅ intensity, each intensity used a frequency of five times the rain and readings of the inundation time and height of inundation on the Rainfall Simulator's body and for permeability testing was carried out by testing the constant head. The results showed that the permeability coefficient was inversely proportional to the increasing intensity of rainfall and the frequency of rain. final inundation time are directly proportional to the increasing rainfall intensity and frequency of rain.

Keywords: gradations land, permeability, final puddle time.

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga dapat menyusun tugas akhir ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas kami adalah **“Analisis Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*) Pada Frekuensi Hujan Berulang (Studi Laboratorium Dengan *Rainfall Simulator*)”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan karena penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Tugas akhir ini dapat terwujud berkat bantuan Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a serta pengorbanannya dalam bentuk moril maupun materi dalam menyelesaikan kuliah kami.

Berkat arahan dan bimbingan dari berbagai sehingga tugas akhir ini dapat kami selesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati,

kami mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada : Bapak Ir. Hamzah Ali Imran, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Bapak Andi Makbul Syamsuri, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1) di kampus ini, Universitas Muhammadiyah Makassar.

Bapak Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng., M.Sc. Selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Mahmuddin, S.T., M.T. Selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami. Bapak dan Ibu dosen serta para staf pegawai di Fakultas Teknik atas waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.

Kepada kak Asryani, ST., Abd. Rahman, ST., Ummu Aima Ali, ST., selaku asisten laboratorium hidrologi Unismuh Makassar dan kak Syamsuddin, ST., selaku asisten laboratorium Mekanika Tanah Unismuh Makassar, yang telah meluangkan waktu, pengarahan dan membantu selama penelitian berlangsung.

Rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik, terkhususnya saudaraku angkatan 2012 dan sahabat yang pada kesempatan ini penulis tidak bisa sebutkan satu persatu, terima kasih sebanyak-banyaknya yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama yang senantiasa memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.

Selain itu, penulis juga mengucapkan permohonan maaf yang sedalam dalamnya jika penulis telah banyak melakukan kesalahan dan kekhilafan, baik dalam bentuk ucapan maupun tingkah laku, semenjak penulis menginjakkan kaki pertama kali di Universitas Muhammadiyah Makassar hingga selesainya studi penulis. Semua itu adalah murni dari penulis sebagai manusia biasa yang tidak pernah luput dari kesalahan dan kekhilafan. Adapun mengenai kebaikan-kebaikan penulis, itu semata mata datangnya dari ALLAH SWT, karena segala kesempurnaan hanyalah milik-Nya.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan semoga tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, masyarakat nusa dan bangsa. Semoga kesemuanya ini dapat bernilai ibadah di sisi-nya, aamiin.

“Billahi Fii Sabilil Hak Fastabiqul Khaerat”.

Makassar,2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi Tanah	6
1. Gradasi Tanah	7
2. Sistem Klasifikasi Unified	7
3. Sistem Klasifikasi AASHTO	12
B. Permeabilitas	16
1. Pengertian Permeabilitas	16

2. Proses Rembesan Air Tanah	18
3. Hubungan Antara Permeabilitas Dengan Porositas	19
C. Waktu Penggenangan (<i>Ponding Time</i>).....	20
D. Faktor Yang Mempengaruhi Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan	21
1. Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (<i>Ponding Time</i>)	23
2. Formulasi Perhitungan Permeabilitas	25
3. Formulasi Perhitungan Waktu Penggenangan (<i>Ponding Time</i>).....	26
E. Siklus Hidrologi	27
1. Elemen Siklus Hidrologi	27
2. Peranan Air Tanah Dalam Siklus Hidrologi	35
F. Hubungan Curah Hujan Dengan Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (<i>Ponding Time</i>)	39
1. Curah Hujan	39
2. Curah Hujan Berulang.....	39
3. Hubungan Curah Hujan Dengan Permeabilitas	39
4. Hubungan Curah Hujan Dengan Waktu Penggenangan (<i>Ponding Time</i>)	40
G. Review Penelitian Terkait Sebelumnya	41
H. Kerangka Fikir	42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	43
1. Tempat.....	43
2. Waktu Penelitian	43
B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data	43
1. Jenis Penelitian.....	43
2. Sumber Data	43
C. Rancangan Penelitian	44
1. Alat.....	45
2. Bahan.....	49
3. Prosedur Dan Pelaksanaan Penelitian	49
4. Variabel Penelitian	54
D. Bagan Alur Penelitian	60

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan.....	61
1. Karakteristik Tanah	61
2. Permeabilitas Pada Gradasi Tanah.....	66
3. Waktu Penggenangan Pada Frekuensi Hujan Berulang.....	68
B. Pembahasan.....	70
1. Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas	70
2. Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Waktu Penggenangan	72

BAB V PENUTUP

A. KESIMPULAN76

B. SARAN77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah Sistem Unified.....	8
Tabel 2.2	Sistem AASHTO	12
Tabel 2.3	Koefisien Permeabilitas Tanah.....	19
Tabel 3.1	Gradasi Rencana	57
Tabel 4.1	Sampel 1	61
Tabel 4.2	Sampel 2	63
Tabel 4.3	Hasil Klasifikasi AASHTO	66
Tabel 4.4	Hasil Permeabilitas Pada Gradasi Tanah.....	67
Tabel 4.5	Waktu Penggenangan Pada Frekuensi Hujan Berulang	69
Tabel 4.6	Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas.....	71
Tabel 4.7	Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Waktu Penggenangan.....	73

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
Gambar 2.1	Siklus Hidrologi.....	29
Gambar 2.2	Siklus hidrologi pendek	33
Gambar 2.3	Siklus hidrologi sedang	34
Gambar 2.4	Siklus hidrologi Panjang.....	35
Gambar 2.5	Kerangka Pikir Penelitian	41
Gambar 3.1	<i>Rainfall simulator</i> dengan tampak depan	45
Gambar 3.2	<i>Rainfall simulator</i> dengan tampak samping kiri.....	46
Gambar 3.3	Media uji tangkapan air hujan	47
Gambar 3.4	Tabung uji permeabilitas	48
Gambar 3.5	Skema hubungan variabel penelitian	56
Gambar 3.6	Grafik Gradai Rencana	58
Gambar 3.7	Bagan dan Alur Penelitian	60
Gambar 4.1	Grafik Distribusi Butir Analisa Saringan Dan Hidrometer	62
Gambar 4.2	Grafik Distribusi Butir Analisa Saringan Dan Hidrometer	64
Gambar 4.3	Grafik Permeabilitas Pada Gradasi Tanah.....	67

Gambar 4.4	Grafik Waktu Penggenangan Pada Frekuensi Hujan Berulang.	69
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Gradasi Terhadap Permeabilitas	71
Gambar 4.6	Grafik pengaruh gradasi tanah terhadap waktu penggenangan .	72

DAFTAR NOTASI

A	= luas penampang melintang tanah (cm ²)
C_v	= koefisien variasi
C_s	= koefisien asimetri/ <i>skewness</i> (C_s)
C_k	= koefisien kurtosis
d_1	= kepadatan pertama
d_2	= kepadatan kedua
d_3	= kepadatan ketiga
Dr	= kerapatan relatif
F_1	= frekuensi hujan pertama
F_2	= frekuensi hujan kedua
F_3	= frekuensi hujan ketiga
F_4	= frekuensi hujan keempat
F_5	= frekuensi hujan kelima
G	= konstanta Log Person III berdasarkan koefisien kepencenangan, besarnya yang telah disajikan
h_x	= tinggi Genagan
I_5	= intensitas curah hujan periode 5 tahun
I	= intensitas curah hujan (mm/jam)
i	= gradien hidrolis
K	= koefisien permeabilitas
$\text{Log } X_i$	= logaritma curah hujan tahun ke 1
L	= ketinggian tabung dalam tanah (cm)
LL	= batas cair

$\text{Log } X$	= logaritma curah hujan rancangan pada periode tertentu
$\overline{\text{Log } X}$	= logaritma curah hujan harian maksimum rata-rata
n	= jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan (mm)
n	= jumlah data
PL	= batas plastis
PI	= indeks plastisnya
Q	= debit aliran (cm ³ /jam)
\bar{R}	= curah hujan daerah (mm)
$R_1, R_2, \dots + R_n$	= curah hujan di setiap titik pengamatan (mm).
R_{24}	= curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).
S	= standar deviasi
S _x	= simpangan Baku
t	= lamanya curah hujan (menit), atau untuk 4 dalam (jam) a,b,n,m : tetapan
t	= waktu tempuh fluida sepanjang L (detik)
t	= tinggi sampel direncanakan
t_f	= waktu final genagan
v	= kecepatan aliran (m/s atau cm/s)
X	= curah hujan rancangan pada periode tertentu
\bar{X}	= curah hujan harian maksimum rata-rata
$\gamma_d \text{ Lap}$	= berat isi kering lapangan
$\gamma_d \text{ Lab}$	= berat isi kering laboratorium
Δh	= ketinggian dari permukaan air hingga dasar tabung

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan kumpulan butiran-butiran mineral alam yang melekat tapi tidak erat, sehingga masih mudah di pisah-pisahkan. Tanah yang lokasinya pindah dari tempatnya terbentuk akibat aliran air, angin, dan es disebut (*transported soil*). Tanah yang lokasinya tidak pindah dari tempatnya terbentuk disebut (*residual soil*).

Tanah berasal dari batuan keras yang mengalami pelapukan serta bahan yang lebih lunak dan lepas seperti abu vulkanik. Lapisan tanah terbentuk karena dua hal, yaitu pengendapan berulang-ulang oleh genangan air dan proses pembentukan tanah. Pada aliran air yang deras, bahan yang dapat diendapkan hanya butir-butir kasar saja. Jika air yang menggenang sudah tidak mengalir, yang diendapkan hanya butir-butir halus saja.

Semua jenis tanah bersifat lolos air (*permeable*) dimana air bebas mengalir melalui ruang-ruang kosong (pori-pori) yang ada di antara butiran-butiran tanah. Tekanan pori diukur relatif terhadap tekanan atmosfer dan permukaan lapisan tanah yang tekanannya sama dengan tekanan atmosfer dinamakan muka air tanah atau permukaan freasik, di bawah muka air tanah. Tanah diasumsikan jenuh walaupun sebenarnya tidak demikian karena ada rongga-rongga udara. Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air

Struktur dan tekstur serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam menaikkan laju permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi dan dengan demikian, menurunkan laju air larian.

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk meloloskan atau melewatkan air. Permeabilitas tanah juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap infiltrasi air ke dalam tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi dapat menaikkan laju infiltrasi sehingga menurunkan laju air larian (*run-off*) (Rohmat, 2009).

Permeabilitas tanah sangat penting untuk kemajuan dalam studi ketersediaan air dan efisiensi aplikasi air, dan dalam desain sistem drainase untuk reklamasi. Untuk aplikasi irigasi biasanya tidak praktis untuk mengukur semua faktor yang mempengaruhi permeabilitas, tetapi praktis sangat penting untuk mengukur permeabilitas tanah di laboratorium dan di lapangan (Israelsen *and* Hansen, 1962).

Koefisien permeabilitas terutama tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara garis besar, makin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya. Berarti suatu lapisan tanah berbutir kasar yang mengandung butiran-butiran halus memiliki harga yang lebih rendah dan pada tanah ini koefisien permeabilitas merupakan fungsi angka pori. Kalau tanahnya berlapis-lapis permeabilitas untuk aliran sejajar lebih besar dari pada permeabilitas untuk aliran tegak lurus. Lapisan permeabilitas lempung yang

bercelah lebih besar dari pada lempung yang tidak bercelah (*unfissured*) (Seta, 1994).

Dengan demikian perlu dilakukan penelitian mengingat begitu pentingnya proses permeabilitas serta faktor-faktor yang mendukung permeabilitas, maka kiranya perlu dilakukan analisis yang lebih spesifik mengenai kemampuan permeabilitas suatu lahan, dengan melakukan pengujian. Sehingga kondisi tersebut perlu kiranya dilakukan penelitian untuk menganalisis **“Pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan (*ponding time*) pada frekuensi hujan berulang (studi laboratorium dengan *rainfall simulator*)”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan Permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas tanah ?
2. Bagaimana pengaruh gradasi tanah terhadap waktu penggenangan (*ponding time*) ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka secara khusus penelitian bertujuan untuk sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas.
2. Mengetahui pengaruh gradasi tanah terhadap waktu penggenangan (*ponding time*)

D. Manfaat Penelitian

Sebagai hakekat dari suatu penelitian yang senantiasa disarankan dapat memberikan kegunaan atau manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi bagaimana pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan (*ponding time*). Pada jenis tanah campuran dengan frekuensi ulang hujan yang intensitasnya sama.
2. Untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan, karena penelitian tentang pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan pada jenis tanah campuran (studi alat laboratorium dengan *rainfall simulator*) masih sangat minim dilakukan khususnya di fakultas teknik universitas muhammadiyah makassar.
3. Adapun manfaat dari kajian ini adalah sebagai pengembangan ilmu berkaitan permeabilitas dan waktu penggenangan, dimana air hujan yang jatuh dipermukaan tanah tidak langsung dialirkan ke saluran drainase menuju ke sungai, namun air hujan tersebut sebagian dikendalikan agar meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan air tanah. Sehingga ketersediaan air tanah tetap terjaga dengan baik.

E. Batasan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang penelitian baik terhadap waktu maupun biaya peneliti, maka peneliti perlu menentukan batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Dalam melakukan pengujian pada penelitian ini digunakan *rainfall simulator*.
2. Penelitian ini menguji variabel apa saja yang memiliki hubungan yang kuat terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan, serta bagaimana pengaruh variabel-variabel tersebut terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan.
3. Jenis tanah yang dipakai dalam penelitian ini adalah jenis tanah campuran.
4. Penentuan permeabilitas dan waktu penggenangan yang diamati hanya dipengaruhi oleh frekuensi hujan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai mineral yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1994).

Menurut Hary Charistady Hardiyatmo (2002), tanah adalah himpunan, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*).

Menurut Budi Santosa (1996), tanah merupakan kumpulan butir-butir mineral alam yang tidak melekat atau melekat tidak erat, sehingga sangat mudah untuk dipisahkan.

Tanah tersusun dari partikel-partikel hasil rombakan batuan secara kimiawi termasuk dalam hal ini proses erosi dan pelapukan. Komposisi tanah berbeda dengan komposisi batuan induknya dan hal ini disebabkan karena adanya interaksi antar litosfer, hidrosfer, atmosfer dan biosfer. Tanah tersusun dari campuran mineral-mineral dan bahan organik baik yang berbentuk padat, cair maupun gas. Partikel-partikel tanah bersifat lepas, membentuk suatu struktur tanah dengan ruang pori yang berisi larutan tanah yang berbentuk cair dan gas

(udara). Pembentukan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu bahan induk (*parent material*), iklim (*climate*), organisme (*organism*), topografi (*relief*), waktu (*time*).

1. Gradasi Tanah

Gradasi tanah disebut dengan gradasi agregat dimana gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butiran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai presentase dari total agregat, atau presentase kumulatif butiran yang lebih kecil, atau lebih besar dari masing-masing seri bukan saringan. (Fakhli, 2014)

Gradasi agregat akan mempengaruhi luas permukaan tanah yang sekaligus akan mempengaruhi jumlah pasta air yang lebih kecil. Apabila ditinjau dari volume pori (ruang kosong) antara butiran, maka tanah dengan butiran agregat yang bervariasi akan mengakibatkan volume pori lebih kecil dengan kata lain kemampuan menjadi tinggi. Hal ini berbeda dengan ukuran agregat yang seragam yang akan mempunyai volume ruang kosong yang lebih besar. (Fakhli, 2014)

2. Sistem Klasifikasi *Unified*

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengelompokan jenis-jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1985). Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan

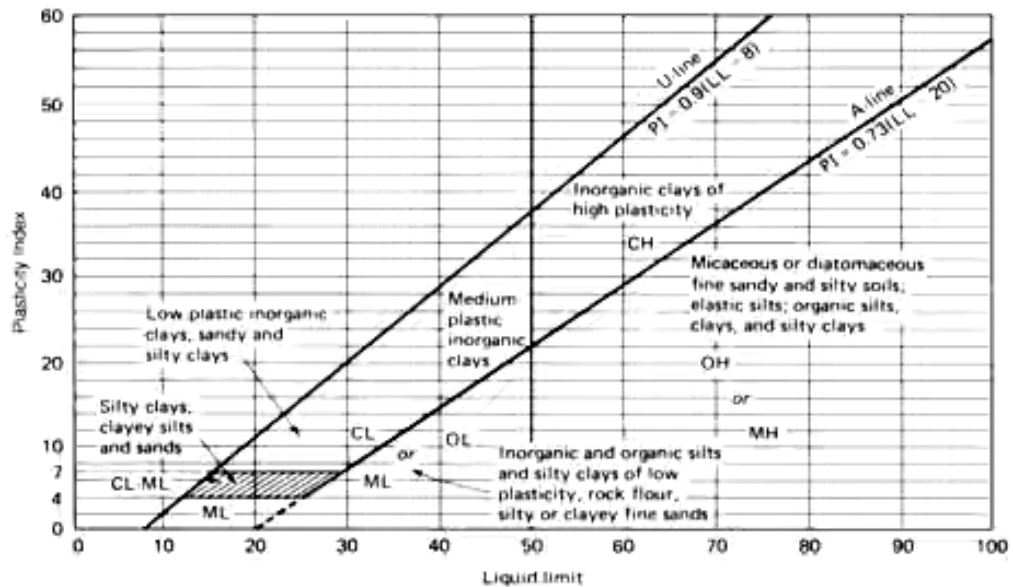
tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran (gradasi tanah) dan batas-batas *Atterberg*.

Pada sistem klasifikasi *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200.

Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok yang dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 : Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria
Lanau dan lempung dengan batas cair, $LL < 50\%$	ML	Lanau inorganik dan pasir sangat halus atau pasir halus berlanau atau berlempung	$PI < 4$ atau berada di bawah garis-A dalam Grafik Plastisitas (Gambar 1).
	CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah hingga sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>clean clays</i>)	$PI > 7$ dan berada pada atau di bawah garis-A dalam Grafik Plastisitas (Gambar 1).
	CL-ML	Lanau berlempung inorganik, dengan pasir halus atau sedikit kerikil.	PI berada dalam daerah yang diarsir (<i>hatched area</i>) dalam Gambar 1.
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	PI berada dalam daerah OL dalam Gambar 1 dan $\frac{LL(\text{overdried})}{LL(\text{not dried})} < 0,75$
Lanau dan lempung dengan batas cair $LL > 50\%$	MH	Lanau inorganik atau pasir halus diatomae, lanau Elastis	PI berada dibawah garis-A dalam Grafik Plastisitas (Gambar 1)
	CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (<i>fat clays</i>)	PI berada diatas garis-A dalam Grafik Plastisitas (Gambar 1)
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	PI berada dalam daerah OH dalam Gambar 1 dan $\frac{LL(\text{overdried})}{LL(\text{not dried})} < 0,75$
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut (<i>peat</i>), dan tanah lain kandungan organik Tinggi	



Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, Edisi-3, halaman 57.

Simbol-simbol yang digunakan dalam sistem klasifikasi Unified, sebagai berikut :

G = Kerikil (*gravel*)

S = Pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organi (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly-graded*)

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

- 1) Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem unified adalah sebagai berikut : Tentukan apakah tanah merupakan butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200
- 2) Jika tanah berupa butiran kasar:
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir).
 - d. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM,SW-SM,) dan sebagainya.
 - e. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12%,harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM,GC,SM,SC,GM-GC atau SM-SC).

- 3) Jika tanah berbutir halus:
- a. Kerjakan uji-uji batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 - b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). jika plotnya jatuh digaris A, klasifikasikan sebagai CH.
 - c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas–batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang di arsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya didalam oven.
 - d. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel.
 - e. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari pertikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat bahan organik. Ukuran pertikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm.

3. Sistem Klasifikasi AASHTO

Dari pengklasifikasian suatu material maka dapat dibuat table yang menggambarkan sistem AASHTO secara terperinci. Table tersebut adalah sebagai berikut :

Table 2.2 : Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)							Material Lanau -Lempung (lebih dari 35% lolos saringan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Group	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Analisa Tapis; persen lolos:											
No. 10	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	30 max	50 max	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40:											
Batas Cair	-			40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Indeks Plastisitas	6 max		N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min*
Jenis Material Pokok	Fragmen batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau kelembungan				Tanah lanau		Tanah lempung	
Tingkat Kegunaan sebagai Subgrade	Sangat baik hingga baik							Cukup baik hingga buruk			

* Indeks Plastisitas untuk sub group A-7-5 sama dengan atau kurang dari batas cair dikurang 30. Indeks Plastisitas untuk sub group A-7-6 lebih besar dari batas cair dikurang 30.

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, Edisi-3, halaman 61.

Dari table di atas, kelompok tanah yang terletak paling kiri adalah kelompok tanah yang paling baik dalam hal menahan beban roda, berarti yang paling baik sebagai bahan untuk tanah dasar. Semakin ke kanan letak kelompok tanah dalam tabel dari sistem AASHTO semakin berkurang kualitas tanah tersebut sebagai tanah dasar.

Kelompok tanah berbutir kasar, A-1, A-2 dan A-3, didefinisikan sebagai berikut :

- a) A-1A adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat-sifat plastis.
- b) A-3A adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali mengandung butir-butir halus yang lolos saringan no.200 dan bersifat tidak plastis.
- c) A-2 sebagai kelompok batas antara kelompok tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Kelompok A-2 ini terdiri dari campuran ke krikil/pasir kasar dengan tanah berbutir halus yang cukup banyak (<35%).

Kelompok tanah berbutir halus, A-4, A-5, A-6 dan A-7, didefinisikan sebagai berikut:

- a) A-4 adalah kelompok tanah lanau berplastisitas rendah.
- b) A-5 adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak partikel-partikel halus yang bersifat plastis. Sifat plastis tanah lebih besar dari kelompok A-4.
- c) A-6 adalah kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan ke rikil, tetapi sifat perubahan volume cukup besar.

- d) A-7 adalah kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan volume besar.

Dari tabel di atas, didapatkan cara pengklasifikasian menurut sistem AASHTO. Adapun langkah-langkah pengklasifikasian material adalah sebagai berikut :

- a. Dalam klasifikasi AASHTO, pertama harus menentukan terlebih dahulu termasuk *Granular materials* atau *Silt-Clay materials*, dengan menggunakan penyaring yang berukuran 200 mesh.
- a) Jika $\leq 35\%$ material lolos dari saringan, maka termasuk kelompok *Granular materials*.
- b) Jika $\geq 35\%$ material lolos dari saringan, maka termasuk kelompok *Silt-clay materials*.
- b. Apabila termasuk dalam kelompok *granular material*, maka kita harus melihat kelompok granular saja dengan mengabaikan kelompok *silt-clay*. Setelah itu, klasifikasikan material menggunakan sieve analisis, sehingga dapat menentukan apakah material tersebut termasuk dalam kelompok A-1 atau A-2 atau A-3 dengan menggunakan saringan yang mempunyai ukuran 10 mesh, 40 mesh, dan 200 mesh. Bahan yang disaring adalah jumlah bahan yang berhasil lolos setelah saringan pertama. Pembagiannya sebagai berikut:
- a) A-1
1. A-1-a, jika persentase ke lolosan dengan 10 mesh max 50%, 40 mesh maksimal 30%, 200 mesh maksimal 15%, dari total keseluruhan yang lolos pada tahap pertama.

2. A-1-b, jika persentase kelolosan dengan 10 mesh 0%, 40 mesh maksimal 50%, 200 mesh maksimal 25%.
 - b) A-2 di bagi menjadi A-2-4, A-2-5, A-2-6, dan A-2-7, dimana masing-masing grup memiliki sieve analisis yang sama, yaitu pada persentase ke lolosan, 10 mesh 0%, 40 mesh 0% dan 200 mesh maksimum 35%.
 - c) A-3 pada grup ini, tidak ada klasifikasi lanjutan, dengan kata lain, hanya ada satu grup, yaitu A-3, dengan persentase ke lolosan sieve analysis 200 mesh maksimal 10% dan 40 mesh minimal 51%.
- c. Apabila termasuk dalam kelompok *Silty-clay material*, maka abaikan kelompok granular material. Kelompok ini terbagi lagi menjadi 4 grup, yaitu A-4, A-5, A-6, A-7 dengan semua menggunakan sieve analisis 200 mesh dengan persentase kelolosan minimum 36%.
- d. Tahapan selanjutnya adalah dengan melihat batas cair (LL) serta *Plasticity Index* (PI) dari masing-masing material tadi.
 - a) Untuk A-1, batas cair (LL) tidak ada dan *plasticity* indeksnya maksimal 6 serta merupakan type material *stone fragments, gravel dan sand*.
 - b) Untuk A-2 (type material *silty atau clay ey gravel dan sand*), A-2-4, batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya maksimal 10. A-2-5, batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya maksimal 10. A-2-6, batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya minimal 11. A-2-7, batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya minimal 11.
 - c) Untuk A-3, batas cair (LL) tidak ada dan indeks plastisitasnya tidak ditemukan serta merupakan type material *fine sand*.

- d) Untuk A-4, batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya maksimal 10 serta merupakan type material *silty soils*.
 - e) Untuk A-5, batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya maksimal 10 serta merupakan type material *silty soils*.
 - f) Untuk A-6, batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya minimal 11 serta merupakan type material *clayey soils*.
 - g) Untuk A-7, batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya minimal 11 serta merupakan type material *clayey soils*.
- e. Terakhir memberi nama pada sampel yang diukur, lalu menentukan general sub grade rating pada sample tersebut.

A. Permeabilitas

1. Pengertian Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan tinggi energi yang lebih rendah (Hary Christady Hardianto, 2012). Beberapa pendapat menurut para ahli tentang permeabilitas tanah adalah sebagai berikut :

1. Permeabilitas tanah adalah kemudahan media sarang mengalirkan air atau fluida melalui pori-pori tanah (Anonymous, 2010).

2. Permeabilitas tanah adalah tingkat kesarangan tanah yang dilalui aliran massa air atau kecepatan aliran air untuk melewati massa tanah (Hanafiah, 2005).
3. Permeabilitas tanah adalah kecepatan Bergeraknya suatu cairan pada median berpori dalam keadaan jenuh (Anonymous, 2010).
4. Permeabilitas tanah adalah kemampuan untuk mentransfer air. Biasanya diukur dengan istilah jumlah air yang mengalir melalui tanah dalam waktu yang tertentu yang ditetapkan sebagai inci/jam (Wani Hadi Utomo, 1985)

Hukum Darcy menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang memengaruhinya. Ada dua asumsi utama yang digunakan dalam penetapan hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar, sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh.

Hukum Darcy menunjukkan bahwa permeabilitas tanah ditentukan oleh koefisien permeabilitasnya. Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada berbagai faktor. Setidaknya, menurut (Rohmat Dede, 2009) ada enam faktor utama yang memengaruhi permeabilitas tanah, yaitu:

1. Viskositas cairan, yaitu semakin tinggi viskositasnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin kecil.
2. Distribusi ukuran pori, yaitu semakin merata distribusi ukuran porinya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.

3. Distribusi ukuran butiran, yaitu semakin merata distribusi ukuran butirannya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
4. Rasio kekosongan (*void ratio*), yaitu semakin besar rasio kekosongannya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin besar.
5. Kekasaran partikel mineral, yaitu semakin kasar partikel mineralnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.
6. Derajat kejenuhan tanah, yaitu semakin jenuh tanahnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

2. Proses Rembesan Air Tanah

Koefisien rembesan mempunyai satuan yang sama dengan kecepatan. Istilah koefisien rembesan sebagai besar digunakan oleh para ahli teknik tanah, para ahli menyebutkannya sebagai konduktivitas hidrolik. Bila mana satuan Inggris digunakan, koefisien rembesan dinyatakan dalam ft/menit atau ft/hari, dan total volume dalam ft³. Dalam satuan SI, koefisien rembesan dinyatakan dalam cm/detik, dan total volume dalam cm³ (Colley, 1950).

Koefisien rembesan tanah adalah tergantung pada beberapa faktor, yaitu: ke kentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung, struktur tanah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung menentukan koefisien rembesan.

Tabel 2.3 : Koefisien Permeabilitas Tanah

Jenis Tanah	K	
	cm/dt	feet/menit
Kerikil bersih	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	< 0,000001	0,000002

Sumber : Braja M. Das, 1994

Koefisien rembesan tanah yang tidak jenuh air adalah rendah, harga tersebut akan bertambah secara cepat dengan bertambahnya derajat kejenuhan tanah yang bersangkutan.

3. Hubungan Antara Permeabilitas Dengan Porositas

Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam menaikkan laju permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi

menaikkan laju infiltrasi dan dengan demikian menurunkan laju air larian. Air larian inilah yang akan merusak permukaan tanah.

Koefisien permeabilitas terutama tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara garis besar, makin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya. Berarti suatu lapisan tanah berbutir kasar yang mengandung butiran-butiran halus memiliki harga koefisien permeabilitas yang lebih rendah dan pada tanah ini koefisien permeabilitas merupakan fungsi angka pori. Tinggi rendahnya permeabilitas ditentukan oleh ukuran pori. Koefisien permeabilitas (k) untuk macam-macam tanah adalah sebagai berikut :

- pasir : 10-102 cm/det
- debu : 102-105 cm/det
- lempung : <150 cm/det

B. Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

Selama hujan berlangsung, air akan menggenang di permukaan hanya jika intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi dari tanah. Waktu penggenangan (*ponding time*) merupakan selisih waktu antara saat hujan turun dan waktu dimana air mulai menggenang di atas permukaan tanah.

Limpasan permukaan terjadi ketika kapasitas infiltrasi tanah tidak dapat menyeimbangkan intensitas curah hujan di permukaan tanah. Pada umumnya limpasan permukaan tidak terjadi segera setelah hujan jatuh di permukaan tanah,

tetapi perlu waktu untuk memenuhi kapasitas infiltrasi. Waktu dari permulaan sampai mulai terjadi limpasan permukaan disebut *ponding time*.

Terdapat 3 prinsip proses waktu terjadinya penggenangan sebagai berikut :

- a. Prioritas terjadinya waktu penggenangan (*ponding time*), semua hujan diinfiltrasi
- b. Infiltrasi potensial rata-rata, f merupakan fungsi dari infiltrasi kumulatif, F
- c. Penggenangan terjadi bila infiltrasi potensial rata-rata lebih atau paling tidak sama dengan intensitas curah hujan ($f \geq i$).

C. Faktor Yang Mempengaruhi Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan

Adapun Faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas menurut (H.Suharta dan B.H Prasetyo, 2008) sebagai berikut:

1. Tekstur tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan antara pasir, liat, dan debu yang menyusun suatu tanah. Tekstur sangat berpengaruh pada permeabilitas. Apabila teksturnya pasir maka permeabilitas tinggi, karena pasir mempunyai pori-pori makro. Sehingga pergerakan air dan zat-zat tertentu bergerak dengan cepat.

2. Struktur tanah

Struktur tanah adalah agregasi butiran primer menjadi butiran sekunder yang dipisahkan oleh bidang belah alami. Tanah yang mempunyai struktur mantap maka permeabilitasnya rendah, karena mempunyai pori-pori yang kecil.

Sedangkan tanah yang berstruktur lemah, mempunyai pori besar sehingga permeabilitanya tinggi. (Semakin kekanan semakin rendah).

3. Porositas

Permeabilitas tergantung pada ukuran pori-pori yang dipengaruhi oleh ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin rendah permeabilitas.

4. Viskositas cairan

Viskositas merupakan kekentalan dari suatu cairan. Semakin tinggi viskositas, maka koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin kecil.

5. Gravitasi

Gaya gravitasi berpengaruh pada kemampuan tanah untuk mengikat air. Semakin kuat gaya gravitasinya, maka semakin tinggi permeabilitanya.

6. Berat isi dan berat jenis

Jika berat isi tinggi, maka kepadatan tanah juga tinggi, sehingga permeabilitasnya lambat atau rendah.

Adapun Faktor-faktor yang dipengaruhi permeabilitas menurut (H.Suharta dan B.H Prasetyo, 2008) sebagai berikut:

1. Drainase

Apabila permeabilitas tanah baik, maka waktu dalam pergerakan air akan semakin cepat, begitu pula sebaliknya.

2. Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air mengalir kedalam tanah melalui permukaan tanah itu sendiri. Di dalam tanah, air mengalir kearah pinggir, sebagai aliran perantara menuju mata air, danau, dan sungai atau secara vertikal yang dikenal dengan penyaringan menuju air tanah.

Penyerapan yang dilakukan tanah akan semakin cepat apabila drainase tanah itu baik.

3. Pengolahan tanah

Apa bila drainase dalam tanah tersebut baik, maka pengolahan dalam tanah akan semakin mudah.

4. Perkolasi

Pergerakan air dalam tanah akan baik bila drainase dalam tanah juga baik

5. Erosi

Pengikisan juga dipengaruhi oleh permeabilitas, semakin baik permeabilitas dalam tanah, maka erosi akan minimum.

6. Evaporasi

Evaporasi akan semakin maksimal jika permeabilitas tanah tersebut baik

1. Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

Gradasi tanah adalah distribusi dari variasi ukuran butir tanah. Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir 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 dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi per segi dari saringan tersebut.

Berdasarkan butiran tanah yang telah dianalisa saringan maka gradasi agregat dapat dibedakan atas :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

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

Bentuk tanah yang membulat (*graunalar* dan remah) yang banyak terdapat rongga/ruang kosong antar agregat dengan gradasi ini memiliki daya serap tinggi sehingga air mudah meresap kedalam tanah maka permeabilitas 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 terdapat butiran dan agregat kasar sampai halus yang sedikit rongga/ruang kosong sehingga air susah meresap kedalam tanah maka permeabilitasnya semakin kecil.

c. Gradasi senjang (*gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau praksi agregat yang tidak ada atau jumlah-nya sedikit sekali.

2. Formulasi Perhitungan Permeabilitas

Hukum Darcy menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang mempengaruhinya. Ada dua asumsi utama yang digunakan dalam penetapan hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar. Sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh. Kecepatan aliran dan kuantitas/debit air satuan waktu adalah proporsional dengan gradien hidrolis. Dalam buku G. Djatmiko Soedarmo & S. J. Edy Purnomo (1993), merumuskan formulasi persamaan kecepatan aliran air dalam tanah, sebagai berikut :

$$q = k \cdot i \cdot A \dots \dots \dots (2.1)$$

sehingga dapat dituliskan persamaan koefisien permeabilitas tanah sebagai berikut:

$$k = \frac{q}{i \cdot A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

q = kuantitas air per satuan waktu

v = Kecepatan aliran (m/s atau cm/s).

k = Koefisien permeabilitas.

A = Luas penampang sampel

i = Gradien hidrolik.

Jika contoh tanah panjang = L dan luas penampang = A , beda tinggi air = $h_1 - h_2$, maka gradien hidrolik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} \dots\dots\dots(2.3)$$

3. Formulasi Perhitungan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

Selisih waktu antara saat hujan turun dan waktu dimana air mulai menggenang di atas permukaan tanah disebut *ponding time*. Selama hujan, air akan menggenang dipermukaan hanya jika intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi tanah. Waktu penggenangan (*Ponding time*) dapat dihitung dengan rumus :

$$tp = \frac{K \times \phi \Delta \theta}{i \times (i - k)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

T_p = Selisih waktu antar saat hujan turun dan waktu air tergenang

K = Permeabilitas

ϕ = *suction head*

$\Delta\theta$ = selisih antara porositas (η) dengan kandungan air awal (θ)

i = Intensitas curah hujan (mm/jam)

D. Siklus Hidrologi

Ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga karena adanya hujan. Hujan dapat tercipta karena adanya suatu mekanisme alam yang berlangsung secara siklus dan terus menerus. Dalam pengaturan penyebaran air di daratan bumi, mekanisme alam yang dimaksud tersebut dikenal dengan istilah siklus hidrologi atau siklus air. Pada prinsipnya, jumlah air di dalam ini tetap dan mengikuti suatu aliran yang dinamakan “siklus hidrologi”. Siklus Hidrologi adalah suatu proses yang berkaitan, dimana air diangkut dari lautan ke atmosfer (udara), kedarat dan kembali lagi ke laut.

Hujan yang jatuh ke bumi baik langsung menjadi aliran maupun tidak langsung yaitu melalui vegetasi atau media lainnya akan membentuk siklus aliran air mulai dari tempat yang tinggi (gunung, pegunungan) menuju ketempat yang rendah baik di permukaan tanah maupun di dalam tanah yang berakhir dilaut.

1. Elemen Siklus Hidrologi

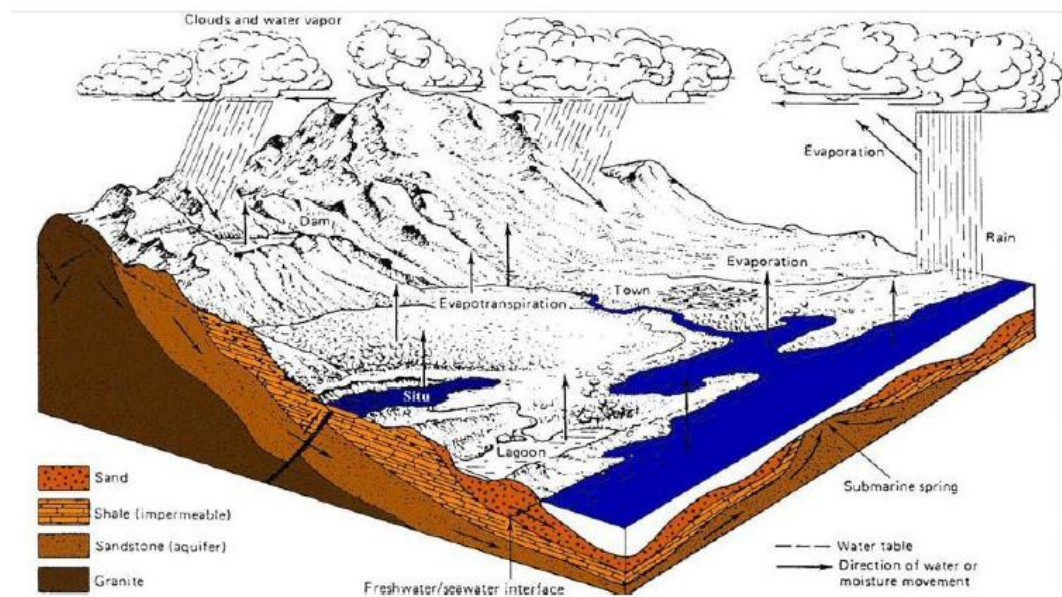
Menurut soemarto (1987), siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir kembali ke laut. Dengan kata lain, siklus hidrologi merupakan suatu proses dimana air diangkut atau pergerakan air dari laut ke atmosfer (udara), ke darat kemudian kembali ke laut melalui proses hujan

(*presipitation*), penguapan, transpirasi, infiltrasi, perkolasi, aliran limpasan, dan aliran bawah tanah.

Melalui proses penguapan (*evaporation*) dilaut dan disebagian kecil permukaan bumi, yaitu berupa penguapan dari tampungan air di sungai, waduk, permukaan tanah serta transpirasi dari tanaman. Proses penguapan dapat terjadi karena adanya pemanasan oleh matahari sebagai sinar energi bagi alam. Uap air yang terangkat ke atas atmosfer *clan* melalui proses kondensasi dapat terbentuk. Butiran awan, akibat berbagai sebab klimatologi tertentu dapat membawa butir awan tersebut ke atas daratan membentuk awan hujan (*rain cloud*). Tidak semua butir awan hujan tersebut akan jatuh sampai dipermukaan bumi sebagai hujan, ukuran butir awan hujan yang tidak cukup berat untuk melawan gaya gesekan dan gaya tekan udara ke atas akan melayang dan diuapkan kembali menjadi awan. Bagian yang sampai di bumi dikatakan sebagai hujan (*precipitation*) yang sebagian akan tertahan oleh tanaman dan bangunan yang akan diuapkan kembali. Bagian ini merupakan air hujan yang tak terukur dan disebut intersepsi (*interception*). Bagian yang sampai dipermukaan tanah akan mengalir sebagai limpasan permukaan (*over land flow*) menuju ke tampungan aliran berupa saluran atau sungai menuju laut. Sebelum sampai disaluran atau sungai limpasan permukaan tersebut akan mengalami proses infiltrasi ke bawah permukaan tanah yang sebagian akan bergerak ke bawah merupakan air perkolasi menuju zona tampungan air tanah (*aquifer, ground water storage*) dan sebagian lain bergerak mendatar dibawah permukaan tanah sebagai *sub surface flow* atau aliran antara (*inter flow*) menuju ke saluran, tampungan waduk, danau, sungai atau laut. Sering

kali bagian yang melimpas menuju alur sungai disebut dengan aliran permukaan tanah (*surface run off*).

Siklus hidrologi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1: Siklus Hidrologi (Kodoatie dan Roestan, 2008)

Dari gambar siklus hidrologi di atas, dapat diuraikan sebagai proses dalam siklus hidrologi, yang terdiri dari beberapa proses menurut Kodoatie dan Roestan (2008) yaitu :

1) Evaporasi

Siklus hidrologi diawali oleh terjadinya penguapan air yang ada dipermukaan bumi. Air yang tertampung dibadan air seperti danau, sungai, laut, sawah, bendungan atau waduk berubah menjadi uap air karena adanya panas matahari. Penguapan serupa juga terjadi pada air yang terdapat dipermukaan tanah. Penguapan semacam ini disebut dengan istilah evaporasi.

Evaporasi mengubah air berwujud cair menjadi air yang berwujud gas sehingga memungkinkan ia untuk naik ke atas atmosfer bumi. Semakin tinggi panas matahari (misalnya saat musim kemarau), jumlah air yang menjadi uap air dan naik ke atmosfer bumi juga akan semakin besar.

2) Transpirasi

Penguapan air dipermukaan bumi bukan hanya terjadi dibadan air dan tanah. Penguapan air juga dapat berlangsung di jaringan mahluk hidup, seperti hewan dan tumbuhan. Penguapan semacam ini dikenal dengan istilah transpirasi. Sama seperti evaporasi, transpirasi juga mengubah air yang berwujud cair dalam jaringan mahluk hidup menjadi uap air dan membawanya naik ke atas menuju atmosfer. Akan tetapi, jumlah air yang menjadi uap melalui proses transpirasi umumnya jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah uap air yang dihasilkan melalui proses evaporasi.

3) Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan air keseluruhan yang terjadi diseluruh permukaan bumi, baik yang terjadi pada badan air dan tanah, maupun pada jaringan mahluk hidup. Evapotranspirasi merupakan gabungan antara evaporasi dan transpirasi. Dalam siklus hidrologi, laju evapotranspirasi ini sangat mempengaruhi jumlah uap air yang terangkut ke atas permukaan atmosfer.

4) Sublimasi

Sublimasi adalah proses perubahan es di kutub atau dipuncak gunung menjadi uap air tanpa melalui fase cair terlebih dahulu. Meski sedikit, sublimasi

juga tetap berkontribusi terhadap jumlah uap air yang terangkut ke atas atmosfer bumi melalui siklus hidrologi panjang. Akan tetapi, dibanding melalui proses penguapan, proses sublimasi dikatakan berjalan sangat lambat.

5) Kondensasi

Ketika uap air yang dihasilkan melalui proses evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, dan proses sublimasi naik hingga mencapai suatu titik ketinggian tertentu, uap air tersebut akan berubah menjadi partikel-partikel es berukuran sangat kecil melalui proses kondensasi. Perubahan wujud uap air menjadi es tersebut terjadi karena pengaruh suhu udara yang sangat rendah di titik ketinggian tersebut. Partikel-partikel es yang terbentuk akan saling mendekati dan bersatu sama lain sehingga membentuk awan. Semakin banyak partikel es yang bergabung, awan yang terbentuk juga akan semakin tebal dan hitam.

6) Adveksi

Awan yang terbentuk dari proses kondensasi selanjutnya akan mengalami adveksi. Adveksi adalah proses perpindahan awan dari satu titik ke titik lain dalam satu horizontal akibat arus angin atau perbedaan tekanan udara. Adveksi memungkinkan awan akan menyebar dan berpindah dari atmosfer lautan menuju atmosfer daratan. Perlu diketahui bahwa, tahapan adveksi tidak terjadi pada siklus hidrologi pendek.

7) Presipitasi

Awan yang mengalami adveksi selanjutnya akan mengalami proses presipitasi. Proses presipitasi adalah proses mencairnya awan akibat pengaruh suhu udara yang tinggi. Pada proses inilah hujan terjadi. Butiran-butiran air jatuh

dan membasahi permukaan bumi. Apabila suhu udara disekitar awan terlalu rendah hingga berkisar < 0 derajat Celcius, presipitasi memungkinkan terjadinya hujan salju. Awan yang mengandung banyak air akan turun ke *litosfer* dalam bentuk butiran salju tipis seperti yang dapat kita temui didaerah beriklim sub tropis.

8) *Run Off*

Setelah presipitasi terjadi sehingga air hujan jatuh ke permukaan bumi, proses *run off* pun terjadi. *Run off* atau limpasan adalah suatu proses pergerakan air dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah dipermukaan bumi. Pergerakan air tersebut misalnya terjadi melalui saluran-saluran seperti saluran got, sungai, danau, muara, laut, hingga samudra. Dalam proses ini, air yang telah melalui siklus hidrologi akan kembali menuju lapisan hidrosfir.

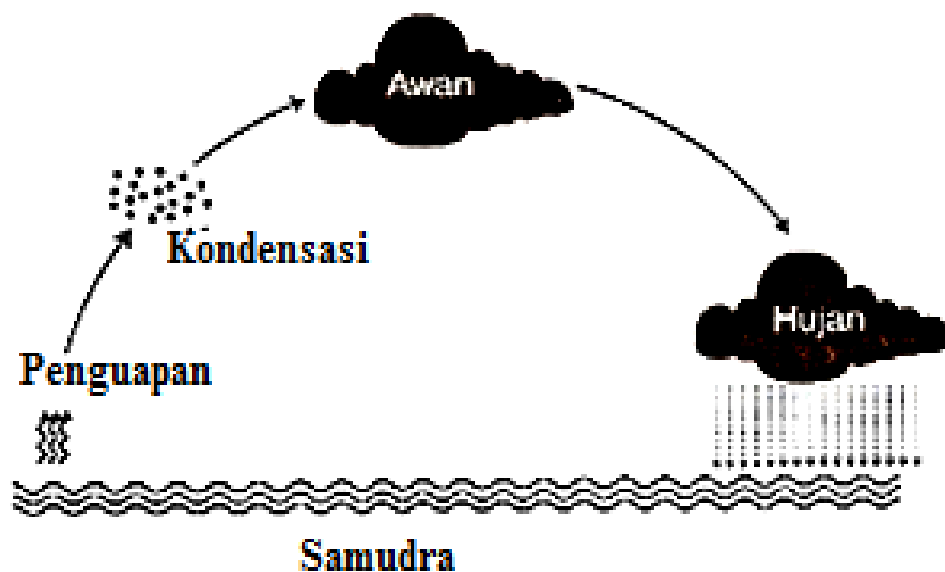
9) Infiltrasi

Tidak semua air hujan yang terbentuk setelah proses presipitasi akan mengalir dipermukaan bumi melalui proses *run off*. Sebagian kecil diantaranya akan bergerak ke dalam pori-pori tanah, merembes, dan terakumulasi menjadi air tanah. Proses pergerakan air ke dalam pori tanah ini disebut proses infiltrasi. Proses infiltrasi akan secara lambat membawa air tanah kembali ke laut. Setelah melalui proses *run off* dan infiltrasi, air yang telah mengalami siklus hidrologi tersebut akan kembali berkumpul dilautan. Air tersebut secara berangsur-angsur akan kembali mengalami siklus hidrologi selanjutnya dengan diawali oleh proses evaporasi.

Kodoatie dan Roestan (2008) berpendapat, berdasarkan panjang pendeknya proses yang dialaminya siklus hidrologi dapat dibedakan menjadi 3 macam. Macam-macam siklus hidrologi tersebut yaitu siklus hidrologi pendek, siklus hidrologi sedang, dan siklus hidrologi panjang.

a. Siklus pendek adalah proses peredaran atau daur ulang air dengan urutan sebagai berikut :

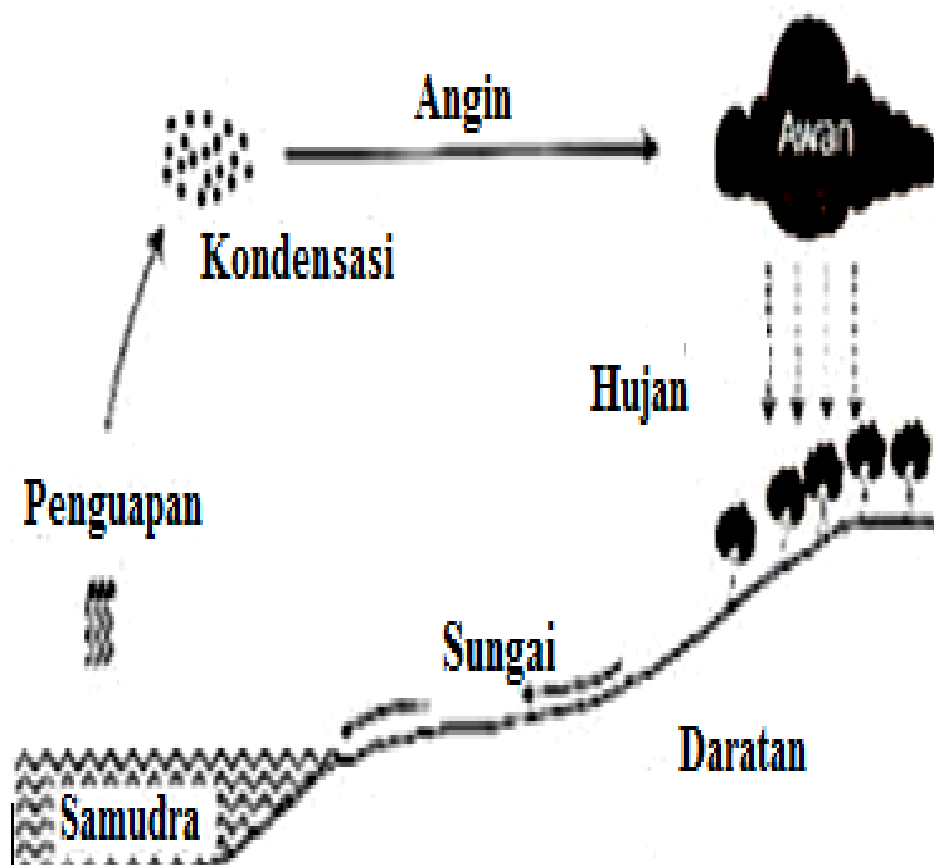
1. Penguapan air laut karena pemanasan matahari dipermukaan laut
2. Air laut mengalami perubahan bentuk menjadi gas
3. Terjadi kondensasi
4. Pembentukan awan
5. Turun hujan
6. Hujan jatuh di permukaan air laut



Gambar 2.2 : Siklus Hidrologi pendek

b. Siklus sedang adalah proses peredaran atau daur ulang air dengan urutan sebagai berikut :

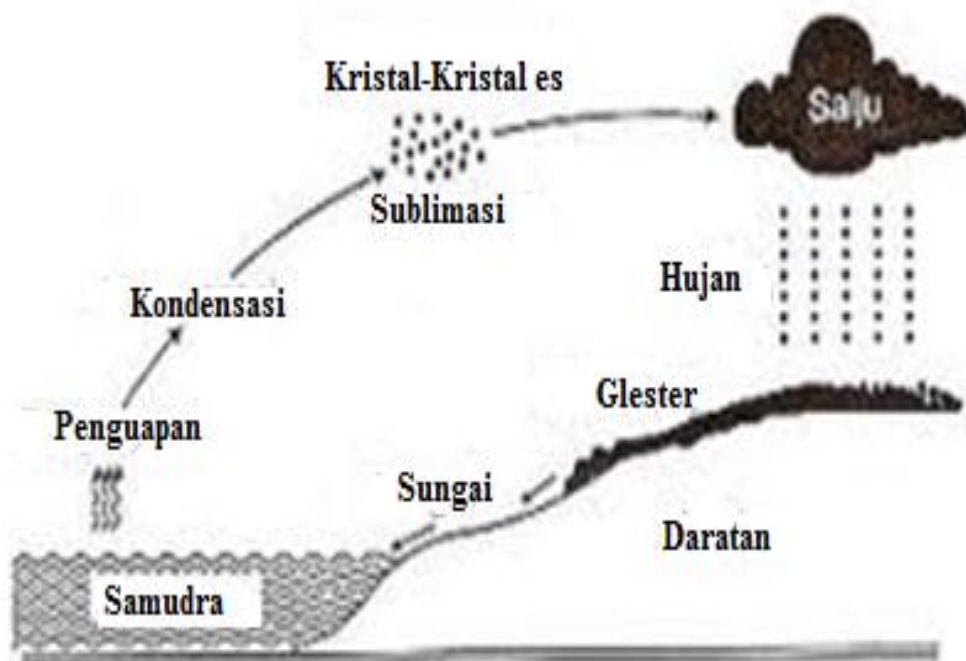
1. Penguapan air laut
2. Kondensasi
3. Angin menggerakkan uap air menuju daratan
4. Pembentukan awan
5. Turun hujan didaerah daratan
6. Air hujan akan mengalir kembali ke laut melalui sungai



Gambar 2.3 : Siklus Hidrologi Sedang

c. Siklus panjang adalah proses peredaran atau daur ulang air dengan urutan sebagai berikut:

1. Penguapan
2. Sublimasi
3. Terbentuk awan yang mengandung kristal es
4. Angin menggerakkan kristal es ke daratan
5. Turun hujan es (hujan salju)
6. Pembentukan *gletser*
7. *Gletser* yang mencair membentuk aliran sungai
8. Air sungai mengalir menuju daratan



Gambar 2.4 : Siklus Hidrologi Panjang

2. Peranan Air Tanah Dalam Siklus Hidrologi

Air tanah merupakan bagian air di alam yang terdapat di bawah permukaan tanah. Pembentukan air tanah mengikuti siklus peredaran air di bumi yang disebut daur hidrologi, yaitu proses alamiah yang berlangsung pada air di alam yang mengalami perpindahan tempat secara berurutan dan terus menerus (Kodoatie, 2012).

Air yang kita gunakan sehari-hari telah menjalani siklus meteorik, yaitu telah melalui proses penguapan dari laut, danau, maupun sungai, lalu mengalami kondensasi di atmosfer, dan kemudian menjadi hujan yang turun ke permukaan bumi. Air hujan yang turun ke permukaan bumi tersebut ada yang langsung mengalir di permukaan bumi dan ada juga yang meresap ke bawah permukaan bumi.

Air ini dapat tersimpan dan mengalir pada lapisan batuan yang kita kenal dengan akuifer (*aquifer*). Akuifer adalah lapisan bawah tanah yang mengandung air dan mampu mengalirkan air. Hal ini disebabkan karena lapisan tersebut bersifat *permeable* yaitu mampu mengalirkan air baik karena adanya pori-pori pada lapisan tersebut ataupun memang sifat dari lapisan batuan tertentu (Herlambang, 1996). Menurut Krussman dan Ridder (1970) dalam Utaya (1990) bahwa macam-macam akuifer sebagai berikut:

1. Akuifer tertekan (*confined aquifer*)

Akuifer tertekan adalah akuifer yang lapisan atas dan bawahnya dibatasi oleh lapisan yang kedap air.

2. Akuifer setengah tertekan (*semi unconfined aquifer*)

Akuifer setengah tertekan adalah akuifer yang lapisan di atas atau di bawahnya masih mampu meloloskan air meskipun sangat kecil.

3. Akuifer setengah bebas (*semi unconfined aquifer*)

Akuifer ini merupakan peralihan antara akuifer setengah tertekan dengan akuifer bebas. Dimana lapisan bawahnya yang merupakan lapisan kedap air, sedangkan lapisan atasnya merupakan material berbutir halus, sehingga pada lapisan penutupnya memungkinkan adanya gerakan air.

4. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*)

Pada akuifer ini lapisan atasnya mempunyai permeabilitas yang tinggi, sehingga tekanan udara di permukaan air sama dengan atmosfer. Air tanah dari akuifer ini disebut air tanah bebas (tidak tertekan) dan akuifernya sendiri sering disebut *water table aquifer*.

Air hujan sebagian besar akan mengalir di permukaan sebagai air permukaan seperti sungai, danau, atau rawa. Sebagian kecil akan meresap ke dalam tanah, yang bila meresap terus hingga zona jenuh akan menjadi air tanah. Bagian yang meresap dekat permukaan akan di uapkan kembali lewat tanaman yang kita kenal dengan evapotranspiration. Penguapan evaporation terjadi langsung pada tubuh air yang terbuka. Sedangkan aliran permukaan akan bermuara kembali ke laut, dan proses hidrogeologi diatas akan berlangsung lagi, demikian seterusnya. Selain air sungai dan air hujan, air tanah juga mempunyai

peranan yang sangat penting terutama dalam menjaga keseimbangan dan ketersediaan bahan baku air untuk kepentingan rumah tangga maupun untuk kepentingan industry. Di beberapa daerah, ketergantungan pasokan air bersih dan air tanah telah mencapai $\pm 70\%$. Sebenarnya dibawah permukaan tanah terdapat kumpulan air yang mempersatukan kumpulan air yang ada di permukaan. Kumpulan air inilah yang disebut air tanah. Air bawah tanah atau sering disangka dengan air tanah, adalah air yang terdapat pada ruang antar butir batuan atau celah-celah batuan. Letak air tanah dapat mencapai beberapa puluh bahkan beberapa ratus meter di bawah permukaan bumi. Lapisan batuan ada yang lolos air atau biasa disebut permeable dan ada pula yang tidak lolos atau kedap air yang biasa disebut impermeable. Lapisan lolos air misalnya terdiri dari kerikil, pasir, batu apung, dan batuan yang retak-retak, sedangkan lapisan kedap air antara lain terdiri dari napal dan tanah liat atau tanah lempung. Sebetulnya tanah lempung dapat menyerap air, namun setelah jenuh air, tanah jenis ini tidak dapat lagi menyerap air.

Air tanah terbentuk berasal dari air hujan dan air permukaan, yang meresap (*infiltrate*) mula-mula ke zona tak jenuh (*zone of aeration*) dan kemudian meresap makin dalam (*percolate*) hingga mencapai zona jenuh air dan menjadi air tanah. Air tanah adalah salah satu fase dalam daur hidrologi, yakni suatu peristiwa yang selalu berulang dari urutan tahap yang dilalui air dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer; penguapan dari darat atau laut atau air pedalaman, pengembunan membentuk awan, penguapan kembali (Kamus Hidrologi, 1987).

Dari daur hidrologi tersebut dapat di pahami bahwa air tanah berinteraksi dengan air permukaan serta komponen-komponen lain yang terlibat dalam daur hidrologi termasuk bentuk topografi, jenis batuan penutup, penggunaan lahan, tumbuhan penutup, serta manusia yang berada di permukaan. Air tanah dan air permukaan saling berkaitan dan berinteraksi. Setiap aksi pemompaan, pencemaran terhadap air tanah akan memberikan reaksi terhadap air permukaan, demikian sebaliknya.

E. Hubungan Curah Hujan Dengan Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan *(Ponding Time)*

1. Curah hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh ke permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi (evaporasi), mengalir (*run off*) dan meresap kedalam tanah (infiltrasi).

2. Curah Hujan Berulang

Curah hujan berulang adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, periode ulang/kala ulang adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini tidak terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap periode ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan periode ulang 10 tahun, tidak berarti akan terjadi setiap 10 tahun, akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka waktu 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian

hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10 tahun terjadi hujan 10 tahunan lebih dari satu kali, atau sebaliknya tidak terjadi sama sekali.

3. Hubungan Curah Hujan Dengan Permeabilitas

Secara umum infiltrasi dan perkolasi disamakan dengan rembesan (permeabilitas, *seepage*). Perkolasi dan infiltrasi dibedakan pada ke dalamannya saja. Infiltrasi merupakan gerakan air melalui permukaan tanah menuju ke dalam tanah. Besarnya infiltrasi tergantung dari tipe vegetasi dipermukaan tanah, faktor lapisan permukaan tanah, suhu, intensitas hujan, karakteristik fisik tanah, dan kualitas airnya (Viessman, 1977). Aliran infiltrasi masuk melewati permukaan tanah, sehingga sangat dipengaruhi kondisi permukaan tanah. Tanah sebagai media aliran mempunyai beberapa klarifikasi yaitu permeabilitas tanah, kelembaban tanah, porositas tanah, jenis tanah dan lain-lain.

4. Hubungan Curah Hujan Dengan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

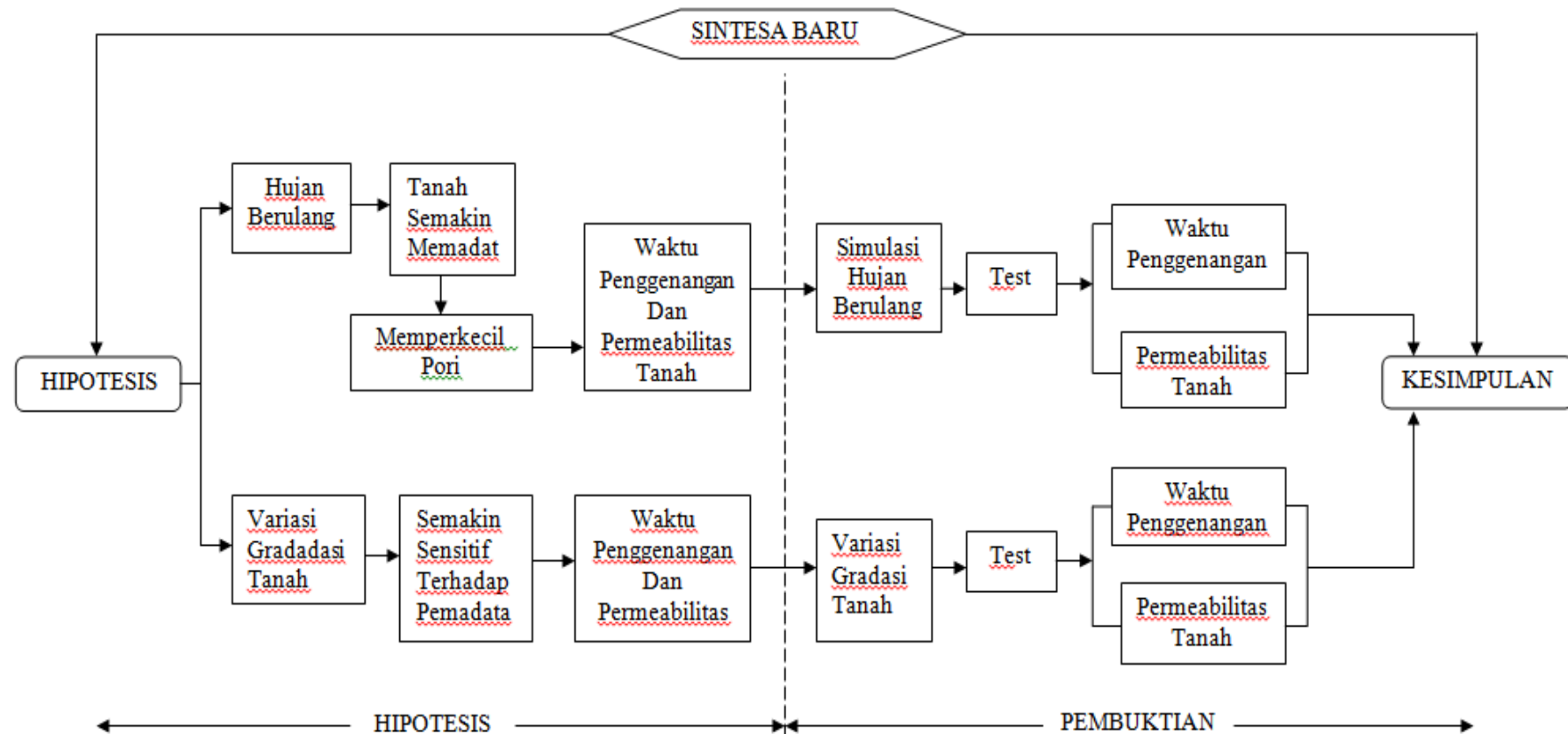
Genangan merupakan stress abiotik utama, genangan sering terjadi dilahan pertanian karena meningkatnya curah hujan yang tinggi, permeabilitas tanah yang rusak dan drainase tanah yang tidak baik atau lambat dalam menyalurkan kelebihan air. Daya serap air secara alamiah ke dalam tanah bergantung dari kondisi kelulusan tanah, liputan permukaan dan lain-lain. Semakin padat tanah, semakin sedikit ke lulusannya (permeabilitas) sehingga air semakin sulit masuk ke dalam tanah. Semakin lebat liputan tumbuh-tumbuhan menutup lahan, semakin besar daya penahanan air hujan untuk tidak menjadi larian (*run off*). Akan tetapi

penutup lahan yang bukan dari tumbuh-tumbuhan seperti aspal, plesteran dan cor beton justru menurunkan daya serap air hujan ke dalam tanah.

F. Review Penelitian Terkait Sebelumnya

Topik penelitian ini belum menjadi perhatian peneliti selama ini, sehingga penelitian terkait dengan judul penelitian ini belum kami temukan

G. Kerangka Fikir



Gambar 2.5 : Kerangka fikir penelitian

Hipotesis

Makin sering dihujani atau makin banyak frekuensi, akan semakin padat struktur tanah sehingga permeabilitas tanah semakin kecil dan penggenangan semakin tinggi.

Pembuktian

Pengujian dengan rainfall simulator, menggunakan frekuensi hujan berulang, untuk mengetahui perubahan permeabilitas tanah dan waktu penggenangan pada setiap tahap hujan yang terjadi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Dan Waktu Penelitian

1. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Hidrologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Waktu Penelitian

Penelitian pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 23 April sampai dengan 16 Mei 2018.

B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian “pengujian (*Model Experimental*)”, dengan menggunakan alat *rainfall simulator* dimana kondisi penelitian ini di disain dan diatur sedemikian rupa dengan mengacu pada sumber-sumber rujukan/literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut.

2. Sumber Data

Pada penelitian ini akan menggunakan sumber data yakni :

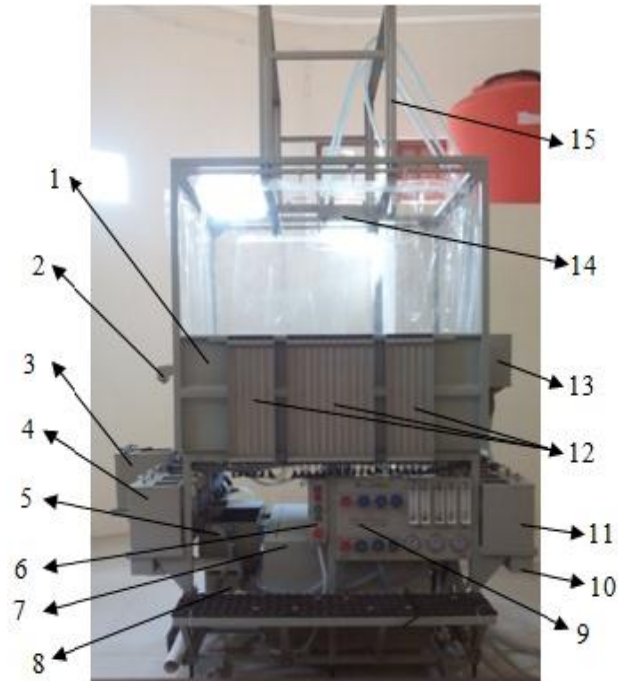
- a. Data primer, yakni data yang diperoleh secara langsung dari simulasi dan pengamatan langsung dari model fisik di laboratorium Hidrologi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
- b. Data sekunder, yakni data yang diperoleh dari instansi terkait seperti data curah hujan untuk Wilayah Kabupaten Gowa dari Dinas PU dan BMKG Kabupaten Gowa, serta data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada, baik penelitian laboratorium maupun penelitian langsung di lapangan yang terkait dengan penelitian ini.

C. Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan penelitian ini dilakukan rancangan penelitian yang meliputi: persiapan alat dan bahan, prosedur penelitian serta data dan variabel penelitian. Uraian mengenai rancangan penelitian tersebut disusun sebagai berikut :

1. Alat

a. Satu set alat *rainfall simulator*

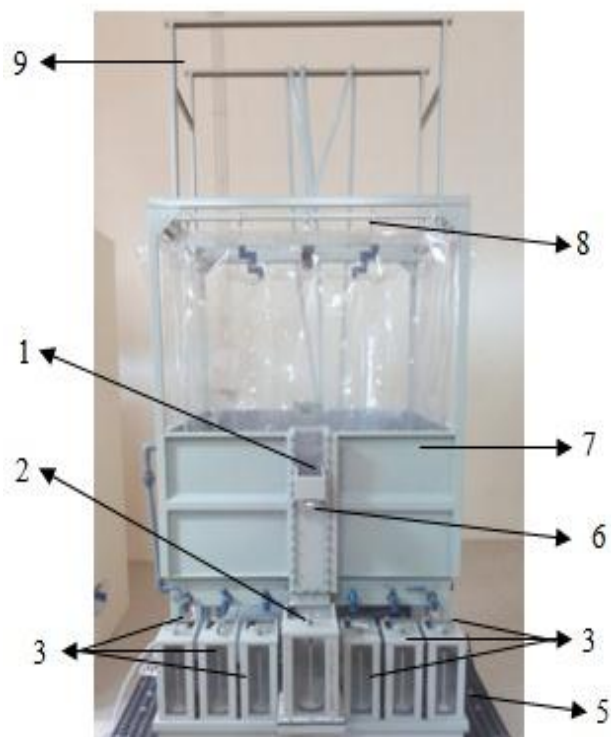


Gambar 3.1 : Tampak depan alat *rainfall simulator*

Keterangan Gambar :

1. Bak percobaan utama.
2. Pintu keluaran air dari bak percobaan utama.
3. Bejana pengukuran *drain* sisi kiri (ada 6 buah).
4. Penampungan air dan penyaring air buangan dari bejana pengukuran keluaran bak percobaan.
5. Penampungan air dan penyaring air buangan dan bejana pengukuran keluaran bak percobaan
6. Panel kendali 1
7. *Reservoir* (penampungan air sumber hujan).

8. Penampung air buangan untuk seluruh bejana pengukuran *drain* dari seluruh *drain*.
9. Panel kendali katup untuk operasional sistem *Basic Hydrology Study System*.
10. Saluran pembuangan bejana pengukuran dari *drain*.
11. Bejana pengukuran *drain* sisi kanan (ada 6 buah).
12. *Manometer Bank* (ada 23 titik untuk dua sumbu berbeda).
13. Bejana sebagai masukan sumber air untuk mensimulasikan aliran sungai pada bak percobaan.
14. Posisi penempatan *nozzle* hujan pada *gantry* (dudukan menggantung).
15. *Gantry* (dudukan menggantung)



Gambar 3.2 : Tampak samping kiri alat *rainfall simulator*

Keterangan Gambar :

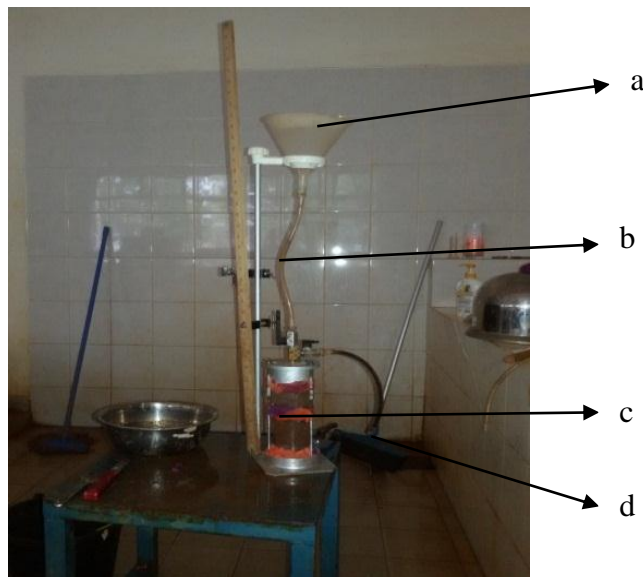
1. Tempat pemasangan belalai saluran air ke bejana pengukuran keluaran bak percobaan.
2. Bejana pengukuran keluaran air dari bak percobaan utama.
3. Bejana pengukuran *drain* sisi kiri (ada 6 buah).
4. Penampungan air buangan untuk seluruh bejana pengukuran *drain* dari seluruh *drain*.
5. Pijakan kaki sebagai alat bantu untuk memudahkan aktifitas di bak percobaan.
6. Pintu keluaran air dari bak percobaan utama.
7. Bak percobaan utama.
8. Posisi penempatan *nozzle* hujan pada *gantry* (dudukan menggantung)
9. *Gantry* (dudukan menggantung).



Gambar 3.3 : Media uji tangkap air hujan

b. Satu Set Alat Uji Permeabilitas

Alat yang digunakan untuk uji permeabilitas pada penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 3.4 : Alat uji permeabilitas (Laboratorium Universitas Hasanuddin)

Keterangan Gambar :

- 1) Corong sebagai alat bantu untuk menuangkan air kedalam tabung uji.
- 2) Selang alat bantu masuknya air dari corong ke tabung uji.
- 3) Tabung uji permeabilitas tempat media tanah.
- 4) Selang keluarnya air ke gelas ukur permeabilitas.

c. Alat bantu

Adapun alat bantu yang digunakan untuk menunjang pengujian laboratorium sebagai berikut :

- a) Alat tulis dan tabel isian data dari hasil pengamatan.
- b) Kamera digital untuk dokumentasi proses pengamatan
- c) Komputer, printer dan scanner untuk pengimputan data

- d) Pipa sampel yang akan digunakan untuk media tanah,
- e) *Stopwatch* sebagai alat untuk menghitung waktu lama penggenangan dan permeabilitas tanah
- f) Kalkulator sebagai alat hitung,
- g) Tanah dengan persentase gradasi yang telah ditentukan
- h) Cangkul, martil, kantong plastik, skop), dan lain- lainnya yang digunakan untuk membantu kelancaran penelitian.

2. Bahan

Bahan yang di gunakan dalam penelitian sebagai berikut :

- a) Tanah, jenis tanah yang digunakan adalah tanah pasir, lempung dan lanau yang divariasikan
- b) Air, jenis air yang digunakan adalah air yang tidak terkontaminasi dengan air limbah, untuk membuat hujan buatan dengan menggunakan alat simulasi hujan (*rainfall simulator*).

3. Prosedur Dan Pelaksanaan Penelitian

1. Penelitian dan Pemeriksaan Media Tanah

Setelah pengambilan sampel tanah pada lokasi yang ditentukan, tanah tersebut terlebih dahulu dijemur dibawah sinar matahari sampai kering, setelah tanah dalam keadaan kering kemudian tanah tersebut disaring dengan nomor ayakan yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan penelitian, agar mendapatkan

kondisi tanah yang bagus untuk dilakukan penelitian pada alat simulasi hujan (*rainfall simulator*).

2. Prosedur Setting Media Tanah

Sebelum prosedur pengujian model simulasi hujan (*rainfall simulator*) dilaksanakan, perlu dilakukan pemadatan tanah pada tangki uji secara lapis per lapis dengan ketebalan per lapis sesuai yang direncanakan.

Dengan menggunakan metode :

$$Dr = \frac{\gamma_d \text{ Lapangan}}{\gamma_d \text{ Laboratorium}} \times 100\%$$

Dalam penelitian ini ada 3 sampel tanah yang digunakan yaitu (Dr1, Dr2, Dr3). Setelah nilai γ_d Lap diketahui, selanjutnya di kondisikan berat tanah dan volume tanah setelah dipadatkan (volume yang ditargetkan untuk dicapai dalam pemadatan).

$$\gamma_d \text{ Lap} = \frac{\text{Berat tanah yang akan dipadatkan}}{\text{Volume tanah setelah dipadatkan}}$$

$$\text{Vol. Padat} = \frac{\text{Berat tanah yang akan dipadatkan}}{\gamma_d \text{ Lapangan}}$$

Kemudian untuk mendapatkan ketinggian tanah yang akan di uji maka dihubungkan dengan volume yang di targetkan untuk dicapai dalam pemadatan menggunakan persamaan :

$$\text{Vol. Padat} = A \cdot t$$

$$t = \frac{\text{Vol. Padat}}{A}$$

Dengan :

Dr = kerapatan relatif

A = luas tangki uji pada alat *rainfall simulator*

t = tinggi sampel yang direncanakan (cm)

Dan untuk mendapatkan berat tanah kering dipadatkan pada setiap lapisan digunakan persamaan :

$$\gamma_{\text{dry}} = \frac{\text{Berat tanah kering}}{\text{Volume tanah kering}}$$

Dimana :

$$\text{Berat tanah kering} = \gamma_{\text{dry}} \times \text{volume tanah padat}$$

3. Prosedur *Running Test*

- a. Stel alat *rainfall simulator* sesuai dengan intensitas curah hujan yang akan diaplikasikan (I_{15}).
- b. Pencatatan infiltrasi dilakukan pada menit 1' 2' 3' 5' 7' 10' 15' 20' 25' 30' 35' 40' 45' 50' 55' 60' 70' 80' 90' 100' 110' 120' 130' 140' 150' 160' 170' 180' 200' 220' 240' 260' 280' 300' 330' 360' dst setiap penambahan 30 menit sampai infiltrasi berhenti.
- c. Lakukan pengujian dengan frekuensi hujan bervariasi secara berturut-turut : 1x, 2x, 3x, 4x, 5x.
- d. Penambahan frekuensi dilakukan setelah infiltrasi berhenti

4. Prosedur Pengamatan Permeabilitas

Prosedur Test ini dimaksudkan untuk menentukan permeabilitas tanah sebagai berikut :

- a. Memeriksa dan menyiapkan tabung test permeabilitas tanah *constant head* sebelum digunakan.
- b. Ambil contoh tanah asli yang tidak terganggu dari bag pengujian *Rainfall simulator* dengan menggunakan pipa yang sesuai dengan tinggi tabung uji .
- c. Memasang batu pori dan kertas filter pada bagian bawah tabung constant head.
- d. Memasukkan contoh tanah yang akan ditest
- e. Apabila sampel tanah sudah di masukkan, kemudian meletakkan kertas filter dan batu pori diatas sampel tanah tersebut.
- f. Setelah selesai memasang kertas filter dan batu pori diatas sampel, kemudian tutuplah tabung dengan cara memutar baut yang ada pada penutup tabung uji.
- g. Memasukkan air kedalam tabung uji dengan menggunakan corong dan terjadilah aliran air dalam tanah dan memeriksa agar di dalam tabung tidak ada udara sama sekali, untuk mengeluarkan udara yang ada dalam tabung dapat di lakukan dengan membuka dan menutup kran air sampai benar-benar tidak ada udara dalam tabung.
- h. Apabila sudah dalam keadaan jenuh, maka mulailah dilakukan pengukuran. Air yang keluar dari dalam tabung uji di tampung dalam gelas ukur, mencatat waktu yang diperlukan untuk mengumpulkan air didalam gelas ukur.

5. Prosedur Pengamatan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

Adapun prosedur pengamatan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan dilakukan untuk mengantisipasi segala keadaan yang berkaitan dengan prosedur penelitian, seperti;

- (1) Pembersihan,
- (2) Pengecekan alat dan bahan yang akan diuji,
- (3) Persiapan perangkat dan instrument yang dibutuhkan, dan
- (4) Persiapan personil pengamatan serta persatuan persepsi dalam melakukan tindakan pengujian, pengamatan dan pencatatan.

b. Tahapan *running test*

Running test yaitu pengamatan waktu penggenangan (*ponding time*) pada intensitas curah hujan I_{15} dan frekuensi hujan F_1 . Untuk variasi tanah diambil tanah (Sampel 1), kemudian tanah tersebut dimasukkan ke dalam bak pengujian. Tinggi tanah dalam bak uji sesuai yang telah direncanakan. Tanah yang dimasukkan ke dalam bak pengujian sebanyak tiga lapis, setiap lapisnya dipadatkan. Tanah yang berada dalam bak uji dilindungi dari air yang keluar dari *nozzle* sebelum dicapai keadaan muka air konstan dengan menggunakan media uji tangkapan air hujan, seperti pada gambar 3.3. Setelah air dalam bak penampungan konstan dengan ketinggian yang sesuai dengan intensitas hujan yang diinginkan. Pelindung sampel atau media uji tangkapan air hujan dibuka dan secara bersamaan menekan tombol *on* pada *stopwatch*. Tiap selang waktu 5 menit selama hujan berlangsung waktu penggenangan dan tinggi penggenangan

yang terjadi dicatat dalam tabel pengamatan. Sampai tanah dikatakan jenuh, infiltrasi dan *run off* dinyatakan konstan, lalu hujan buatan dihentikan. Untuk tahapan running test ke-2 sampai dengan running test ke-5 sama dengan tahapan running test ke-1. Kemudian lakukan pembongkaran sampel pada bak percobaan, untuk dilakukan running test ke-1 untuk intensitas curah hujan I_{15} .

Demikian juga untuk intensitas curah hujan I_{25} untuk tahapan running test ke-1 sampai dengan running test ke- 5 sama dengan running test ke-1 intensitas curah hujan I_{15} yang membedakan hanya intensitas curah hujannya.

Data dari lapangan atau laboratorium diolah sebagai bahan analisis terhadap hasil studi ini, sesuai dengan tujuan dan sasaran pengujian. Adapun data pengamatan hasil uji laboratorium diolah menjadi bahan analisa hasil kajian sesuai dengan tujuan penelitian. Data yang diolah menjadi bahan analisa adalah:

1. Data permeabilitas tanah (K)
2. Waktu durasi penggenangan (*ponding time*) (t) menit,
3. Tinggi genangan (cm)

Pengambilan data pengamatan sangat diperlukan dimana akan digunakan sebagai parameter analisa, oleh karena itu pencatatan data tersebut dilakukan pada setiap kondisi yang terkait langsung dengan tujuan penelitian.

4. 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 variabel*) dan variabel terikat (*dependent variabel*).

a. Variabel Bebas (*Independent Variabel*)

Menurut Sugiyono (2012), variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (*dependent variabel*). Variabel bebas pada penelitian ini yaitu :

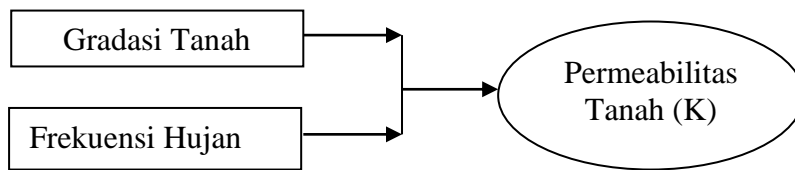
1. Gradasi tanah
2. Frekuensi hujan berulang

b. Variabel Terikat (*Dependent Variabel*)

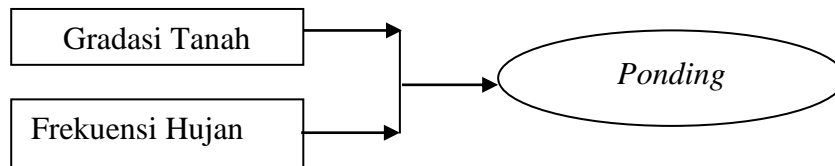
Variabel terikat (*dependent variabel*) merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2012). Variabel terikat pada penelitian ini yaitu :

1. Permeabilitas Tanah
2. waktu penggenangan (*Ponding Time*)

Adapun hubungan kedua variabel tersebut maka dibuatkan gambar skema hubungan variabel sebagai berikut:



- a. Skema hubungan gradasi tanah dan frekuensi hujan berulang dengan permeabilitas tanah



- b. Skema hubungan gradasi tanah dan frekuensi hujan berulang dengan waktu penggenangan (*ponding time*)

Gambar 3.5 : Skema Hubungan Variabel Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian ini maka pengujian dilakukan dengan uji fisik laboratorium dengan kajian permeabilitas dan waktu penggenangan (*ponding time*). uji fisik ini dimaksudkan untuk mengamati dan mengetahui pengaruh frekuensi hujan berulang dan intensitas curah hujan terhadap permeabilitas tanah (*common soil*) dan waktu penggenangan (*ponding time*).

- c. Defenisi Operasional

Menurut (Sugiyono, 2012) Defenisi operasional adalah konstrak atau sifat yang akan dipelajari sehingga menjadi variabel yang dapat diukur. Definisi operasional menjelaskan cara tertentu yang digunakan untuk meneliti dan mengoperasikan konstrak, sehingga memungkinkan bagi peneliti yang lain untuk melakukan reliaksi pengukuran dengan cara yang sama atau mengembangkan cara pengukuran konstrak yang lebih baik. Dalam penelitian ini terdapat empat variabel yang di variasikan dan diamati, dengan defenisi operasional sebagai berikut :

a) Gradasi tanah

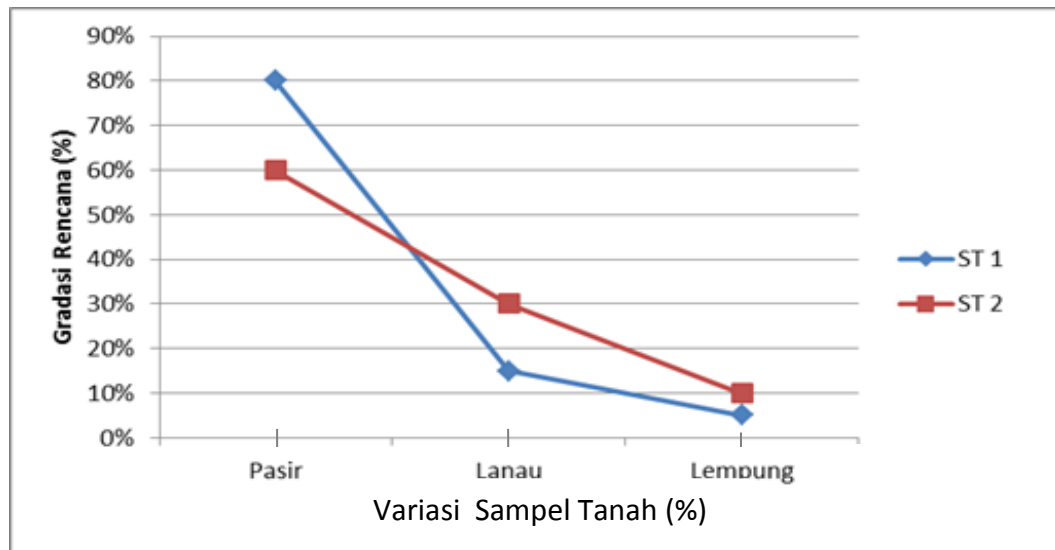
Gradasi tanah atau biasa disebut gradasi agregat adalah distribusi ukuran agregat. Dapat juga disebut pengelompokan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai presentase dari total agregat atau presentase kumulatif butiran yang lebih kecil atau lebih besar dari masing-masing seri bukan saringan.

Ada tiga variasi tanah yang digunakan dalam penelitian ini, dengan menggunakan tiga jenis tanah yaitu: pasir, lanau, dan lempung. Ketiganya divariasikan dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 3.1 : Gradasi Rencana

Nomor Sampel	Pasir	Lanau	Lempung
1	± 80%	± 15%	± 5%
2	± 60%	± 30%	± 10%

Berdasarkan gradasi rencana pada tabel di atas maka kemudian dibuatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 3.6 : Gradasi Rencana

Berdasarkan tabel 4.1 dan gambar 3.6 pada gradasi rencana untuk pelaksanaan penelitian sebagai berikut: pada sampel 1 (sampel tanah) pasir = 80%, lanau = 15 % dan lempung = 5%, untuk sampel 2 (sampel tanah) pasir = 60%, lempung = 30 % dan lanau = 10%.

b) Curah hujan berulang

Curah hujan berulang adalah rerata jumlah air hujan yang memiliki intensitas sama yang jatuh secara berulang.

Curah hujan berulang yang di gunakan dalam penelitian ini adalah simulasi hujan dengan alat *rainfall simulator* yang menggunakan frekuensi hujan berulang yang sama.

c) Permeabilitas

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk meloloskan atau melewatkan air. Permeabilitas tanah juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap infiltrasi air ke dalam tanah.

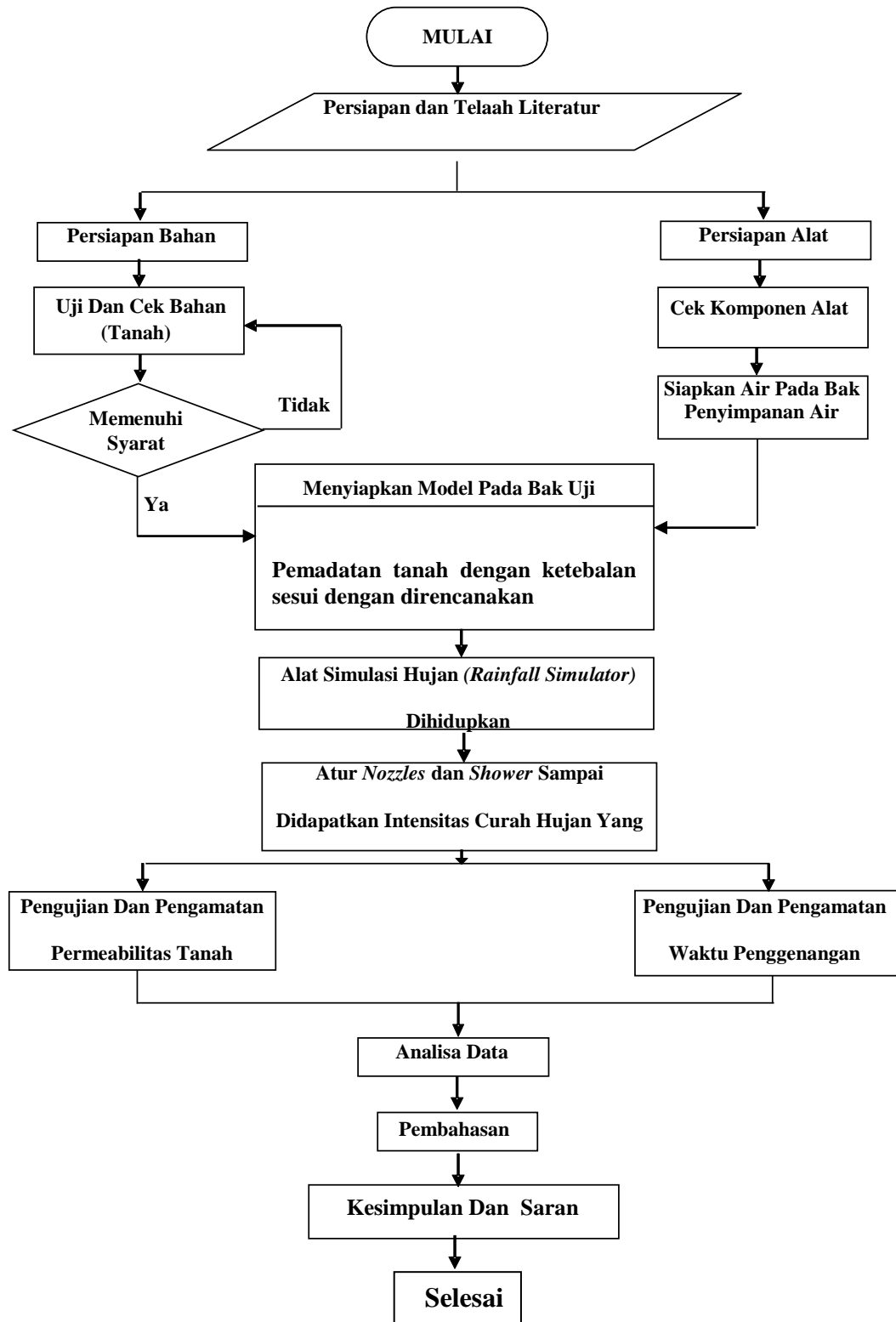
Dalam penelitian ini permeabilitas tanah diamati saat tanah mulai dihujani sampai tanah tidak dapat lagi meloloskan air.

d) Waktu penggenangan (*Ponding time*)

Waktu penggenangan adalah kondisi pada saat air mulai berada di permukaan/menggenang saat hujan berhenti dan berapa intensitas waktu yang dibutuhkan sampai air habis di permukaan.

Waktu penggenangan diamati pada saat hujan lebih besar atau sama dengan besarnya laju infiltrasi dan pada saat tanah membutuhkan waktu sampai pada kondisi jenuh.

D. Bagan dan Alur Penelitian



Gambar 3.7 : Bagan dan Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan

Berdasarkan hasil penelitian pada 3 jenis tanah yang divariasikan (gradasi tanah) terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan (*ponding time*) pada frekuensi hujan berulang (studi laboratorium) maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Karakteristik Tanah

Dari hasil pengamatan sampel tanah pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, didapatkan hasil klasifikasi tanah. Berikut ini diterangkan penentuan klasifikasi AASHTO Untuk tipe A-2-6. Hasil pengujian di laboratorium diperoleh data: batas plastis (PL) = 23,33, batas cair (LL) = 37,39, sedangkan analisis saringan dapat dilihat pada tabel berikut :

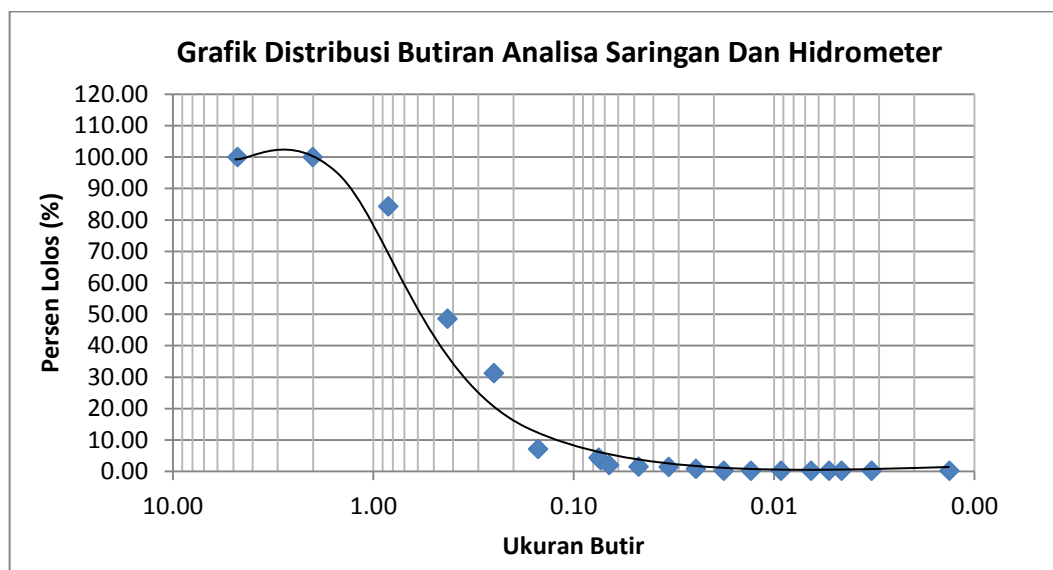
Tabel 4.1 : Sampel 1

No	Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)
1	4	4,75	0	0
2	8	2	0	0
3	16	0,84	103	9,20
4	40	0,425	385	43,57
5	50	0,25	272	67,86
6	100	0,15	270	91,96
7	200	0,075	34	95,00
8	Pan	-	56	100
	Total		1120	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari hasil pengujian analisa saringan pada tabel menunjukkan bahwa :

1. Pada saringan nomor 4 dan 8 berat tertahan sama dengan 0, karena yang tertahan disaringan no.4 dan 8 dikategorikan sebagai kerikil.
2. Pada saringan nomor 16, 40, dan 50 dikategorikan sebagai pasir (*sand*) dengan berat 1780 (gram) atau 68,75 % dari total sampel pengamatan.
3. Pada saringan nomor 100 dan 200 dikategorikan sebagai debu (*silt*) dengan berat 696 (gram) atau 26,88 % dari total sampel pengamatan.
4. Material pada pan yaitu material yang lolos saringan nomor 200 yang dikategorikan sebagai tanah liat (*clay*) dengan berat 113 gram atau 4,37% dari total sampel pengamatan.



Gambar 4.1 : Grafik Distribusi Butir Analisa saringan dan Hidrometer

Dari hasil pengujian analisa saringan dengan hidrometer yang terdapat pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa jumlah presentase dengan menggunakan berbagai ukuran saringan kita dapat membedakan fraksi kasar, sedang dan halus. Fraksi kasar sebanyak 67, 85 %, fraksi sedang sebanyak 27,14 % dan fraksi halus

5 % . Dengan alat hidrometer kita dapat mengetahui ukuran butiran tanah yang lebih kecil dari butiran yang lolos ayakan 200.

Tabel 4.2 : Sampel 2

No	Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)
1	4	4,75	0	0
2	8	2	0	0
3	16	0,84	406	15,68
4	40	0,425	925	51,41
5	50	0,25	449	68,75
6	100	0,15	626	92,93
7	200	0,075	70	95,64
8	Pan	-	113	100
Total			2589	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari hasil pengujian analisa saringan pada tabel menunjukkan bahwa :

1. Pada saringan nomor 4 berat tertahan sama dengan 0 sedangkan yang tertahan di saringan 8 berat tertahan sama dengan 50 (gram) dan dikategorikan sebagai kerikil.
2. Pada saringan nomor 16, 40, dan 50 dikategorikan sebagai pasir (*sand*) dengan berat 1117 (gram) atau 39,38 % dari total sampel pengamatan
3. Pada saringan nomor 100 dan 200 dikategorikan sebagai debu (*silt*) dengan berat 1402 (gram) atau 49,43 % dari total sampel pengamatan.
4. Material pada pan yaitu material yang lolos saringan nomor 200 yang dikategorikan sebagai tanah liat (*clay*) dengan berat 207 gram atau 7,29 % dari total sampel pengamatan.

batas plastis (PL) = 23,33 %, Sehingga indeks plastisnya, $PI = LL - PL = 37,39 - 23,33 = 14,06 \%$.

Sampel 2 :

1. Ukuran Butir

Butiran melalui ayakan No. 200 sebesar 7,29 %, sehingga termasuk dalam material granuler (<35 % lolos saringan no.200)

2. Plastisitas

Berlanau, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisas > 10 . Hasil indeks plastisitas dalam penelitian ini didapat dari nilai batas cair (LL)= 34,50 %, batas plastis (PL) = 26,111 %, Sehingga indeks plastisnya, $PI = LL - PL = 34,50 \% - 26,111 \% = 8,389 \%$.

Dari hasil pengamatan analisa saringan sampel tanah pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, dirangkum kedalam tabel dengan sistem klasifikasi AASHTO, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.3 : Hasil Klasifikasi AASHTO

No	Uraian	Satuan	Nilai		Keterangan
			Sampel A	Sampel B	
1	Kadar Air	%	31.05	44.51	1. Sampel A (Tipe A-2-4) Tipe Material Secara Umum Adalah Pasir Berlanau Mengandung
2	Batas-Batas Atterberg				
	1. Batas Cair (LL)	%	37.39	34.5	
	2. Batas Plastis (PL)	%	23.33	26.11	
	3. Indeks Plastis (PI)	%	14.06	8.38	Kerikil Dengan Kondisi Tanah Dasar Baik Hingga Sangat Baik
	4. Batas Susut	%		8.16	
3	Distribusi Butiran				2. Sampel B (Tipe A-2-6) Tipe Material Secara Umum Adalah Pasir Berlanau Mengandung Banyak Kerikil Dengan Kondisi Tanah Dasar Baik Hingga Sangat Baik
	1. Fraksi Kasar	%	62	56	
	2. Fraksi Halus	%	38	44	
4	Kompaksi				Umum Adalah Pasir Berlanau Mengandung Banyak Kerikil Dengan Kondisi Tanah Dasar Baik Hingga Sangat Baik
	1. Berat Isi Optimum	gr/cm ²	2.1	2.1	
	2. Kadar Air Optimum	%	34	44	
5	Kepadatan		Nilai		
			I15		
	Derajat Kepadatan (D)	%	61.51	93.26	

Sumber : Hasil Pengamatan Laboratorium.

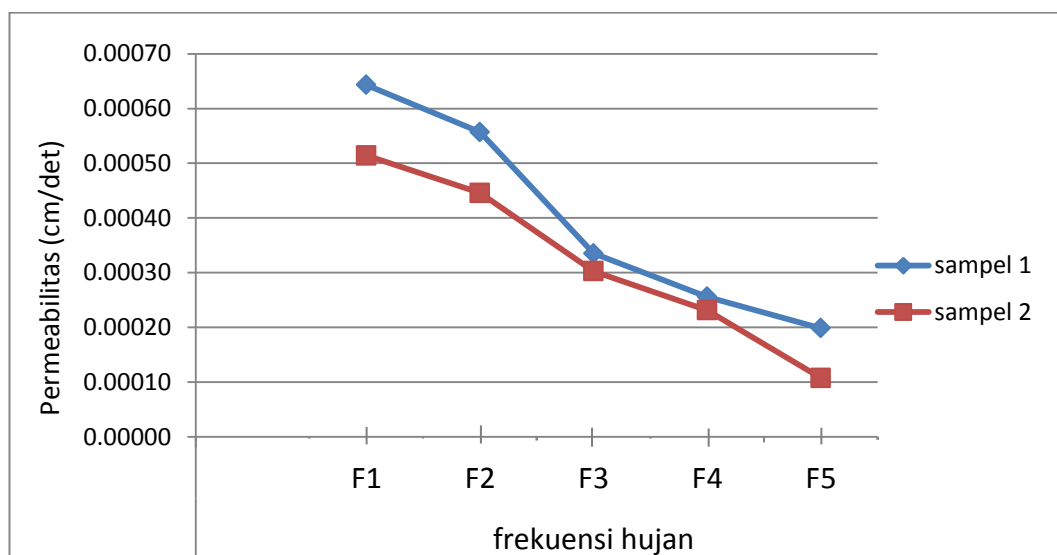
2. Permeabilitas Pada Gradasi Tanah

Penyajian data dan analisis permeabilitas dapat dilakukan secara berturut-turut pada 3 jenis gradasi tanah dan frekuensi hujan berulang. Uraian mengenai permeabilitas pada gradasi tanah tersebut disajikan sebagai berikut :

Tabel 4.4 : Permeabilitas pada gradasi tanah

Frekuensi Hujan (F)	Permeabilitas pada gradasi tanah	
	Sampel 1	Sampel 2
	(cm/detik)	(cm/detik)
F1	0.00064	0.00051
F2	0.00056	0.00045
F3	0.00034	0.00030
F4	0.00026	0.00023
F5	0.00020	0.00011

Dari hasil pengamatan gradasi tanah terhadap permeabilitas pada tabel diatas kemudian dibuatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.3 : Grafik permeabilitas pada gradasi tanah

Dari tabel 4.4 dan gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan peningkatan frekuensi hujan (*running*) pada gradasi tanah yang berbeda yaitu sampel 1 dan sampel 2, dengan intensitas hujan yang sama maka koefisien permeabilitas yang terjadi berbanding terbalik dengan bertambahnya jumlah frekuensi hujan. Dimana koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F1 dengan intensitas hujan I_{15} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00064$ cm/det, dan $K = 0.00051$ cm/det, koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F2 dengan intensitas hujan I_{15} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00056$ cm/det, dan $K = 0.00045$ cm/det, koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F3 dengan intensitas hujan I_{15} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00034$ cm/det, dan $K = 0.00030$ cm/det, koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F4 dengan intensitas hujan I_{15} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00026$ cm/det, dan $K = 0.00023$ cm/det, koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F5 dengan intensitas hujan I_{15} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00020$ cm/det, dan $K = 0.00011$ cm/det.

Berdasarkan hasil uji permeabilitas pada gradasi tanah dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya frekuensi hujan dengan intensitas hujan yang sama maka struktur tanah semakin padat sehingga koefisien permeabilitasnya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pori-pori tanah semakin kecil sehingga semakin sulit untuk meloloskan air maka semakin rendah juga permeabilitas yang terjadi.

3. Waktu Penggenangan Pada Frekuensi Hujan Berulang

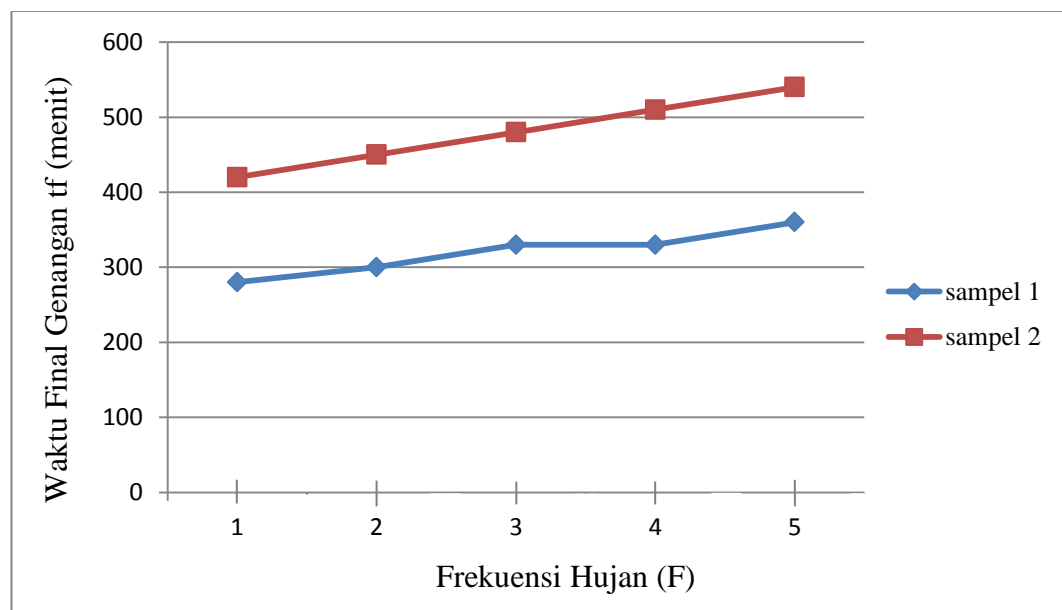
Penyajian dan analisis waktu penggenangan dapat dilakukan secara berturut-turut pada tiga variasi gradasi tanah sampel 1 dan sampel 2, dengan

intensitas curah hujan I_{15} yang sama. Uraian mengenai hasil waktu penggenangan dari proses tersebut disajikan sebagai berikut :

Tabel 4.5 : Waktu penggenangan pada frekuensi hujan berulang

Frekuensi Hujan (F)	waktu final genangan t_f (menit), pada frekuensi hujan (F)	
	Sampel 1	Sampel 2
	(menit)	(menit)
F1	280	420
F2	300	450
F3	330	480
F4	330	510
F5	360	540

Dari hasil pengamatan waktu penggenangan pada frekuensi hujan berulang pada tabel di atas kemudian dibuatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.4 : Grafik waktu penggenangan pada frekuensi hujan berulang

Dari tabel 4.5 dan gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa frekuensi hujan F1, dengan variasi gradasi tanah pertama dan kedua menunjukkan bahwa waktu *final* genangan yaitu, $t_f = 280$ menit, dan $t_f = 420$ menit, frekuensi hujan F2,

dengan variasi gradasi tanah pertama dan kedua menunjukkan bahwa waktu *final* genangan yaitu, $t_f = 300$ menit, dan $t_f = 450$ menit, frekuensi hujan F3, dengan variasi gradasi tanah pertama dan kedua menunjukkan bahwa waktu *final* genangan yaitu, $t_f = 330$ menit, $t_f = 480$ menit, frekuensi hujan F4, dengan variasi gradasi tanah pertama dan kedua menunjukkan bahwa waktu *final* genangan yaitu, $t_f = 330$ menit, $t_f = 510$ menit, frekuensi hujan F5, dengan variasi gradasi tanah pertama dan kedua menunjukkan bahwa waktu *final* genangan yaitu, $t_f = 360$ menit, $t_f = 540$ menit.

Sehingga makin bertambahnya jumlah frekuensi hujan dengan intensitas hujan yang sama setiap sampelnya, waktu penggenangan yang dihasilkan semakin lama, saat dihujani tanah mengalami kehausan air, kemudian air masuk dan mengisi rongga tanah serta memperkecil pori-pori tanah sehingga struktur tanah semakin padat dan angka pori kecil sehingga waktu final genangan akan semakin lama karena tanah semakin sulit dalam meloloskan air.

B. Pembahasan

Pada awal penelitian ini digunakan 3 jenis tanah dengan variasi berbeda namun dalam tahap analisis data hasil penelitian salah satu sampel didapatkan hasil data yang kurang *valid (missing data)*. Sehingga data sampel 3 dikeluarkan dari analisis penelitian karena memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil analisis data dan kesimpulan apabila data tetap dipakai.

Berdasarkan hasil penelitian pada beberapa jenis tanah yang divariasikan (gradasi tanah) terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan pada frekuensi

hujan berulang (studi laboratorium) dengan *rainfall simulator* maka dapat dijabarkan sebagai berikut :

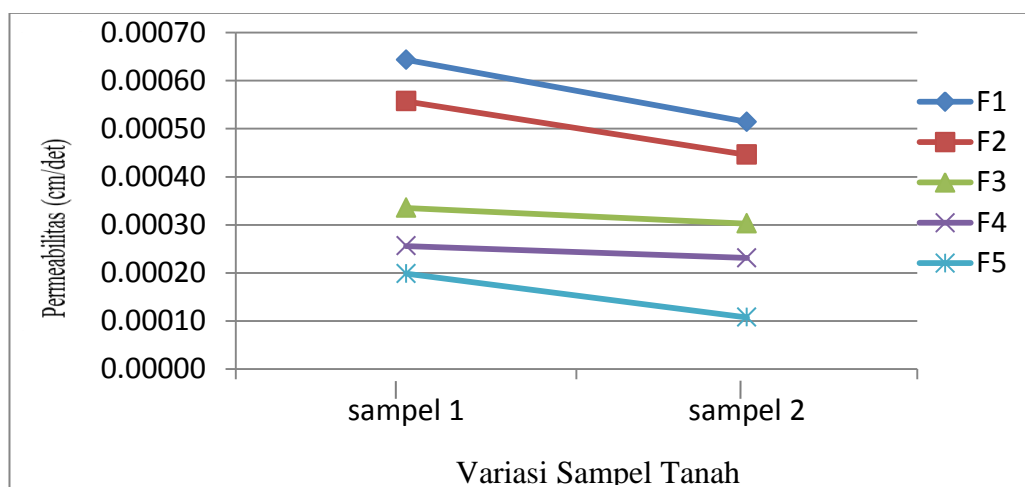
1. Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Permeabilitas

Dari penyajian data dan analisis permeabilitas dapat dilakukan secara berturut-turut pada tiga variasi gradasi tanah yaitu, sampel 1 dan sampel 2, dengan intensitas curah hujan I_{15} yang sama. Uraian mengenai hasil analisis permeabilitas dari proses tersebut disajikan sebagai berikut :

Tabel 4.6 : Gradasi tanah terhadap permeabilitas

Sampel Tanah	Gradasi tanah terhadap permeabilitas				
	F1	F2	F3	F4	F5
	(cm/detik)	(cm/detik)	(cm/detik)	(cm/detik)	(cm/detik)
Sampel 1	0.00064	0.00056	0.00034	0.00026	0.00020
Sampel 2	0.00051	0.00045	0.00030	0.00023	0.00011

Dari hasil pengamatan permeabilitas pada gradasi tanah pada tabel pada tabel diatas kemudian dibuatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.3 : Grafik gradasi tanah pada permeabilitas

Dari tabel 4.4 dan gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan banyaknya frekuensi hujan F1, F2, F3, F4, F5 dengan intensitas hujan yang sama, koefisien permeabilitas yang dihasilkan semakin kecil maka koefisien permeabilitas yang terjadi berbanding terbalik dengan frekuensi hujan berulang. Dimana koefisien permeabilitas pada sampel 1 dengan intensitas hujan I_{15} yang sama, frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima memiliki nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00064$ cm/det, $K = 0.00056$ cm/det, $K = 0.00034$ cm/det, $K = 0.00026$ cm/det, $K = 0.00020$ cm/det, koefisien permeabilitas pada sampel 2 dengan intensitas hujan I_{15} , frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima memiliki nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00051$ cm/det, $K = 0.00045$ cm/det, $K = 0.00030$ cm/det, $K = 0.00023$ cm/det, $K = 0.00011$ cm/det.

Berdasarkan hasil uji pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas pada frekuensi hujan berulang bahwa semakin bertambahnya jumlah frekuensi hujan F1, F2, F3, F4, F5 dengan intensitas curah hujan I_{15} yang sama maka struktur tanah semakin padat sehingga koefisien permeabilitas semakin kecil. hal ini dikarenakan berat isi tanah tinggi, maka kepadatan juga tinggi sehingga permeabilitas lambat dan rendah.

2. Pengaruh Gradasi Tanah Terhadap Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

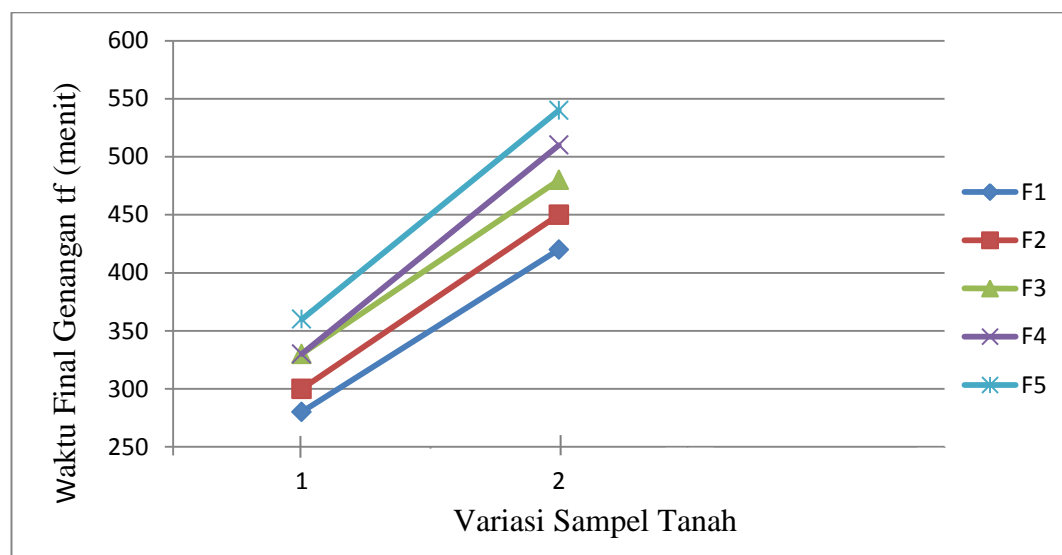
Penyajian data dan analisis waktu *final* genangan dapat dilakukan secara berturut-turut pada tiga variasi gradasi tanah yaitu, sampel 1 dan sampel 2, dengan

intensitas hujan yang sama. Uraian mengenai hasil perbandingan dari proses tersebut disajikan sebagai berikut :

Tabel 4.7 : Pengaruh gradasi tanah terhadap waktu penggenangan

Sampel Tanah	Waktu final genangan t_f (menit), pada gradasi tanah				
	F1	F2	F3	F4	F5
	(menit)	(menit)	(menit)	(menit)	(menit)
Sampel 1	280	300	330	330	360
Sampel 2	420	450	480	510	540

Dari hasil pengamatan waktu penggenangan pada frekuensi hujan berulang pada tabel di atas kemudian dibuatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.6 : Grafik pengaruh gradasi tanah terhadap waktu penggenangan

Dari tabel 4.8 dan gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa pada gradasi tanah yang berbeda yaitu sampel 1 dan sampel 2, dengan intensitas hujan yang sama. Dimana waktu *final* genangan pada sampel 1 dengan intensitas hujan yang sama atau I_{15} , frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima memiliki waktu genangan yaitu, $t_f = 280$ menit, $t_f = 300$ menit, $t_f = 330$ menit, $t_f = 330$

menit, $t_f = 360$ menit, pada sampel 2 dengan intensitas hujan yang sama atau I_{15} , frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima memiliki waktu genangan yaitu, $t_f = 420$ menit, $t_f = 450$ menit, $t_f = 480$ menit, $t_f = 510$ menit, $t_f = 540$ menit.

Berdasarkan hasil uji pengaruh gradasi tanah terhadap waktu penggenangan pada frekuensi hujan berulang bahwa seiring bertambahnya jumlah frekuensi hujan pada gradasi tanah dengan intensitas hujan yang sama, waktu genangan yang dihasilkan semakin lama. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya jumlah frekuensi hujan maka angka pori semakin kecil sehingga waktu genangan semakin lama. Artinya apabila waktu genangan naik seiring dengan bertambahnya frekuensi hujan maka tanah akan semakin padat.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

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

1. Pengaruh gradasi tanah terhadap permeabilitas pada frekuensi hujan berulang (F1, F2, F3, F4, dan F5), yaitu nilai koefisien permeabilitas yang didapatkan berbanding terbalik dengan bertambahnya frekuensi hujan yang dilakukan, jadi sering tanah dihujan dengan intensitas hujan berulang (I_{15}), maka struktur tanah dan ukuran pori semakin kecil sehingga semakin sulit meloloskan air dan semakin rendah koefisien permeabilitasnya. Nilai koefisien permeabilitas pada gradasi tanah untuk sampel 1 yaitu 0.00020 cm/detik dan nilai koefisien permeabilitas pada gradasi tanah untuk sampel 2 yaitu 0.00011 cm/detik.
2. Pengaruh gradasi tanah terhadap *ponding time* pada frekuensi hujan berulang, yaitu waktu *final* genangan sampel tanah yang butirannya divariasikan berbanding lurus dengan banyaknya frekuensi hujan yang terjadi dengan intensitas hujan berulang (I_{15}), maka struktur tanah semakin padat dan angka pori semakin kecil sehingga waktu *final* genangan yang terjadi semakin lama. Hal ini disebabkan semakin sering tanah dihujani maka semakin kecil ukuran partikel dan ukuran porinya, sehingga tanah semakin sulit meloloskan air dan waktu *final* genangan semakin tinggi. Nilai waktu *final* genangan pada

frekuensi hujan berulang sampel 1 yaitu 360 menit dan nilai waktu *final* genangan pada frekuensi hujan berulang sampel 2 yaitu 540 menit.

B. SARAN

Dalam penelitian ini digunakan intensitas hujan wilayah Kabupaten Gowa, dengan frekuensi hujan berulang (F1, F2, F3, F4 dan F5) yang intensitasnya sama (I_{15}) dengan jenis tanah yang gradasinya divariasikan yaitu pasir, lempung, dan lanau. Dari pengalaman melaksanakan penelitian, dalam pengambilan data pada beberapa jenis sampel sangat terbatas, sehingga dengan *missing* data salah satu sampel tahap analisis dan pembahasan menjadi sulit. Oleh karena itu disarankan pada penelitian berikutnya menggunakan 4 sampai 5 jenis butiran tanah atau sampel tanah dan intensitas curah hujan wilayah yang berbeda serta intensitas hujan yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah Aqsra Bandi, Sumono, Achwil Putra Munir/Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara/4 Februari 2014.
- Arsyad, S., 1989. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press, Bogor.
- Bachtiar, E. H., 2011. Ilmu Tanah. Universitas Sumatra Utara Press, Medan
- Boul, s.w; F.D. Hole ,and R.J.Mc.cracken.1980, Soil and Classification. Ames. The IUWA State University Press.
- Budi Santosa S, *Mekanika Tanah*, Erlangga Jakarta 1996.
- Brooks, R.H., dan Corey, A.T. 1964. Hydraulic Properties of Porous Media.
- Das, Braja M. (1985), *Mekanika Tanah - Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*, Jilid 1, 2, Terjemahan Noor Endah Mochtar, dan Indra Surya B. Mochtar., *Principles of Geotechnical Engineering*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Darmawijaya.,1997. Ilmu Tanah, Jakarta : Tiga Serangkai
- Dun, dkk.1992., *Dasar-dasar Goeteknik*, hal. 34
- Fakhli. 2014, Pengertian dan Klasifikasi Tanah. <http://www.kumpul Engineer.com/2014/05/ Pengertian dan Klasifikasi Gradasi.html> (diakses Pada Tanggal 13 April 2017).
- Hakim, N.M., dkk. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung.
- Hanafiah, A.K., 2005. *Dasar – Dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah I*. UGM Press, Yogyakarta.
- H. Suharta dan B.H Prasetyo., 2008., *Susunan Mineral dan Sifat Fisik Kimia* <https://media.neliti.com/media/publications/133952-ID-none.pdf>.(diakses tanggal 10 maret 2007)
- Hary Christady Hardiyatmo., 1995., *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press. Bulaksumur : Yogyakarta
- Hary Christady Hardiyatmo, 2012 *Pengertian Permeabilitas Tanah*.

- Israelsen, O.W., and Hansen, V.E., 1962. *Irrigation Principles and Practices*. Willey, New York.
- K, Iwan. 2009. *Air Tanah*. [http:// iwankgeografi03. blogspot.com /2009/020air-tanah.html](http://iwankgeografi03.blogspot.com/2009/020air-tanah.html)
- Kodoatie, R.J dan Sjarief, R., 2008. *Siklus Hidrologi*. Andi. Yogyakarta.
- Kodoatie, Robert.J. 2012. *Tata Ruang Air Tanah*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- M. Baitullah Al Amin. Blog/Pendidikan, Penelitian, Pengabdian. /2010/6/18. *Hidrologi*.
- M. Irham Nurwidyanto. 2006, Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Porositas dan Permeabilitas Pada Batu Pasir
[.https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala.fisika/article/view/3081](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala.fisika/article/view/3081)
(diakses pada tanggal 8 oktober 2012)
- Mulyadi, 2007 *Klasifikasi Tanah Salemba, Empat*. Jakarta.
- Noor, Djauhari. 2012. *Tanah dan Genesa Tanah*. https://www.academia .edu /12160888/ Tanah _dan _Genesa _Tanah
- Nady, A.E. 2011. *Permeabilitas dan Rembesan*. *Fakultasteknik-diddyt.blogspot.com/2011/08/16/permeabilitas-dan-rembesan.html* *(diakses pada 08 agustus 2016)*
- Rohmat, Dede. 2009. *Tipikal Kuantitas Infiltrasi Menurut Karakteristik Lahan*. Bandung
- Seta, A.K., 1994. *Konservasi Sumber Daya Tanah dan Air*, Penerbit Kalam Mulia Bandung.
- Simaremare, Saroha., 2015. Analisis Aliran Air Tanah Satu Dimensi (kajian laboratorium).<http://ejournal.unsri.ac.id/index.php/article/view/464>.*(diakses pada tanggal 1maret 2015)*
- Soemarto, C.D., 1987. *Hidrologi Teknik.Usaha Nasional*, Surabaya.
- Smith, M.J. (1992).*Mekanika Tanah*. Jakarta : Erlangga.
- Sugiyono,2012, *Memahami Penelitian Kualitatif*. Bandung.ALFABETA.
- Sunardi. (2006), Studi Koefisien Permeabilitas (K) Pasir Gap Graded“, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Siagian, Prasetyo. 2012. *Permeabilitas Tanah*. <http://llmu-tanah.blogspot.com/2012/06/permeabilitas-tanah.html>.
- S, Soetrisno. 2010. *Pengertian Dasar Tentang Air Tanah*. [http://st290934.sitekno.com/article/43058/pengertian-dasar-tentang-air tanah.html](http://st290934.sitekno.com/article/43058/pengertian-dasar-tentang-air-tanah.html)
- Prabowo, Rudianto W., 2009, Analisis Debit Limpasan Dengan Menggunakan Alat *Rainfall Simulator* Pada Tanah Dengan Variasi Kepadatan.
- Poenyalom. 2011. *Makalah Geografi Perairan Darat Air*. <http://poenyalom-s.blogspot.com/2011/12/makalah-geografi-perairan-darat-air.html>
- Viessman, W, Jr, dkk.,1977. *Hydrology and Water Quality Control*. John Wiley & Sons, Florida-USA.
- Youno, Teguh.2016. *Siklus Hidrologi Pengertian Proses*. <http://www.Ebiologi.com/2016/03/siklis-hidrologi-pengertian-proses.html>

LAMPIRAN A
DATA HASIL TES LAPANGAN

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN INTENSITAS
CURAH HUJAN

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN INTENSITAS CURAH HUJAN

A. Perhitungan Curah Hujan Maksimum Harian Rata - Rata

Perhitungan curah hujan maksimum harian rata - rata menggunakan metode rata - rata Aljabar mengikuti persamaan (1). Sampel perhitungan tahun 2008 dengan data curah hujan maksimum harian masing – masing stasiun: Cambayya, Paku dan B.Ramba dengan data berturut – turut:

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan curah hujan maksimum harian rata – rata dengan metode Aljabar disajikan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 1. Rekapitulasi hujan maksimum harian rata – rata

No	Tahun	Hujan Maks Harian Rata-rata
1	2008	67
2	2009	51
3	2010	60
4	2011	54
5	2012	52
6	2013	71
7	2014	34
8	2015	92
9	2016	44
10	2017	67

Sumber : Hasil Perhitungan

B. Analisa Frekuensi

Analisa frekuensi dilakukan secara bertahap, diawali dengan pengukuran dispersi, baik untuk dispersi normal maupun dispersi logaritma untuk menghitung parameter – parameter statistiknya. Parameter statistik tersebut antara lain koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck) dan koefisien variasi (Cv), kemudian dapat disimpulkan jenis distribusi apa yang dapat digunakan. Langkah – langkah yang harus dilakukan untuk melakukan analisa frekuensi akan dijabarkan dalam uraian sebagai berikut:

1. Parameter statistik

Untuk menghitung parameter statistik, dibutuhkan data hasil pengukuran dispersi yaitu nilai rata – rata dan standar deviasi yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan (3). Koefisien variasi (Cv), koefisien kepeccengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck) dan dihitung dengan menggunakan persamaan (4), (5) dan (6). Hasil perhitungan diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. Pengukuran Dispersi

n	Tahun	Xi	Xr	(Xi-Xr)	(Xi-Xr) ²	(Xi-Xr) ³	(Xi-Xr) ⁴
1	2015	92.000	59.067	32.933	1084.604	35719.640	1176366.801
2	2013	71.000	59.067	11.933	142.404	1699.360	20279.026
3	2008	66.667	59.067	7.600	57.760	438.976	3336.218
4	2017	66.667	59.067	7.600	57.760	438.976	3336.218
5	2010	59.667	59.067	0.600	0.360	0.216	0.130
6	2011	53.667	59.067	-5.400	29.160	-157.464	850.306
7	2012	52.000	59.067	-7.067	49.938	-352.894	2493.782
8	2009	50.667	59.067	-8.400	70.560	-592.704	4978.714
9	2016	44.000	59.067	-15.067	227.004	-3420.200	51531.018
10	2014	34.333	59.067	-24.733	611.738	-15130.314	374223.109
Σ		590.667			2331.289	18643.591	1637395.319

Sumber : Hasil Perhitungan

Nilai rata – rata (Xr) :

$$X_r = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{590,667}{10} = 59.067 \text{ mm} \dots\dots\dots(1)$$

Standar Deviasi (S) :

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2)$$

$$= \sqrt{\frac{2331,289}{n-1}}$$

$$= 16,094$$

Koefisien Skewness (Cs) :

$$C_s = \frac{n \sum (X_i - X_r)^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{10 \times 18643,591}{9 \times 8 \times 16,094^3}$$

$$= \frac{186435,911}{300166,950}$$

$$= 0,621$$

Koefisien Kurtosis (Ck) :

$$C_k = \frac{n^2 \sum (X_i - X_r)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \dots\dots\dots(4)$$

$$= \frac{10^2 \times 1637395,319}{9 \times 8 \times 7 \times 16,094^4}$$

$$= \frac{163739531,891}{33817204,608}$$

$$= 4,842$$

Koefisien Variasi (Cv) :

$$C_v = \frac{S_d}{X_r} \dots\dots\dots(5)$$

$$= \frac{16,094}{59,067}$$

$$= 0,272$$

Untuk analisa frekuensi dengan Logaritma juga dilakukan perhitungan parameter statistik dengan tahap seperti diatas. Pengukuran dispersi Logaritma yaitu nilai rata – rata dan standar deviasi dihitung dengan menggunakan persamaan (7) dan (8). Koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck) dan koefisien variasi (Cv) dihitung dengan menggunakan persamaan (9), (10) dan (11). Hasil perhitungan diuraikan pada tabel 3.

Nilai rata – rata (Log X_r) :

$$\begin{aligned} \text{Log } X_r &= \frac{\sum \text{Log } X_i}{n} \dots\dots\dots(6) \\ &= \frac{17,568}{10} \\ &= 1,757 \end{aligned}$$

Standar deviasi (Sd) :

$$\begin{aligned} \text{Sd} &= \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(7) \\ &= \sqrt{\frac{0,12797}{10-1}} \\ &= 0,119 \end{aligned}$$

Koefisien Skewness (Cs) :

$$\begin{aligned} \text{Cs} &= \frac{n \sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^3}{(n-1)(n-2)\text{Sd}^3} \dots\dots\dots(8) \\ &= \frac{10 \times 0,00218}{9 \times 8 \times 0,119^3} \\ &= \frac{0,02177}{0,178} \end{aligned}$$

Koefisien kurtosis (Ck) :

$$\begin{aligned}
 Ck &= \frac{n \sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^4}{(n-1)(n-2)Sd^4} \dots\dots\dots(9) \\
 &= \frac{10 \times 2 \times 0,00452087}{9 \times 8 \times 7 \times 0,119^4} \\
 &= \frac{0,45209}{0,10189} \\
 &= 4,437
 \end{aligned}$$

Koefisien variasi (Cv) :

$$\begin{aligned}
 Cv &= \frac{Sd}{\text{Log } X_r} \dots\dots\dots(10) \\
 &= \frac{0,119}{1,757} \\
 &= 0,068
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Pengukuran dispersi dengan Logaritma

n	Tahun	Xi	Log Xi	Log Xr	(Log Xi - Log Xr)	(Log Xi - Log Xr) ²	(Log Xi - Log Xr) ³	(Log Xi - Log Xr) ⁴
1	2015	92.000	1.964	1.757	0.207	0.04283591	0.00886568	0.00183492
2	2013	71.000	1.851	1.757	0.094	0.00891871	0.00084227	0.00007954
3	2008	66.667	1.824	1.757	0.067	0.00450097	0.00030197	0.00002026
4	2017	66.667	1.824	1.757	0.067	0.00450097	0.00030197	0.00002026
5	2010	59.667	1.776	1.757	0.019	0.00035768	0.00000676	0.00000013
6	2011	53.667	1.730	1.757	-0.027	0.00073521	-0.00001994	0.00000054
7	2012	52.000	1.716	1.757	-0.041	0.00166595	-0.00006800	0.00000278
8	2009	50.667	1.705	1.757	-0.052	0.00271411	-0.00014140	0.00000737
9	2016	44.000	1.643	1.757	-0.113	0.01285202	-0.00145699	0.00016517
10	2014	34.333	1.536	1.757	-0.221	0.04888674	-0.01080903	0.00238991
Σ		590.667	17.568			0.12796829	-0.00217670	0.00452087

Sumber : Hasil Perhitungan

2. Menentukan jenis distribusi

Untuk menentukan jenis distribusi, acuan yang digunakan adalah standar uji parameter statistik yang dikemukakan di tabel 2. Nilai koefisien kemencengan (C_s), koefisien kurtosis (C_k) dan koefisien variasi (C_v) masing – masing jenis distribusi dicocokkan dengan hasil perhitungan sehingga dapat ditarik kesimpulan jenis distribusi mana yang sesuai. Hasil uji parameter statistic diperlihatkan pada tabel 4.

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis distribusi yang dapat digunakan adalah distribusi metode Log Person tipe III.

Tabel 4. Uji parameter statistik

Jenis Distribusi / Sebaran	Syarat	Hasil Perhitungan	Kesimpulan
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$	0.621 4.842	Tidak Memenuhi
Gumbel	$C_s = 1.1396$ $C_k = 5.4002$	0.621 4.842	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = 3 C_v^3 + 3 C_v$ $C_k = C_v^8 + \frac{6}{6} C_v + \frac{15}{C_v^4} + \frac{16}{C_v^2} + 3$	0.818 4.273	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Selain dari nilai-nilai diatas	$C_s = 0.178$ $C_k = 4.437$	Memenuhi

Sumber : Hasil perhitungan

3. Analisa jenis distribusi

Berdasarkan hasil uji parameter statistik, jenis distribusi yang dapat digunakan yaitu distribusi Log Person III.

Metode perhitungan Log Person III digunakan untuk menganalisa curah hujan rencana. Untuk perhitungan dengan metode Log Person III dijelaskan contoh prosedur perhitungan dengan periode ulang 15 tahun, $n = 30$ tahun dengan menggunakan persamaan (12), (13) dan (14).

Perhitungan curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan persamaan (15), dengan konstanta Log Person tipe III (G) yang ditentukan berdasarkan nilai koefisien kemencengan (C_s) yang disajikan pada tabel 4. Dari perhitungan didapatkan nilai $C_s = -0,178$. Perhitungan nilai konstanta G berdasarkan nilai C_s tersebut dilakukan dengan cara interpolasi. Hasil perhitungan nilai konstanta G disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Tabel nilai G untuk $C_s = -0,178$

C_s	Periode Ulang (Tahun)							
	2	5	10	15	25	50	100	200
-0.10	0.017	0.846	1.270	1.419	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.178	0.030	0.849	1.261	1.403	1.688	1.957	2.194	2.408
-0.20	0.033	0.850	1.258	1.399	1.680	1.945	2.178	2.388

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan curah hujan rencana dengan metode Log Person III untuk periode ulang 15 tahun disajikan pada table 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan nilai X untuk setiap kala ulang (T) tahun

T	Log X_r	G	Sd	Log X_T	X_T
2	1.757	0.030	0.119	1.760	57.6
5	1.757	0.849	0.119	1.858	72.1
10	1.757	1.261	0.119	1.907	80.7
15	1.757	1.403	0.119	1.924	84.0
25	1.757	1.688	0.119	1.958	90.8
50	1.757	1.957	0.119	1.990	97.8
100	1.757	2.194	0.119	2.018	104.3
200	1.757	2.408	0.119	2.044	110.7

Sumber : Hasil Perhitungan

4. Analisa intensitas curah hujan

Analisa intensitas curah hujan menggunakan rumus Mononobe karena data curah hujan yang didapatkan adalah data curah hujan harian. Rumus Mononobe ditunjukkan pada persamaan (16) dengan data curah hujan rencana periode ulang 15 tahun yang didapatkan dari perhitungan : 152,581 mm.

Contoh perhitungan untuk $t = 5$ menit dapat dilihat pada uraian berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^m \dots\dots\dots(11)$$

$$I_{15} = \frac{83,969}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 152,581 \text{ mm/jam}$$

LAMPIRAN C
DATA PERMEABILITAS

LAMPIRAN D
DATA PENGGENANGAN

LAMPIRAN D

HASIL PENGAMATAN LABORATORIUM RAINFALL SIMULATOR

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Saat Hujan

Sampel 1

Intensitas I_{15}

N O	waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F1	F2	F3	F4	F5
1	1					
2	2					
3	3					0.4
4	5		0.3	0.56	0.48	0.7
5	7		0.92	0.76	1.2	1.24
6	10		1.66	1.46	1.74	1.48
7	15		2.6	2.78	3.06	3.1
8	20		3.6	3.92	3.86	4.1
9	25		4.98	4.88	5.18	5.3
10	30	1.46	5.76	6.36	6.34	6.6
11	35	2.14	6.74	6.92	7.28	7.6
12	40	3.12	7.9	8.42	8.50	8.74
13	45	4.02	9	9.46	9.60	9.84
14	50	5.52	10.00	10.36	10.66	10.88
15	55	5.84	10.88	11.44	11.72	11.68
16	60	6.42	11.90	12.34	12.76	12.84
17	65	7.6	12.90	13.28	13.66	13.76
18	70	8.6	13.92	14.30	14.80	13.90
19	75	9.76	14.88	15.32	16.02	15.66
20	80	11.06	15.56	16.10	16.33	15.86
21	85	11.98	15.87	16.47	17.02	16.75
22	90	12.84	16.53	17.02	17.02	17.11
23	95	13.8	16.39	16.92	17.02	17.11
24	100	15.02	16.49	16.92	17.02	17.11
25	105	16.1	16.49	16.92	17.02	17.11
26	110	16.08	16.64	16.92	17.02	
27	115	16.98	16.64	16.92		
28	120	16.60	16.64	16.92		
29	125	16.60	16.64			
30	130	16.60	16.64			
31	135	16.60				

32	140	16.60				
33	145	16.60				
34	150	16.60				

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Setelah hujan

Sampel 1

Intensitas I₁₅

NO	waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F1	F2	F3	F4	F5
1	1	16.17	15.71	16.17	16.21	15.17
2	2	16.12	15.57	16.10	16.13	15.13
3	3	16.06	15.53	16.03	16.03	15.07
4	5	16.03	15.51	16.01	16.02	15.03
5	7	16.01	15.18	15.48	16.01	15.02
6	10	14.92	15.06	15.2	15.22	15
7	15	14.58	14.68	14.98	15.06	14.9
8	20	14.26	14.4	14.5	14.78	14.66
9	25	14.14	14.1	14.26	14.48	14.26
10	30	13.86	13.74	13.98	14.28	14.02
11	35	13.5	13.4	14.1	13.92	13.72
12	40	13.18	13.12	13.62	13.44	13.44
13	45	13.02	12.84	13.38	13.2	13.04
14	50	12.66	12.66	12.78	12.94	12.96
15	55	12.6	12.3	12.74	12.76	12.62
16	60	12.26	11.9	12.48	12.46	12.1
17	70	11.64	11.4	11.98	11.96	11.8
18	80	11.14	10.98	11.34	11.5	11.42
19	90	10.58	10.42	10.84	10.94	10.52
20	100	10.06	9.8	10.52	10.5	10.16
21	110	9.58	9.3	9.86	9.9	9.78
22	120	9.18	8.9	9.52	9.24	9.52
23	130	8.72	8.42	9.14	8.82	8.84
24	140	8.2	7.84	8.7	8.32	8.3
25	150	7.54	7.36	7.78	7.86	7.8
26	160	7.16	6.9	7.4	7.54	7.3
27	170	6.78	6.34	6.84	7.1	6.82
28	180	6.46	5.86	6.54	6.58	6.4
29	200	5.54	5.1	5.72	5.88	6.2
30	220	5.24	3.94	4.62	4.88	5.84
31	240	4	3.34	4.02	4.22	4.64
32	260	3.22	2.82	3.2	3.36	4.02
33	280	2.52	1.86	2.16	2.48	3.34

34	300		1	1.88	1.96	2.42
35	330			0.4	0.78	1.98
36	360					0.92

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Saat Huajn

Sampel 2

Intensitas I₁₅

NO	waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F1	F2	F3	F4	F5
1	1					
2	2					
3	3					
4	5		0.86	1	0.86	0.8
5	7		1.3	1.52	1.56	1.36
6	10		2.1	2.2	2.2	2.26
7	15		2.92	3.46	3.42	3.3
8	20		4.16	4.56	4.68	4.3
9	25		5.54	5.66	5.98	5.64
10	30		6.5	7.12	7.02	6.74
11	35	1.38	7.94	8.28	7.82	7.8
12	40	2.26	9.2	9.42	9.16	8.8
13	45	2.64	10.14	10.66	10.44	9.94
14	50	3.18	11.22	11.68	11.58	10.98
15	55	3.64	12.14	12.84	12.94	12
16	60	4.70	13.22	13.86	14.02	13.1
17	65	5.54	14.92	14.52	15.44	14.06
18	70	7.14	15.6	15.6	16.48	15.36
19	75	8.18	16.5	16.68	16.85	16.42
20	80	9.30	16.61	16.75	17.70	16.82
21	85	10.24	17.29	17	17.70	17.80
22	90	11.48	17.29	17.55	17.70	17.80
23	95	12.44	17.29	17.55	17.70	17.80
24	100	13.54	17.29	17.55	17.70	17.80
25	105	15.06	17.29	17.55	17.70	17.80
26	110	15.54	17.29	17.55	17.70	
27	115	16.64	17.29	17.55		
28	120	16.77	17.92			
29	125	17.13				
30	130	17.13				
31	135	17.13				
32	140	17.13				

33	145	17.13				
34	150	17.13				
35	160	17.13				
36	170	17.13				
37	180	17.13				

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Setelah Hujan

Sampel 2

Intensitas I_{15}

NO	waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F1	F2	F3	F4	F5
1	1	16.20	16.18	16.18	16.20	16.19
2	2	16.10	16.11	16.11	16.12	16.11
3	3	16.03	16.05	16.11	16.06	16.06
4	5	16.03	16.03	16.03	16.03	16.03
5	7	16.01	16.01	16.01	16.01	16.03
6	10	16	16.06	15.98	15.94	16.02
7	15	15.72	15.82	15.86	15.74	15.98
8	20	15.5	15.58	15.54	15.38	15.9
9	25	15.24	15.38	15.22	15.16	15.64
10	30	15	15.14	15.06	15.02	15.44
11	35	14.74	14.92	14.76	14.9	15.32
12	40	14.68	14.72	14.62	14.66	15.2
13	45	14.44	14.6	14.58	14.42	14.92
14	50	14.18	14.42	14.28	14.22	14.82
15	55	13.92	14.16	14.02	14.02	14.72
16	60	13.76	13.78	13.56	13.88	14.32
17	70	13.42	13.68	13.04	13.64	14
18	80	13.04	13.14	12.6	13.48	13.5
19	90	12.76	12.72	12.26	12.82	13.28
20	100	12.48	12.1	12.22	12.64	12.78
21	110	12.08	11.8	11.76	12.62	12.34
22	120	11.74	11.6	11.48	12.2	12.08
23	130	11.44	11.16	10.82	11.66	11.72
24	140	11.16	10.86	10.68	11.44	11.4
25	150	10.82	10.48	10.44	11.06	10.9
26	160	10.4	10.04	10	10.66	10.64
27	170	9.94	9.78	9.74	10.06	10.48
28	180	9.72	9.32	9.4	9.74	10.12
29	200	9.2	8.6	8.72	9.16	9.5
30	220	8.26	7.78	8.14	8.36	8.94
31	240	7.6	7.2	7.3	7.9	8.46
32	260	7.12	6.72	6.7	7.18	7.62
33	280	6.4	5.9	6.1	6.66	7.22
34	300	5.68	5.24	5.68	5.96	6.56
35	330	4.92	4.48	4.68	5.2	5.6

36	360	3.9	3.46	3.54	4.08	4.9
37	390	3.18	2.46	2.94	3.4	4.04
38	420	2.1	1.7	2.1	2.68	3.18
39	450		0.98	1.44	1.86	2.46
40	480			0.5	1.16	1.64
41	510				0.5	0.82
42	540					0.41

LAMPIRAN E
DOKUMENTASI

LAMPIRAN E

DOKUMENTASI PENELITIAN



Pengujian Sand Cone Lapangan



Pemeriksaan Kadar Air



Pengujian Analisa Saringan



Pemeriksaan Berat Jenis



Pengujian Permeabilitas



Pengujian Manometer



Pemeriksaan Batas Plastis



Pemeriksaan Batas Cair



Pengujian Kompaksi



Sampel Tanah



Alat Rainfall Simulator



Formasi Drain Dalam Bak



Pembersihan Alat Simulasi Hujan Uji



Pengisian Sampel Pada Bak



Proses *Running Test*



Pengamatan Infiltrasi



Pengamatan Data Manometer



Pengamatan Data Limpasan



Pengamatan Tinggi Genangan



Pengimputan Data



Pembongkaran Sampel



Alat Permeabilitas



Pengambilan Sampel Permeabilitas



Pengujian Permeabilitas



Pengujian Permeabilitas