

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH FREKUENSI HUJAN TERHADAP PERMEABILITAS
DAN WAKTU PENGGENANGAN (*PONDING TIME*) PADA JENIS
TANAH *COMMON SOIL* (Studi Uji Laboratorium
Dengan *Rainfall Simulator*)**



Oleh :

EKI SANDI
105 81 1697 12

SULVAHENRA
105 81 1791 12

JURUSAN SIPIL PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2018

**ANALISIS PENGARUH FREKUENSI HUJAN TERHADAP PERMEABILITAS
DAN WAKTU PENGGENANGAN (*PONDING TIME*) PADA JENIS
TANAH *COMMON SOIL* (Studi Uji 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 :

**EKI SANDI
105 81 1697 12**

**SULVAHENRA
105 81 1791 12**

JURUSAN SIPIL PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2018



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

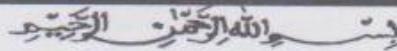
FAKULTAS TEKNIK

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 PENGESAHAN

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

Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH FREKUENSI HUJAN TERHADAP PERMEABILITAS DAN WAKTU PENGGENANGAN (*PONDING TIME*) PADA JENIS TANAH *COMMON SOIL* (Studi Uji Dengan *Rainfall Simulator*)**

Nama : EKI SANDI
SULVAHENRA

Stambuk : 105 81 01697 12
105 81 01791 12

Makassar, 27 Januari 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Muh. Syafaat S. Kuba, ST
NBM : 975 288



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Eki Sandi dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1697 12 dan Sulvahenra dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1791 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 002/SK-Y/22201/091004/2018, 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 27 Januari 2018

Makassar, 13 Jumadil Awal 1439 H
29 Januari 2018 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

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

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

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

b. Sekertaris : Lutfi Hair Djunur, ST., MT.

3. Anggota : 1. Dr. Ir. H. Muh. Idrus Ompo, Sp., PSDA

2. Dr. Muh. Yunus Ali, ST., MT

3. Hj. Arsyuni AM, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 855 500

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF RAIN FREQUENCY ON PERMEABILITY
AND PONDONG TIME ON TYPE SOIL COMMON SOIL
(Laboratory Testing Study With Rainfall Simulator)**

Eki Sandi¹⁾ dan Sulvahenra²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar, ekisandi28@gmail.com

²⁾ Program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar, Sulvahenra29@gmail.com

Abstrak

Analisis Pengaruh Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (Ponding Time) Pada Jenis Tanah Common Soil (Studi uji Laboratorium Dengan Rainfall Simulator) dibimbing oleh Darwis Panguriseng dan Abd.Rakhim Nanda. Bahwa Permeabilitas tanah adalah ke mampuan tanah untuk meneruskan 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 frekuensi hujan terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan dengan frekuensi ulangan hujan yang intensitasnya sama dan intensitas bervariasi pada jenis tanah common soil. Metode Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental laboratorium, dengan menggunakan alat rainfall simulator. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis tanah common soil. Selanjutnya diberikan hujan buatan dengan intensitas I₅, I₁₅, dan I₂₅, setiap intensitas digunakan frekuensi lima kali hujan dan dilakukan pembacaan waktu final penggenangan 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.. Tinggi genangan dan Waktu final genangan berbanding lurus dengan meningkatnya intensitas curah hujan dan variasi frekuensi hujan.

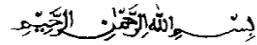
Kata kunci : permeabilitas, tinggi genangan, waktu final genangan.

Abstract

Analysis of the Effect of Rain Frequency Against Permeability And Time of Ponding Time in Soil Common Type (Laboratory Test Study With Rainfall Simulator) is guided by Darwis Panguriseng and Abd.Rakhim Nanda. That soil permeability is the ability of the soil to continue water or air. Soil permeability is usually measured by the term water velocity flowing within a given time set in units of cm / hr. The ponding time (tp) is the time difference between when it rains and the time the water begins to stagnate above the ground. The objective of the study was to determine the effect of rain frequency on permeability and flooding time with rainfall frequencies with the same intensity and intensity varying on common soil soil type. Methods This research is a type of experimental laboratory research, using rainfall simulator tool. The soil used in this research is common soil soil type. Furthermore, artificial rain with intensity of I₅, I₁₅, and I₂₅ is applied, each intensity is used at five times of rain frequency and the final time of the bursting and puddle in Rainfall Simulator test tube and for permeability testing is done by observation with constant head test. The results showed that the value of permeability coefficient is inversely related to the increase of rainfall intensity and rain frequency. The inundation height and the final time of the puddle are directly proportional to the increased rainfall intensity and rain frequency variation.

Keywords: permeability, high inundation, final puddle time.

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah panulis panjatkan ke hadirat Allah AWT, 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 Sipil Pengairan Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah “**Analisis Pengaruh Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*) Pada Jenis Tanah *Common Soil* (Studi Uji 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 ke salahan dan ke kurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan sangat 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 pihak 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 Muh. Syafaat. S. Kuba, S.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 Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, 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 segala 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, terimakasih 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,2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Siklus Hidrologi	6
B. Pengertian Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (<i>Ponding Time</i>).....	21
C. Faktor Yang Mempengaruhi Permeabilitas.....	24
D. Jenis-Jenis Tanah.....	30
E. Review Penelitian Terkait Sebelumnya	35

F. Kerangka Penelitian	43
BAB III METODE PENELITIAN	46
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	46
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	46
C. Alat dan Bahan Penelitian	47
D. Teknik Analisa data.....	52
E. Variabel Penelitian	53
F. Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
A. Klasifikasi Tanah.....	64
B. Karakteristik Intensitas Curah Hujan Wilayah	67
C. Perbandingan Pengaruh Variasi Intensitas Curah Hujan Dengan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas	68
D. Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Dengan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Waktu <i>Final</i> Genangan.....	71
E. Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Dengan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Tinggi Genangan	75
BAB V PENUTUP	79
A. KESIMPULAN	79
B. SARAN	80

LAMPIRAN

DOKUMENTASI

DAFTAR TABEL

Nomor	Tabel	Halaman
Tabel 1	: Derajat Curah Hujan Dan Intensitas Curah Hujan.....	13
Tabel 2	: Parameter Statistik Untuk Menentukan Jenis Distribusi	18
Tabel 3	: Nilai G Distribusi Log Pearson Tipe III Berdasarkan Nilai Koefisien Kepencengan (Cs).....	19
Tabel 4	: Koefisien Tanah	24
Tabel 5	: Sistem AASHTO	31
Tabel 6	: Hasil Pengujian Analisa Saringan.....	64
Tabel 7	: Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah.....	66
Tabel 8	: Standar Intensitas Curah Hujan Pada <i>Rainfall Simulator</i> ...	67
Tabel 9	: Hasil Penyesuaian Intensitas Curah Hujan Dan Flowmeter.	68
Tabel 10	: Perbandingan Pengaruh Intensitas Curah Hujan Terhadap Permeabilitas Tanah.....	68
Tabel 12	: Perbandingan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Waktu <i>Final</i> Genangan.....	72
Tabel 13	: Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Terhadap Waktu <i>Final</i> Genangan.....	73
Tabel 14	: Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Terhadap Tinggi Genangan.....	75
Tabel 15	: Perbandingan Variasi Frekuensi Hujan Dengan Tinggi Genangan	76

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Gambar	Halaman
Gambar 1	: Siklus Hidrologi (Kodoatie RJ dan Sjarief Roestam, 2010)..	8
Gambar 2	: Kerangka Fikir Penelitian.....	43
Gambar 3	: Tampak depan alat <i>rainfall simulator</i>	48
Gambar 4	: Tampak samping kiri alat <i>rainfall simulator</i>	49
Gambar 5	: Media uji tangkapan air hujan	50
Gambar 6	: Alat uji permeabilitas (Laboratorium Universitas Hasanuddin)	51
Gambar 7	: Skema Hubungan Variabel Penelitian	54
Gambar 8	: Bagan dan Alur Penelitian	62
Gambar 9	: Perbandingan pengaruh intensitas hujan terhadap permeabilitas.	69
Gambar 11	: Perbandingan variasi frekuensi hujan terhadap waktu <i>final</i> genangan.	72
Gambar 12	: Perbandingan variasi intensitas curah curah terhadap waktu <i>final</i> genangan.	74
Gambar 13	: Perbandingan variasi intensitas hujan dengan tinggi genangan	75
Gambar 14	: Perbandingan dengan variasi frekuensi hujan Dengan tinggi genangan	77

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 di sajikan
hx	= tinggi Genagan
I ₅	= intensitas curah Hujan periode 5 tahun
I ₁₅	= intensitas curah Hujan periode 15 tahun
I ₂₅	= intensitas curah Hujan periode 25 tahun
I	= intensitas curah hujan (mm/jam)
i	= gradien hidrolik
K	= koefisien permeabilitas
Log Xi	= logaritma curah hujan tahun ke 1
L	= ketinggian tabung dalam tanah (cm)

LL	= batas cair
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 (cm)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi uap air yang berasal dari alam yang terdapat di atmosfer. Bentuk presipitasi lainnya adalah salju dan es. Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Bambang Triatmojo, 1998).

Pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah yang terbuka menghancurkan dan mendispersikan agregat tanah yang mengakibatkan penyumbatan pori tanah di permukaan. hal ini akan menurunkan laju infiltrasi. Penurunan laju infiltrasi juga dapat terjadi karena *overgrazing*, dan pemadatan tanah akibat penggunaan alat-alat berat (Hakim, *dkk.*,1986).

Air hujan yang jatuh di permukaan tanah akan mengalir sebagai aliran limpasan dan sebagian akan masuk ke dalam tanah atau menginfiltrasi. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya intensitas curah hujan, porositas tanah, kerapatan massa tanah, kadar air tanah, tekstur tanah, kepadatan tanah, kandungan organik tanah dan keadaan vegetasi permukaan tanah. Kepadatan tanah yang rapat akan menghasilkan nilai koefisien permeabilitas tanah kecil. Begitupun sebaliknya, apabila intensitas curah hujan dan frekuensi hujan meningkat maka

semakin padat tanah sehingga menghasilkan penggenangan dan waktu penggenangan akan meningkat.

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

Koefisien permeabilitas adalah suatu besaran konstan proporsional yang berhubungan dengan mudahnya suatu zat cair melewati suatu poros suatu médium. 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 k 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).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka kami akan melakukan suatu penelitian mengenai analisis pengaruh frekuensi hujan terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan (*ponding time*) pada jenis tanah *common soil*, yang dimodelkan

menggunakan alat simulasi hujan (*Rainfall Simulator*). Dan selanjutnya kami tuangkan dalam sebuah karya tulis ilmiah sebagai tugas akhir dengan judul **“Analisis Pengaruh Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*) Pada Jenis Tanah *Common Soil* (Studi Uji Laboratorium Dengan *Rainfall Simulator*)”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh frekuensi hujan terhadap permeabilitas tanah dengan frekuensi ulangan hujan yang intensitas-nya sama, dan intensitas bervariasi.
2. Bagaimana pengaruh frekuensi hujan terhadap waktu penggenangan (*Ponding time*) frekuensi ulangan hujan yang intensitasnya sama, dan intensitas hujan yang bervariasi.

C. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh frekuensi hujan terhadap permeabilitas tanah dengan frekuensi ulangan hujan yang intensitasnya sama dan intensitas bervariasi.
2. Mengetahui pengaruh frekuensi hujan terhadap waktu penggenangan (*ponding time*) frekuensi ulangan hujan yang intensitasnya sama, dan intensitas hujan yang bervariasi.

D. Manfaat Penelitian

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

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi bagaimana pengaruh frekuensi ulangan hujan terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan pada jenis tanah *common soil* dengan frekuensi ulangan hujan yang intensitasnya Sama dan intensitas bervariasi.
2. Untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan, karena penelitian tentang pengaruh frekuensi hujan terhadap permeabilitas dan waktu penggenangan pada jenis tanah *common soil* (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 ke tersediaan 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 alat *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 tanah umum (*common soil*).
4. Penentuan Permeabilitas dan Waktu Penggenangan yang diamati hanya dipengaruhi oleh frekuensi hujan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Siklus Hidrologi

Singh (1992), menyatakan bahwa hidrologi adalah ilmu yang membahas karakteristik menurut waktu dan ruang tentang kuantitas dan kualitas air bumi, termasuk di dalamnya kejadian, pergerakan, penyebaran, sirkulasi tampungan, eksplorasi, pengembangan dan manajemen.

Menurut Soemarto (1987), Siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali.

Menurut Effendi (2003), bahwa air tawar yang tersedia selalu mengalami siklus hidrologi: pergantian total (*replacement*) air sungai berlangsung sekitar 18-20 tahun, sedangkan pergantian uap air yang terdapat di atmosfer berlangsung sekitar 12 hari dan pergantian air tanah dalam (*deep ground water*) berlangsung hingga ratusan tahun.

Selanjutnya Effendi (2003), menyatakan bahwa siklus hidrologi air tergantung pada proses evaporasi dan presipitasi. Air yang terdapat dipermukaan bumi berubah menjadi uap air di lapisan atmosfer melalui proses evaporasi air sungai, danau, dan laut, serta proses evapotranspirasi atau penguapan air melalui tanaman. Proses evaporasi yang berlangsung di laut lebih banyak dari pada proses evaporasi di perairan daratan. Di laut, proses evaporasi juga melebihi proses presipitasi sehingga lautan merupakan sumber air utama bagi proses presipitasi.

Sebaliknya, di daratan proses presipitasi lebih banyak dari pada evaporasi. Di daratan, sekitar 50% air yang diperoleh melalui presipitasi mengalami evaporasi, dan sisanya tersimpan di danau, sungai maupun sebagai air tanah.

Siklus hidrologi adalah sebuah proses pergerakan air dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi yang berlangsung secara kontinyu (Bambang Triadmodjo, 2008). Selain berlangsung secara kontinyu, siklus hidrologi juga merupakan siklus yang bersifat konstan pada sembarang daerah (Wisler dan Brater, 1959).

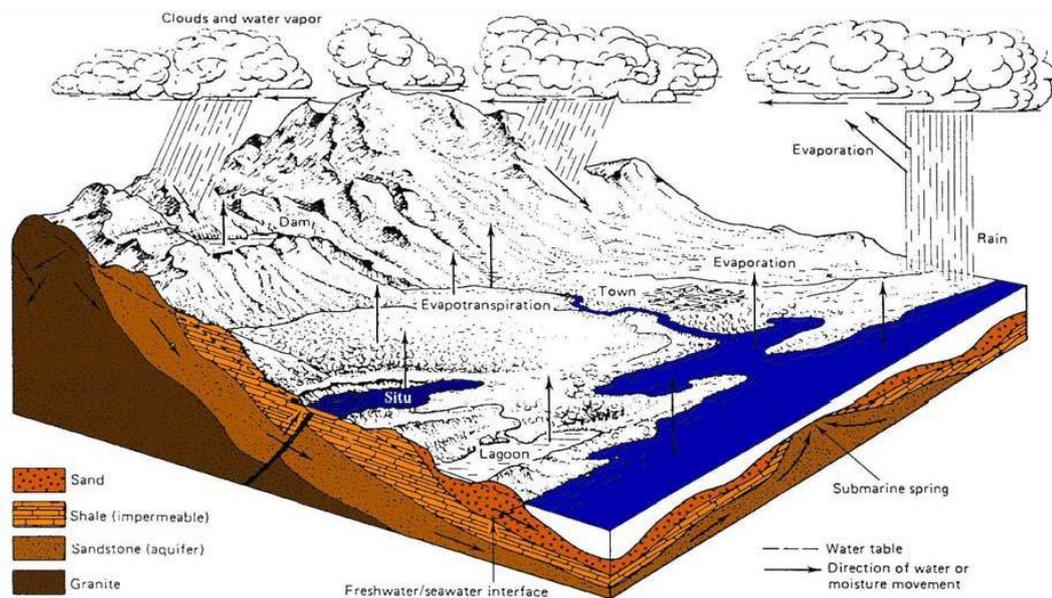
Salah satu bentuk presipitasi yang terpenting di Indonesia adalah hujan (*rainfall*). Air laut yang menguap karena adanya radiasi matahari dan awan yang terjadi oleh uap air, bergerak di atas daratan akibat adanya gerakan angin. Presipitasi yang terjadi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan atau salju yang jatuh ke tanah yang berbentuk limpasan (*runoff*) yang mengalir kembali ke laut. Curah hujan yang jatuh di atas permukaan daerah aliran sungai, selalu mengikuti proses yang disebut dengan “Siklus Hidrologi” (Soemarto, 1987).

1. Elemen Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi. (Bambang Triatmodjo, 2010),

Siklus hidrologi dimulai dengan terjadinya penguapan air ke udara. Air yang menguap tersebut kemudian mengalami proses kodensasi (penggumpalan) di udara yang kemudian membentuk gumpalan – gumpalan yang dikenal dengan istilah awan (Bambang Triadmodjo, 2008).

Siklus hidrologi merupakan proses pengeluaran air dan perubahannya menjadi uap air yang mengembun kembali menjadi air yang berlangsung terus-menerus tiada henti-hentinya. Sebagai akibat terjadinya sinar matahari maka timbul panas. Dengan adanya panas ini maka air akan menguap menjadi uap air dari semua tanah, sungai, danau, telaga, waduk, laut, kolam, sawah dan lain-lain dan prosesnya disebut penguapan (*evaporation*). Penguapan juga terjadi pada semua tanaman yang disebut transpirasi (*transpiration*) (Soedibyo, 2003).



Gambar 1 : Siklus Hidrologi (Kodoatie RJ dan Sjarief Roestam, 2010)

Berdasarkan gambar 1 mengenai siklus hidrologi sebagai berikut :

a. Evaporasi

Sri Harto (1983). mendefinisikan evaporasi (penguapan) sebagai sebuah proses pertukaran molekul air di permukaan menjadi molekul uap air di atmosfer.

b. Transpirasi

Bambang Triadmodjo (2010). menjelaskan bahwa dalam hidrologi penguapan dibedakan menjadi evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah

penguapan yang terjadi pada permukaan air, sedangkan transpirasi adalah penguapan yang terjadi melalui peranan tanaman. Transpirasi dapat terjadi mengingat jumlah air hujan yang turun tidak sepenuhnya dapat mengalir, melainkan ada beberapa jumlah air hujan yang tertahan pada tanaman.

c. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah evaporasi dari permukaan lahan yang ditumbuhi tanaman. Pengertian evapotranspirasi secara sederhana adalah proses evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evapotranspirasi menjadi unsur yang sangat penting dalam sebuah siklus hidrologi, karena evapotranspirasi bernilai sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefinisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan tanaman (Bambang Triadmodjo, 2008).

d. Sublimasi

Selanjutnya Bambang Triadmodjo (2008). menyatakan bahwa 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.

e. Kondensasi

Ketika uap air yang di hasilkan 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 ke tinggian 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. (Bambang Triadmodjo, 2010)

f. 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. (Sri Harto, 1983)

g. Presipitasi

Selanjutnya (Bambang Triadmodjo, 2010). mendefinisikan bahwa presipitasi sebagai sebuah proses turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi. Jumlah presipitasi yang turun ke bumi tidak tetap bentuk dan jumlahnya. Bentuk presipitasi yang jatuh ke bumi dapat berupa hujan (air), salju, kabut, embun, dan hujan es.

h. *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. (Bambang Triadmodjo, 2010)

i. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah (Sri Harto, 1983). Proses infiltrasi dapat berlangsung secara vertikal dan horisontal (Bambang Triadmodjo, 2008). Proses infiltrasi secara vertikal disebabkan oleh adanya gaya gravitasi dan dikenal dengan sebutan perkolasi. Proses infiltrasi yang terjadi secara horisontal disebabkan oleh adanya gaya kapiler yang dikenal sebagai aliran antara (*interflow*).

2. Peranan Air Tanah Dalam Siklus Hidrologi

Daryanto, 2004. menyatakan bahwa Air tanah ialah air yang melekat pada butir-butir tanah, air yang terletak diantara butir-butir tanah, dan air yang tergenang di atas lapisan tanah yang terdiri dari batu, tanah lempung yang amat halus atau padat yang sukar ditembus air.

Menurut Seyhan, 1990. Menyatakan Bahwa bumi memiliki sekitar 1,3 - 1,4 milyar km² air, yang terbagi atas laut sejumlah 97,5%, dalam bentuk es sejumlah 1,75% dan sekitar 0,73% berada di darat. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan masuk ke sungai akhirnya mengalir sampai ke laut, dalam perjalanan air tersebut sebagian akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan ada pula yang menguap kembali. Sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) dengan mengisi tanah/bebatuan dekat permukaan bumi yang kemudian disebut akuifer dangkal, dan

sebagian lagi terus masuk ke dalam tanah untuk mengisi lapisan akuifer yang lebih dalam. Proses ini berlangsung dalam waktu yang sangat lama. Lokasi pengisian (*recharge area*) dapat jauh sekali dari lokasi pengambilan airnya (*discharge area*). yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah (*groundwater runoff*) limpasan air tanah.

Selanjutnya Seyhan, 1990. Menyatakan bahwa Lebih dari 98% dari semua air tawar (diduga sedikit lebih dari pada $7 \times 10^6 \text{ km}^3$) diatas muka bumi tersembunyi di bawah permukaan dalam pori-pori batuan dan bahanbahan butiran. Dua persen sisanya adalah apa yang kita lihat di danau- danau, sungai dan reservoir. Separuh dari dua persen ini disimpan di reservoir buatan. Sembilan puluh delapan persen dari air di bawah permukaan disebut air tanah dan digambarkan sebagai air yang terdapat pada bahan yang jenuh di bawah muka air tanah. Dua persen sisanya adalah lengas tanah pada mintakat tidak jenuh di atas muka air tanah.

3. Karakteristik Intensitas Curah Hujan Wilayah

Sosrodarsono S. & Tajeda K. (2006), Bahwa curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm.

Secara kualitatif, intensitas curah hujan disebut juga derajat curah hujan, sebagaimana diperlihatkan dalam tabel 1 (Suripin, 2004)

Tabel 1: Derajat Curah Hujan Dan Intensitas Curah Hujan

Derajat hujan	Intensitas curah hujan (mm/jam)	Kondisi
Hujan sangat lemah	< 1,20	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit.
Derajat hujan	Intensitas curah hujan (mm/jam)	Kondisi
Hujan lemah	1,20 – 3,00	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddel.
Hujan normal	3,00 – 18,0	Dapat dibuat puddel dan bunyi curah hujan kedengaran.
Hujan deras	18,0 – 60,0	Air tergenang di seluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan kedengaran dari genangan.
Hujan sangat deras	> 60,0	Hujan seperti ditumpahkan, saluran dan drainase meluap.

Sumber : Suripin, (2004)

Dalam penelitian ini perhitungan curah wilayah yang digunakan adalah metode rata – rata Aljabar (*Mean Arithmetic Method*). Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan. (Sri Harto Br., 1983)

$$\bar{R} = \frac{1}{n}(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

$$\bar{R} = \text{curah hujan daerah (mm)}$$

n = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan (mm)

$R_1, R_2, \dots + R_n$ = curah hujan di setiap titik pengamatan (mm).

4. Frekuensi Dan Curah Hujan Rencana

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu (Soewarno, 1995)

Frekuensi merupakan jumlah kejadian dari sebuah varian, dengan analisis frekuensi akan diperkirakan interval kejadian tertentu, seperti 10 tahunan, 100 tahunan atau 1000 tahunan. Tujuan analisis frekuensi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas (Bambang Triatmodjo, 2013)

Analisa frekuensi hujan merupakan analisa statistik penafsiran (*statistical inference*) hujan, biasanya dalam perhitungan hidrologi dipakai untuk menentukan terjadinya periode ulang hujan pada periode tahun tertentu. Hadisusanto, N. (2011).

Selanjutnya dalam kaitannya dengan analisis hujan, maka ada 5 besaran pokok yang perlu dikaji dan dipelajari (Soemarto, C. D, 1987), yaitu :

- a. Intensitas (i), adalah laju curah hujan yaitu tinggi air per satuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, mm/hari.
- b. Lama waktu atau durasi (t), adalah lamanya curah hujan terjadi dalam menit atau jam.

- c. Tinggi hujan (d), adalah banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air diatas permukaan datar, dalam mm.
- d. Frekuensi, adalah frekuensi kejadian terjadinya hujan, biasanya dinyatakan dengan waktu ulang (*return period*) (T), misalnya sekali dalam T tahun.
- e. Luas (A), adalah daerah tangkapan curah hujan, dalam km².

Dalam penentuan distribusi frekuensi ada persyaratan yang perlu dipenuhi, yaitu mengenai nilai parameter-parameter statistiknya. Parameter tersebut antara lain: koefisien variasi, koefisien asimetri (*skewness*) dan koefisien kurtosis. Analisa frekuensi harus dilakukan secara bertahap dan sesuai dengan urutan kerja yang telah ada karena hasil dari masing-masing perhitungan tergantung dan saling mempengaruhi terhadap hasil perhitungan sebelumnya. Berikut adalah penerapan langkah-langkah analisis frekuensi setelah persiapan data dilakukan (Soewarno, 1995) :

1) Nilai rerata \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (2)$$

2) Standar deviasi (S):

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan:

- S = Standar deviasi
- X = curah hujan rancangan pada periode tertentu
- \bar{X} = curah hujan harian maksimum rata-rata
- n = jumlah data

3) Koefisien variasi (Cv):

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

Cv = Koefisien variasi

4) Koefisien asimetri/*skewness* (Cs):

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2).S^3} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \dots\dots\dots (5)$$

Dengan:

Cs = koefisien asimetri/*skewness* (Cs)

5) Koefisien kurtosis (Ck):

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2).S^4} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan:

Ck = koefisien kurtosis

Untuk analisa frekuensi dengan logaritma persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

a) Nilai rerata $\overline{Log X}$:

$$\overline{Log X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Log x_i \dots\dots\dots (7)$$

b) Standar deviasi (Sd):

$$Sd = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(Log X_i - \overline{Log X})^2}{n-1} \right)} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan:

S = Standar deviasi

Log X = logaritma curah hujan rancangan pada periode tertentu

$\overline{Log X}$ = logaritma curah hujan harian maksimum rata-rata

n = jumlah data

c) Koefisien variasi (C_v):

$$C_v = \frac{S}{\overline{\text{Log } X}} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan:

C_v = Koefisien variasi

d) Koefisien asimetri/*skewness* (C_s):

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2).S^3} \cdot \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3 \dots\dots\dots (10)$$

Dengan:

C_s = koefisien asimetri/*skewness* (C_s)

e) Koefisien kurtosis (C_k):

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3).S^4} \cdot \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^4 \dots\dots\dots (11)$$

Dengan:

C_k = koefisien kurtosis

Menurut Arifin (2010), curah hujan ialah jumlah air yang jatuh pada permukaan tanah selama periode tertentu bila tidak terjadi penghilangan oleh proses evaporasi, pengaliran dan peresapan, yang diukur dalam satuan tinggi. Tinggi air hujan 1 mm berarti air hujan pada bidang seluas 1 m² berisi 1 liter. Unsur-unsur hujan yang haru diperhatikan dalam mempelajari curah hujan ialah jumlah curah hujan, dan intensitas atau kekuatan tetesan hujan.

Untuk mendapatkan curah hujan rancangan (R_t) dilakukan melalui analisa frekuensi, antara lain metode distribusi Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson tipe III.

Tabel 2 : Parameter Statistik Untuk Menentukan Jenis Distribusi

Sebaran	Syarat
Normal	$(\bar{x} \pm s) = 68,27\%$ $(\bar{x} \pm 2s) = 95,44\%$ $C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^6 + 6C_v^4 + 15 C_v^2 + 3$
Gumbel	$C_s = 1,1396$ $C_k = 5.4002$
Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

Sumber : Triatmodjo B. (2010)

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode Log Pearson tipe III, berikut langkah-langkah perhitungan curah hujan dengan metode Log Pearson tipe III. (Soemarto C. D.,1995):

1) Nilai Rata-rata :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i)}{n} \dots\dots\dots (12)$$

2) Standar Deviasi :

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1} \dots\dots\dots (13)$$

3) Koefisien Kepencengan :

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X}^3}{(n-1)(n-2)(S_x)^3} \dots\dots\dots (14)$$

4) Curah Hujan Rencana :

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + G.S_x \dots\dots\dots (15)$$

X = Anti Log X

Dimana:

Log X = Logaritma curah hujan yang di cari

$\overline{\text{Log}X}$ = Logaritma rerata dari curah hujan

Log Xi = Logaritma curah hujan tahun ke 1

G = Konstanta Log Person III berdasarkan koefisien kepengenangan
besarnya yang telah di sajikan

Sx = Simpangan Baku

n = Jumlah Data

Tabel 3 : Nilai G Distribusi Log Pearson Tipe III Berdasarkan Nilai Koefisien
Kepenangan (Cs)

Koef. Kemencengan (CS)	Periode Ulang (Tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
3,0	- 0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	- 0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	- 0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	- 0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	- 0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	- 0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	- 0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	- 0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	- 0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	- 0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	- 0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	- 0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	- 0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	- 0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	- 0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	- 0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	- 0,033	0,830	1,391	1,818	2,159	2,472	2,763	3,330
0,1	- 0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
- 0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
- 0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
- 0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
- 0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
- 0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
- 0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
- 0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
- 0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
- 0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
- 1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
- 1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
- 1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
- 1,6	0,254	0,817	0,995	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
- 1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
- 2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
- 2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,9000	0,905	0,907	0,910
- 2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
- 3,0	0,396	0,636	0,666	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber : Hadisusanto, 2011

5. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan dalam satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam ml/jam, ml/hari, ml/perbulan dan sebagainya, yang kemudian disebut hujan jam-jaman, hujan harian, hujan mingguan, hujan bulanan dan sebagainya. (Bambang Triatmodjo, 2008)

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi (Wesli, 2008).

Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas curah hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi panjang jarang terjadi, tetapi apabila terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan ditumpahkan dari langit. (Suroso, 2006). Dalam penelitian ini digunakan rumus Mononobe untuk menghitung intensitas curah hujan. (Suripin, 2004) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^m \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (menit), atau untuk 4 dalam (jam) a,b,n,m : tetapan

R_{24} = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).

B. Pengertian Permeabilitas Dan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

1. Pengertian Permeabilitas

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah untuk meneruskan air atau udara. Permeabilitas tanah biasanya diukur dengan istilah kecepatan air yang mengalir dalam waktu tertentu yang ditetapkan dalam satuan cm/jam (Hakim, dkk, 1986)

Permeabilitas tanah merupakan kemampuan tanah untuk meneruskan air atau udara. Permeabilitas umumnya diukur sehubungan laju aliran air melalui tanah dalam suatu massa waktu dan dinyatakan sebagai cm/jam (Foth, 1984).

Permeabilitas dapat mempengaruhi kesuburan tanah. Permeabilitas berbeda dengan drainase yang lebih mengacu pada proses pengaliran air saja, permeabilitas dapat mencakup bagaimana air, bahan organik, bahan mineral, udara dan partikel – partikel lainnya yang terbawa bersama air yang akan diserap masuk kedalam tanah (Rohmat, 2009).

2. Pengertian Waktu Penggenangan (*Ponding Time*)

Genangan adalah peristiwa manakala kawasan dipenuhi air karena tidak ada drainase yang mematus air tersebut keluar kawasan (Achmad Sobirin, 2007). Jadi, genangan berhubungan erat dengan resapan dan saluran drainase. Genangan didefinisikan sebagai sekumpulan air yang berhenti mengalir di tempat-tempat yang bukan merupakan badan air.

Untuk menentukan keadaan infiltrasi ke dalam tanah dikenal beberapa macam cara perhitungan. Semua metode perhitungan digunakan untuk memperkirakan lapisan air yang menggenang dipermukaan tanah. Air diatas permukaan akan meresap ke dalam tanah. Selama hujan, air akan menggenang dipermukaan hanya jika intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi dari tanah. Waktu penggenangan (*ponding time*) t_p merupakan selisih waktu antara saat hujan turun dan waktu dimana air mulai menggenang diatas permukaan tanah.

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 ($f \geq i$).

3. Proses Rembesan Air Tanah

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah yang membentuk didalam retak-retak dari batuan. Yang terdahulu disebut air lapisan dan yang terakhir disebut air celah (*fissure water*) (Mori dkk, 1999)

Keberadaan air tanah sangat tergantung besarnya curah hujan dan besarnya air yang dapat meresap kedalam tanah. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kondisi litologi (batuan) dan geologi setempat. Kondisi tanah yang berpasir lepas atau batuan yang permeabilitasnya tinggi akan mempermudah infiltrasi air hujan

kedalam formasi batuan. Dan sebaliknya, batuan dengan sementasi kuat dan kompak memiliki kemampuan untuk meresapkan air kecil. Dalam hal ini hampir semua curah hujan akan mengalir sebagai limpasan (*runoff*) dan terus ke laut. Faktor lainnya adalah perubahan lahan-lahan terbuka menjadi pemukiman dan industri, serta penebangan hutan tanpa kontrol. Hal tersebut akan sangat mempengaruhi infiltrasi terutama bila terjadi pada daerah resapan (*recharge area*) (Usmar dkk, 2006)

Air meresap ke dalam tanah dan mengalir mengikuti gaya gravitasi bumi. Akibat adanya gaya adhesi butiran tanah pada zona tidak jenuh air, menyebabkan pori-pori tanah terisi air dan udara dalam jumlah yang berbeda-beda. Setelah hujan, air bergerak kebawah melalui zona tidak jenuh air (*zona aerasi*). Sejumlah air beredar didalam tanah dan ditahan oleh gaya-gaya kapiler pada pori-pori yang kecil atau tarikan molekuler di sekeliling partikel-partikel tanah. Bila kapasitas retensi dari tanah pada zona aerasi telah habis, air akan bergerak kebawah kedalam daerah dimana pori-pori tanah atau batuan terisi air. Air di dalam zona jenuh air ini disebut air tanah (Linsley dkk, 1989).

Menurut Das, B. M., 1988. Koefisien rembesan tanah adalah tergantung pada beberapa faktor, yaitu: ke kentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, ke kasaran permukaan butiran tanah, dan drajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung, struktur tanah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung menentukan koefisien rembesan.

Harga koefisien rembesan untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4 : Koefisien Tanah

Jenis Tanah	K	
	Cm/dt	Ft/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 : Das, Braja M. 1995.

C. Faktor Yang Mempengaruhi Permeabilitas

Menurut Das, B. M, 1988 koefisien permeabilitas tanah tergantung pada beberapa faktor:

1. Viskositas air, adalah berbentuk cairan air yang berfiltrasi ke dalam tanah. semakin tinggi viskositas-nya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin kecil.
2. Distribusi ukuran pori, adalah tanah yang tidak terisi bahan padat, baik mineral maupun bahan organik jadi semakin merata distribusi ukuran porinya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.

3. Distribusi ukuran butiran, adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit butiran pada suatu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu maka dari itu semakin merata distribusi ukuran butirannya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
4. Rasio ke kosongan (*void*), adalah sebuah parameter yang menunjukkan kualitas unsur hara yang terdapat didalam tanah. Semakin besar rasio ke kosongannya, koefisien permeabilitas tanah-nya akan semakin besar.
5. Kekasaran partikel mineral, adalah perombakan bahan-bahan batuan dan bahan organik yang terdapat dipermukaan bumi maka semakin kasar partikel mineral-nya, koefisien permeabilitas tanah-nya akan semakin tinggi.
6. Derajat kejenuhan tanah, adalah perbandingan antara volume air batas konsistensi tanah atau yang biasa disebut atterbeg limit maka semakin jenuh tanah-nya, koefisien permeabilitas tanah-nya akan semakin tinggi.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi permeabilitas sebagai berikut:

a. Tekstur tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan antara pasir, liat, dan debu yang menyusun suatu tanah. Tekstur sangat mempengaruhi permeabilitas tanah, karena berkaitan dengan kemampuan tanah meloloskan air. Misalnya tanah yang bertekstur pasir akan mudah melewatkan air dalam tanah. Hal ini terkait dengan pengaruh tekstur terhadap proporsi bahan koloidal, ruang pori dan luas permukaan adsorpsi. Semakin halus teksturnya akan makin deras luas permukaan adsorpsi sehingga semakin besar kapasitas simpan airnya, hasilnya berupa peningkatan kadar dan ketersediaan air tanah (Hanafiah, A. K., 2005).

b. Porositas

Porositas adalah proporsi ruang pori total (ruang kosong) yang terdapat dalam satuan volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara, sehingga merupakan indikator kondisi drainase dan aerasi tanah. Tanah yang porous berarti tanah yang cukup mempunyai ruang pori untuk pergerakan air dan udara sehingga mudah keluar masuk tanah secara leluasa (Hanafiah, A. K., 2005).

c. Kandungan bahan organik

Kohnke, H (1968). menyatakan bahwa fungsi bahan organik adalah sebagai sumber makanan dan energi bagi mikroorganisme, membantu keharmonisan tanaman melalui perombakan dirinya sendiri melalui kapasitas pertukaran humusnya, menyediakan zat-zat yang dibutuhkan dalam pembentukan pematangan agregat-agregat tanah, memperbaiki kapasitas mengikat air dan melewatkan air, serta membantu dalam pengendalian limpasan permukaan dan erosi.

d. Kerapatan Massa tanah (*Bulk Density*)

Menurut Nurmi, dkk (2009). nilai *bulk density* berbanding terbalik dengan ruang pori total tanah. Nilai *bulk density* yang tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut lebih padat dibandingkan dengan tanah-tanah yang memiliki nilai *bulk density* yang lebih rendah. Semakin padat suatu tanah, volume pori pada tanah tersebut semakin rendah.

e. Kerapatan Butir Tanah (*Partikel Density*)

Kerapatan butir tanah menyatakan berat butir-butir padat tanah yang terkandung di dalam tanah. Kandungan bahan organik di dalam tanah sangat mempengaruhi kerapatan butir tanah. Semakin banyak kandungan bahan organik

yang terkandung dalam tanah, maka makin kecil nilai kerapatan partikelnya. Selain itu, dalam volume yang sama, bahan organik memiliki berat yang lebih kecil dari pada benda padat tanah mineral yang lain. Sehingga jumlah bahan organik dalam tanah mempengaruhi kerapatan butir. Akibatnya tanah permukaan kerapatan butirnya lebih kecil daripada *sub soil*. Dengan adanya bahan organik, menyebabkan nilai kerapatan partikel semakin kecil (Hanafiah, A. K., 2005)

1. Pengaruh Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas dan Waktu Penggenangan (*Ponding Time*).

Frekuensi merupakan jumlah kejadian dari sebuah varian, dengan analisis frekuensi akan diperkirakan interval kejadian tertentu, seperti 10 tahunan, 100 tahunan atau 1000 tahunan. Tujuan analisis frekuensi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas (Bambang Triatmodjo, 2013). Misal-nya, 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.

Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi uap air yang berasal dari alam yang terdapat di atmosfer. Bentuk presipitasi lainnya adalah salju dan es. Hujan berasal dari uap air di atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi

kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan (Bambang Triatmojo, 1998).

Ketika hujan jatuh di atas tanah, butiran tanah mengalami pemadatan oleh butiran air hujan. pemadatan tersebut mengurangi pori-pori tanah yang berbutir halus (seperti lempung), sehingga dapat mengurangi kemampuan tanah meloloskan air (permeabilitas) dan mengurangi kapasitas infiltrasi. demikian halnya dengan penggenangan, semakin lama frekuensi hujan yang terjadi maka volume rongga semakin kecil dan tanah akan jenuh akhirnya terjadi penggenangan dan mengakibatkan waktu penggenangan semakin lama. untuk tanah pasir, pengaruh tersebut sangat kecil.

Pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah yang terbuka menghancurkan dan mendispersikan agregat tanah yang mengakibatkan penyumbatan pori tanah di permukaan. hal ini akan menurunkan laju infiltrasi. Penurunan laju infiltrasi juga dapat terjadi karena *overgrazing*, dan pemadatan tanah akibat penggunaan alat-alat berat (Hakim, dkk., 1986).

2. Formulasi Perhitungan Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang mengalir lewat rongga porinya. Rongga pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga air dapat mengalir dari titik yang mempunyai tinggi energi lebih tinggi ke titik yang mempunyai tinggi energi lebih rendah. Tinggi rendahnya tingkat permeabilitas ditentukan jenis tanah,

ukuran butir, bentuk butiran, rapat massa serta bentuk geometri rongga porinya (Hardiyatmo, H. C., 1992)

Hukum Darcy menjelaskan tentang ke-mampuan 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. (Gogot Setyo Budi, 2011)

$$v = k.i \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan :

v = kecepatan aliran (m/s atau cm/s)

k = koefisien permeabilitas

i = gradien hidrolik

Lalu telah diketahui bahwa:

$$v = \frac{Q}{At} \text{ dan} \dots\dots\dots (18)$$

$$i = \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots (19)$$

sehingga hukum Darcy bisa dinyatakan dengan persamaan :

$$Q = (K. A. t. \Delta h)L \dots\dots\dots (20)$$

Atau

$$k = \frac{QL}{(\Delta h)At} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan :

A = luas penampang melintang tanah (cm²)

- Q = Debit aliran (cm³/jam)
- t = waktu tempuh fluida sepanjang L (detik)
- Δh = ketinggian dari permukaan air hingga dasar tabung (cm)
- L = Ketinggian tabung dalam tanah (cm)

D. Jenis-Jenis Tanah

Sistem Klasifikasi Tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, Braja M, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai kondisi tanah dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1991).

1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Dari pengklasifikasian suatu material maka dapat dibuat table yang menggambarkan sistem AASHTO (*American Association Of State Highway and*

Transportation officials Classification) secara terperinci. Tabel tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 5 : Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Analisa Saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 Maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan No.40											
Batas Cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	11 min	11 min	11 min	10 maks	11 min	11 min	11 min
Indeks Kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir Halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Catatan : Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL); Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5; Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6; Np = Nonplastis; (Sumber : *Hary Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, Edisi-3, halaman 61*).

Dari tabel diatas, kelompok tanah yang terletak paling kiri adalah kelompok tanah yang PI 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:

- 1) A-4 adalah kelompok tanah lanau berplastisitas rendah.
- 2) 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.
- 3) A-6 adalah kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan ke rikil, tetapi sifat perubahan volume cukup besar.
- 4) 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.
 - 1) Jika $\leq 35\%$ material lolos dari saringan, maka termasuk kelompok *Granular materials*.

- 2) 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:
- 1) A-1
 - a) 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.
 - b) A-1-b, jika persentase kelolosan dengan 10 mesh 0%, 40 mesh maksimal 50%, 200 mesh maksimal 25%.
 - 2) 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%.
 - 3) 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.
- 1) Untuk A-1, batas cair (LL) tidak ada dan *plasticity* indeksnya maksimal 6 serta merupakan type material *stone fragments, gravel dan sand*.
 - 2) 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.
 - 3) Untuk A-3, batas cair (LL) tidak ada dan indeks plastisitasnya tidak ditemukan serta merupakan type material *fine sand*.
 - 4) Untuk A-4, batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya maksimal 10 serta merupakan type material *silty soils*.
 - 5) Untuk A-5, batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya maksimal 10 serta merupakan type material *silty soils*.
 - 6) Untuk A-6, batas cair (LL) maksimal 40 dan indeks plastisitasnya minimal 11 serta merupakan type material *clayey soils*.
 - 7) Untuk A-7, batas cair (LL) minimal 41 dan indeks plastisitasnya minimal 11 serta merupakan type material *clay ey soils*.
- e) Terakhir memberi nama pada sampel yang diukur, lalu menentukan general sub grade rating pada sample tersebut.

E. Review Penelitian Terkait Sebelumnya

Judul pertama : Analisis Dan Pemodelan Formasi Pipa Untuk Konservasi Air Tanah Pada Lahan Pertanian Irigasi Air Tanah Di Kabupaten Takalar. Disusun Oleh, Darwis Panguriseng, Jurnal Teknik Sipil Vol 13 No.3.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara volume debit air tanah dengan elevasi permukaan tanah, serta menemukan formasi pipa infiltrasi yang efektif dalam pengisian air tanah. Mengetahui dua hal tersebut, dapat mengidentifikasi tingkat kerusakan air tanah, panjang pipa untuk mengisi ulang dan radius pengaruh pemompaan prediksi air tanah di lokasi.

Hasil penelitian ini menyimpulkan beberapa hal: (1) Kondisi air tanah di peternakan yang menggunakan pengairan air tanah sejak tahun 1980an di Takalar, telah mencapai titik kritis. Hal itu bisa dilihat dari gambar penurunan elevasi permukaan air tanah yang begitu tinggi, bahkan beberapa sumur eksploitasi petani sudah mengalami beberapa kali saat memompa; (2) Panjang pipa leach 4 m, terbukti cukup efektif untuk mengisi kembali tanah, karena telah melewati ketebalan lapisan tanah yang mengandung lapisan permukaan semi impermeabel; (3) Pipa formasi memberikan penyerapan yang optimal dan peningkatan kadar airtanah muka awal adalah formasi ke-3 (12 infiltrasi pipa), dan jumlah pipa yang akan dilepaskan untuk formasi ke-3 masih layak dilakukan dan dapat diimplementasikan oleh pengguna airtanah petani, dan biaya mencekik petani; (4) Pengaruh radius pemompaan air tanah di wilayah studi cukup besar, yaitu sumur kontrol dalam jarak 50 m dari sumur eksploitasi masih menunjukkan penurunan airtanah yang signifikan, setiap air tanah di sumur eksploitasi yang dilepaskan.

Judul kedua : The Role Of Tree Root For Increasing Infiltration Capacity. Di Susun Oleh : A. Rakhim, International Journal Of Civil Engineering And Technology (IJCIET), Volume 8, Issue 8, August 2017. The purpose of this research is to study infiltration capacity on soil by using tree root as infiltration media with variation of rain intensity. Previously, the soil density test was done by sand cone method, then it was given 4 times repeated rain on each soil sample.

The results showed that the use of tree roots as infiltration media, can increase the capacity of infiltration. This is seen in SS1 soil samples with $k = 0.00384$ mm/hour for D1, D2, D3 and D4 densities with rain intensity $I_5 = 246.84$ mm/hour, an average increase in infiltration capacity (f_c) from no-root (Ak-0) to 1-root (Ak1), 3-root (Ak3) and 6-roots (Ak6), respectively by 201.12%, 348.28%, and 523.84%. Similarly, in the same soil sample, with rain intensity $I_{10} = 290.34$ mm/hour, there was an increase in the average value of infiltration capacity from Ak0 to Ak1, Ak3 and Ak6, respectively 105.78%, 218.18%, and 265.87%, and also on the same soil sample, with rain intensity $I_{25} = 344.90$ mm/hour there was an increase of average value of infiltration capacity from Ak0 to Ak1, Ak3 and Ak6 respectively by 120.13%, 210.95%, and 311.45%.

Judul ketiga: Kalibrasi Dan Evaluasi Kinerja Rainfall Simulator. Di susun oleh, Rahadi dkk, Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 9 No. 3 (Desember 2008) 190 - 198. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja fungsional simulator curah hujan termasuk penentuan korelasi antara tekanan dengan parameter curah hujan (intensitas hujan, distribusi ukuran drop, dan energi kinetik) dan evaluasi kinerja curah hujan berdasarkan koefisien keseragaman dan keseragaman distribusi. Data

dianalisis dengan menggunakan regresi linier dan dievaluasi dengan koefisien keseragaman dan keseragaman distribusi.

Hasil penelitian, hubungan tekanan dengan intensitas hujan, diameter tetesan dan energi kinetik adalah linier. Koefisien keseragaman pada berbagai tekanan (2,5 psi sampai dengan 6,5 psi dari rainfall simulator menunjukkan koefisien keseragaman diatas 83,15%. Keragaman Distribusi pada berbagai tekanan (2,5 psi sampai dengan 6,5 psi dari rainfall simulator menunjukkan nilai lebih besar 72,53%. Rainfall Simulator mempunyai kinerja yang baik dengan koefisien keseragaman diatas 80% dan nilai keseragaman distribusi diatas 70%.

Judul keempat : Pengaruh Hujan terhadap Perubahan Elevasi Muka Air Tanah pada Model Unit Resapan dengan Media Tanah Pasir. Di susun oleh, Burhan Barid, Wahyunika Sari, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 16, No. 1, 57-64, Mei 2013. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tingkat air tanah terhadap waktu untuk mengisi ulang model unit dengan tanah pasir sedang dalam kondisi awan, untuk mengetahui pengaruh perubahan kelembaban tanah pada kondisi hujan deras dan untuk efisiensi tangkapan unit model.

Hasil penelitian, menunjukkan bahwa Perubahan muka air tanah terjadi pada menit ke-120, pada pengujian I hanya mencapai -81,2 cm, pengujian II mencapai - 76 cm, dan pada pengujian III kenaikan muka air tanah mencapai -77,6 cm. Pengujian ini masing-masing menggunakan intensitas hujan (I) sebesar 0,14 m/jam, luas area (A) $2,25 \text{ m}^2$, dan durasi hujan (t) selama 2 jam yang sama. Dari data tersebut diperoleh Volume hujan sebesar 630 liter. Efisiensi Model Unit Resapan diperoleh dari tiap persentase kenaikan muka air tanah, pada pengujian I

diperoleh nilai persentase kenaikan muka air tanah sebesar 18,8%, pengujian II diperoleh nilai persentase sebesar 22,4%, dan pada pengujian III diperoleh nilai persentase kenaikan muka air tanah sebesar 24%. Dari ketiga persentase pengujian.

Judul kelima: Analisis Hidrolika Bangunan Krib Permeabel Pada Saluran Tanah (Uji Model Laboratorium). Ayu Marlina Humairah, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 2. No.3, September 2014*. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perubahan dasar saluran, elevasi dasar saluran (morfologi) dan gerusan di hulu krib akibat pemasangan krib permeabel pada belokan saluran tanah.

Hasil penelitian, Sudut pemasangan krib permeabel krib 90° lebih baik karena perubahan dasar salurannya lebih kecil yaitu 1,346 cm (1,346 kali dari saluran awal) dan koefisien determinasinya hampir mendekati 1 yaitu 0,9384 dibandingkan dengan sudut pemasangan krib permeabel 45° dan 135°. Kedalaman gerusan dengan sudut pemasangan krib permeabel krib 90° juga lebih kecil yaitu 0,95 cm dan koefisien determinasinya hampir mendekati 1 yaitu 0,8317 dibandingkan dengan sudut pemasangan krib permeabel 45° dan 135°.

Judul keenam: Studi Rongga Menerus Dan Kinerja Permeabilitas Perkerasan Aspal Porus Lapis Ganda, AI Wayan Diana, *Jurnal Transportasi Vol. 4 No. 2 Desember 2004: 85-98*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari kadar rongga menerus dan kinerja aliran pada perkerasan aspal porus lapis ganda, agar diperoleh lapisan perkerasan dengan kapasitas drainase dapat berfungsi efektif selama masa layan. Pada penelitian ini dibuat 3 macam kombinasi benda uji yaitu:

(i) A (10/14 mm), (ii) B (10/20 mm), dan (iii) C (14/20 mm) dengan ukuran 50 x 30 x 5 cm.

Hasil penelitian, Koefisien permeabilitas ekuivalen (k_e) aspal porus lapis ganda meningkat dari 0,264 cm/detik kombinasi A (10/14) menjadi 0,288 cm/detik kombinasi B (10/20). Peningkatan yang lebih signifikan diperoleh pada kombinasi C (14/20) sebesar 0,401 cm/detik dengan kadar rongga menerus 16,533% dan rongga total 21,256%. Sifat-sifat drainase aspal porus lapis ganda khususnya aliran bawah permukaan sangat dominan mencapai 99% dibandingkan dengan aliran permukaan untuk semua variasi kemiringan melintang jalan.

Judul ketujuh: Analisis Hidrograf Limpasan Akibat Variasi Intensitas Hujan Dan Kemiringan Lahan (Kajian Laboratorium Dengan Simulator Hujan), Disusun Oleh, Nur Rizki Oktarina, *Vol. 3, No. 1, Maret 2015*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil hidrograf pengamatan dengan hidrograf satuan sintetik Gama I, Nakayasu, dan metode Rasional Modifikasi. Dilakukan di laboratorium menggunakan simulator hujan dengan intensitas hujan 30 mm/jam, 40 mm/jam, dan 50 mm/jam

Hasil penelitian, Berdasarkan hasil pengamatan, seiring terjadinya peningkatan intensitas hujan dan kemiringan lahan maka akan terjadi pula peningkatan debit puncak dan waktu puncak yang lebih pendek. Hal ini tergambar pada masing-masing hidrograf observasi bahwa pada intensitas hujan 50 mm/jam dan kemiringan lahan 5% menghasilkan debit puncak terbesar dalam waktu singkat dibandingkan dengan intensitas hujan dan kemiringan lainnya. Adanya perbedaan kerapatan jaringan kurus yaitu $D = 0$, $D = 1,0315 \text{ m/m}^2$, dan $D = 1,663 \text{ m/m}^2$

menghasilkan debit puncak yang berbeda pula. Semakin besar nilai D, maka debit puncak akan semakin besar. Begitu pula pada waktu puncak, akan terjadi lebih cepat pada kerapatan jaringan kuras yang lebih besar.

Judul kedelapan: Pemodelan Infiltrasi Air ke Dalam Tanah dengan Alat "Kolom Infiltrasi" untuk Menghitung Koefisien Permeabilitas Tanah Tidak Jenuh (k_w), disusun oleh, Moh Muntah, *Volume 8, Nomor 1, Pebruari 2010*. Dalam studi ini akan dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan kadar air terhadap koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh (k_w). Sebuah alat "Kolom Infiltrasi" disiapkan untuk menghitung koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh (k_w).

hasil penelitian. Resistivitas tanah (ρ) semakin mengecil seiring meningkatnya derajat kejenuhan/kadar air tanah. Demikian juga pada kondisi sebaliknya. Pada kondisi kadar air 12% koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh (k_w) adalah $1,35 \times 10^{-9}$ m/s jika dihitung dengan menggunakan perumusan Campbel (2), sedangkan jika dihitung dengan alat "kolom Infiltrasi" didapat harga koefisien permeabilitas tanah tidak jenuh (k_w) adalah $1,338 \times 10^{-7}$ m/s.

Judul kesembilan: Permeabilitas Beton Dengan Penambahan Styrofoam, I Gusti Ketut Sudipta dan Ketut Sudarsana, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 13, No. 2, Juli 2009*. Penelitian tentang permeabilitas beton dengan penambahan styrofoam ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara permeabilitas beton dengan prosentase penambahan butiran styrofoam. Penambahan butiran styrofoam dimaksudkan untuk membuat berat satuan beton menjadi lebih kecil.

Hasil penelitian, semakin banyak penambahan styro-foam ke dalam beton mengakibatkan nilai slump semakin meningkat. Rata-rata peningkatan nilai slump

mencapai 0,18 cm untuk setiap penambahan styrofoam 10%; semakin banyak penambahan styro-foam ke dalam beton berat satuan beton semakin kecil. Rata-rata penurunan berat satuan mencapai $91,71 \text{ kg/m}^3$ untuk setiap penambahan styrofoam 10%. Pada penambahan styro-foam 10% dan 20% berat satuan beton secara berurutan adalah 2041 kg/m^3 dan 2025 kg/m^3 , masih tergolong beton normal. Sedangkan pada penambahan styrofoam 30% dan 40% berat satuan beton berturut-turut 1836 kg/m^3 dan 1821 kg/m^3 , tergolong sebagai beton ringan;

Judul kesepuluh : Pengaruh Penambahan Arang Dan Abu Sekam Dengan Proporsi Yang Berbeda Terhadap Permeabilitas Dan Porositas Tanah Liat Serta Pertumbuhan Kacang Hijau (*Vigna Radiata L*), disusun oleh, Andriana Hesti Kusuma, Munifatul Izzati dan Endang Saptiningsih *Volume XXI, Nomor 1, Maret 2013*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas penambahan arang dan abu sekam pada berbagai proporsi yang berbeda terhadap permeabilitas dan porositas tanah liat, serta pertumbuhan kacang hijau (*Vigna radiata L*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan arang dan abu sekam dengan proporsi yang berbeda tidak dapat meningkatkan permeabilitas, porositas tanah liat, dan berat kering akar. Tetapi, penambahan arang dan abu sekam dengan proporsi yang berbeda dapat meningkatkan panjang akar lateral dan berat kering tajuk. Penambahan arang sekam pada proporsi penambahan 50% menghasilkan akar lateral terpanjang, yaitu 67,01 cm. Penambahan arang dan abu sekam dapat meningkatkan berat kering tajuk. Berat kering tajuk tertinggi 1,26 gr dihasilkan oleh penambahan abu sekam. Penambahan arang dan abu sekam dengan proporsi yang berbeda tidak dapat memperbaiki sifat fisik tanah liat, tetapi dapat

meningkatkan pertumbuhan kacang hijau, terutama panjang akar lateral dan berat karing tajuk.

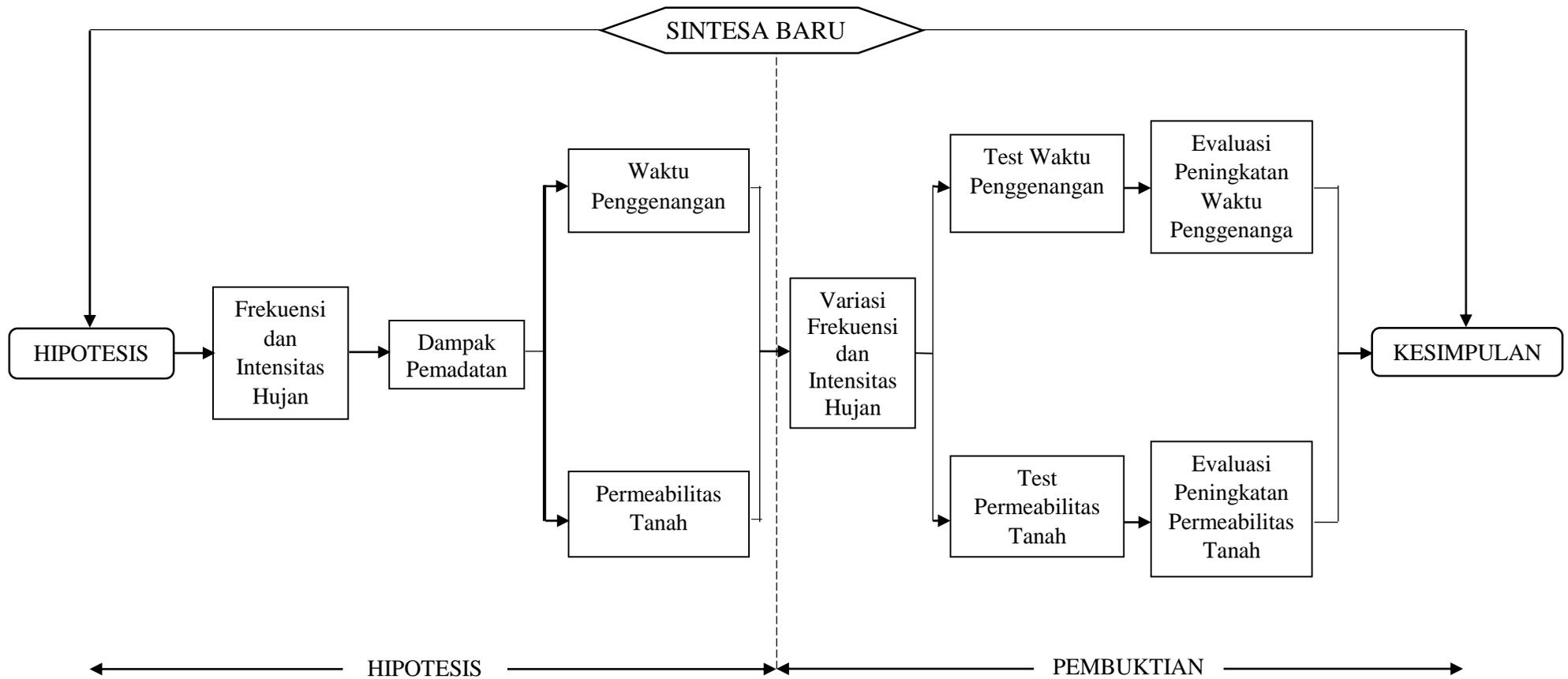
Judul kesebelas : Formulasi Efek Sifat Fisik Tanah Terhadap Permeabilitas Dan Suction Head (Kajian Empiric Untuk Meningkatkan Laju Infiltrasi), Dede Rohmat Dkk, Jurnal Bionatura, Vol, 8 No. 1 Maret 2006. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh persamaan empiric yang menyatakan variable sifat fisik tanah teradap permeabilitas tanah dan suction head.

Hasil penelitian, menunjukkan bahwa terdapat tiga parameter sifat fisik tanah yang mempunyai efek signifikan terhadap permeabilitas tanah (K), yaitu kelembaban tanah (2%);kandungan pori drainase cepat (0 %), dan kandungan pori drainase lambat (0%). Ketiga parameter ini mempengaruhi nilai K sekitar 67,7% dengan nilai koefisien korelasi 0.831.

Judul keduabelas : Estimasi permeabilitas reservoir batu gamping dari data seismik VSP sintetik dan rill, disusun oleh, heri gunawan dan sismanto Jurnal fisika indonesia, no : 24, vol. IX. Edisi agustus 2004. Tujuan penelitian melakukan estimasi permeabilitas reservoir batu gamping dari data seismogram sintetik konfigurasi VSP (*vertical seismic profiling*) sintetik yang melibatkan efek absorpsi dan dispersi pada model tiga lapis reservoir yang berupa batu pasir, batu gamping dan dolomit.

Hasil penelitian, hasil yang di peroleh menunjukkan bahwa pengaruh permeabilitas kurang signifikan terhadap perubahan frekuensi dan kecepatan dan gelombang seismik. namun kedua metode tersebut mampu mengestimasi nilai permeabilitas reservoir melalui analisis atenuasi gelombang seismik.

F. Kerangka Penelitian



Gambar 2. Kerangka Fikir Penelitian

Penjelasan Kerangka Fikir :

Kerapatan relatif adalah kerapatan butiran tanah relatif terhadap kepadatan maksimum dan minimum hasil tes laboratorium (Robert J. Kodoatie dan Roestam Sjarief, 2010). Kerapatan relatif menunjukkan derajat kerapatan dari tanah yang mengandung partikel granuler

Salah satu yang mempengaruhi kerapatan relatif (D_r) tanah adalah frekuensi hujan, dimana semakin tinggi frekuensi hujan yang mengenai tanah maka kerapatan relatif-nya akan semakin tinggi, dan sebaliknya angka pori tanah semakin kecil.

Ketika hujan jatuh di atas tanah, butiran tanah mengalami pemadatan oleh butiran air hujan, pemadatan tersebut memperkecil pori-pori tanah yang berbutir halus (seperti lempung), sehingga dapat memperkecil koefisien permeabilitas (k) tanah. dengan mengecilnya permeabilitas tanah, mengakibatkan menurunnya kapasitas infiltrasi. Semakin tinggi frekuensi hujan dan semakin meningkatnya intensitas curah hujan yang mengenai tanah, maka akan memperkecil pori-pori tanah dan tanah akan jenuh mengakibatkan terjadi penggenangan dan waktu penggenangan semakin lama.

Pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah yang terbuka menghancurkan dan mendispersikan agregat tanah yang mengakibatkan penyumbatan pori tanah di permukaan. Hal ini akan mempengaruhi permeabilitas tanah dan menurunkan laju infiltrasi. Penurunan laju infiltrasi juga dapat terjadi karena *overgrazing*. (Hakim, *dkk.*, 1986).

Hipotesis :

Hipotesis adalah jawaban sementara terhadap masalah penelitian yang kebenarannya harus di uji secara empiris (Moh. Nazir, 1998)

Pada penelitian ini, frekuensi hujan dan intensitas curah hujan sebagai indikator. Makin tinggi frekuensi hujan dan meningkatnya intensitas curah hujan mengakibatkan struktur tanah padat sehingga permeabilitas tanah semakin kecil dan penggenangan semakin tinggi

Pembuktian :

Pada tahapan pembuktian Pengujian dilakukan dilaboratorium dengan alat *rainfal simulator*, menggunakan lima frekuensi hujan berulang pada setiap intensitas curah hujan, untuk mengetahui perubahan permeabilitas tanah dan waktu penggenangan pada setiap tahap hujan yang terjadi.

Setelah dievaluasi data-data dari hasil pengamatan, maka dapat ditarik kesimpulan, apabila hasil pembuktian tidak sesuai dengan hipotesis maka dapat memunculkan sintesa baru (temuan baru)

BAB III

METODE 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 10 Maret 2017 sampai tanggal 13 Oktober 2017.

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 Kota Makassar dari Dinas PU dan BMKG kota Makassar, 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. Alat dan Bahan Penelitian

Untuk memudahkan penelitian ini dilakukan rancangan penelitian yang meliputi : persiapan alat dan bahan.

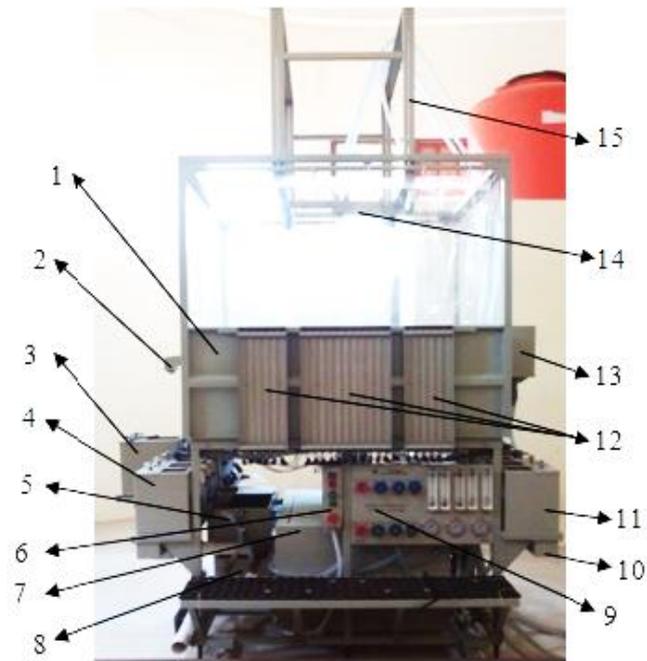
1. Alat

Alat atau peralatan yang digunakan dalam pengujian penelitian sebagai berikut :

- a. Satu set alat *rainfall simulator*

Alat yang digunakan untuk membuat simulasi pada penelitian ini yaitu *rainfall simulator* yang terdapat di Laboratorium Hidrologi Universitas Muhammadiyah Makassar. *Rainfall Simulator* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *type basic hydrology sistem* merupakan alat yang memungkinkan kita untuk melihat siklus hidrologi dalam skala kecil, akan tetapi ada faktor yang tidak dimasukkan dalam alat ini yaitu faktor evapotranspirasi dan evaporasi yang kedua

hal tersebut disebabkan oleh matahari dan tanaman. Berikut gambar dan bagian-bagian dari alat *rainfall Simulator* :

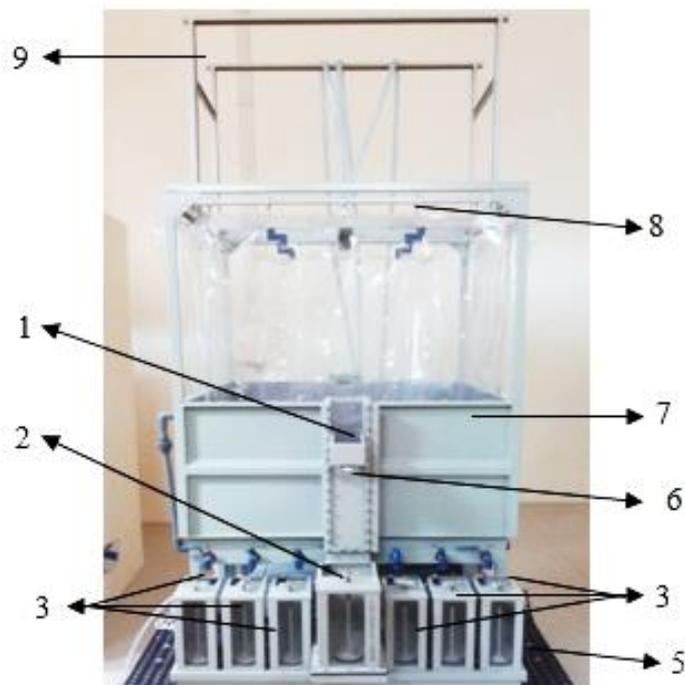


Gambar 3 : Tampak depan alat *rainfall simulator*.

Keterangan Gambar 3 :

- 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 4 : Tampak samping kiri alat *rainfall simulator*

Keterangan Gambar 4 :

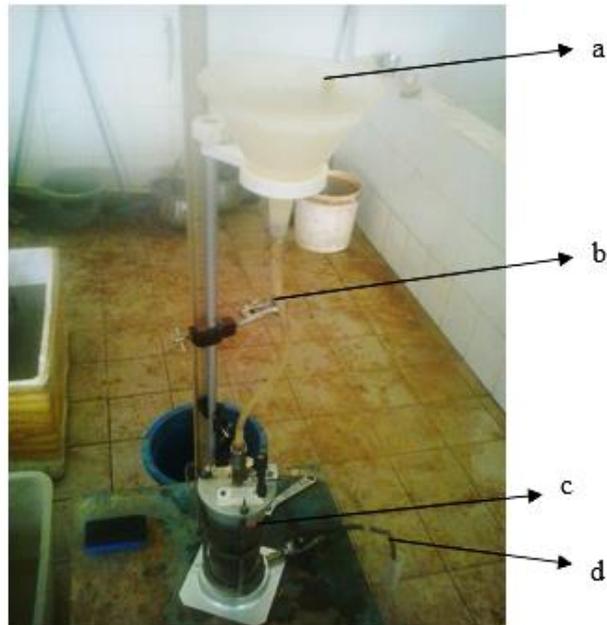
- 1) Tempat pemasangan belalai saluran air ke bejana pengukuran keluaran bak percobaan.
- 2) Bejana pengukuran keluaran air dari bak percobaan utama
- 3) Bejana pengukuran *drain* sisi kiri (ada 6 buah).
- 4) Penampungan air buangan untuk seluruh bejana pengukuran *drain* dari seluruh *drain*.
- 5) Pijakan 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 5 : Media uji tangkapan air hujan

b. Satu Set Alat Uji Permeabilitas

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



Gambar 6 : Alat uji permeabilitas (Laboratorium Universitas Hasanuddin)

Keterangan Gambar 6 :

- 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 :

- 1) Alat tulis dan tabel isian data dari hasil pengamatan.

- 2) Kamera digital untuk dokumentasi proses pengamatan
- 3) Komputer, printer dan scanner untuk pengimputan data
- 4) Pipa sampel yang akan digunakan untuk media tanah,
- 5) *Stopwatch* sebagai alat untuk menghitung waktu lama penggenangan dan permeabilitas tanah
- 6) Kalkulator sebagai alat hitung,
- 7) Tanah dengan persentase gradasi yang telah ditentukan
- 8) 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 *Common Soil*.
- 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*).

D. Teknik Analisa data

Sesuai dengan tujuan penelitian ini maka pengujian dilakukan dengan uji fisik laboratorium dengan kajian literature yang berkaitan dengan permeabilitas tanah dan waktu penggenangan (*ponding time*). uji fisik ini dimaksudkan untuk mengamati dan mengetahui Pengaruh intensitas curah hujan dan frekuensi hujan

terhadap permeabilitas tanah dan waktu penggenangan (*ponding time*) pada jenis tanah *common soil*.

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.

E. 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, 2011).

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

1. Variabel Bebas (*Independent Variabel*)

Menurut Sugiyono (2011), variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel

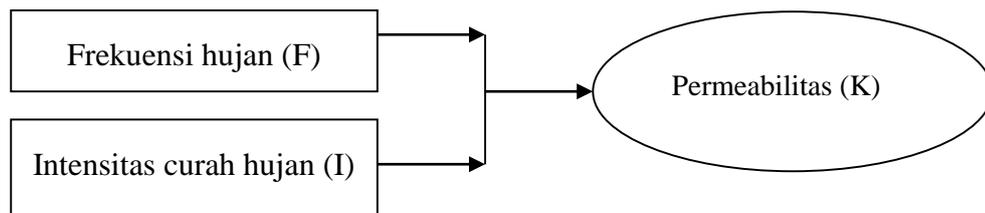
terikat (*dependent variabel*). Variabel bebas pada penelitian ini yaitu “Frekuensi Hujan dan Intensitas Curah Hujan”.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variabel*)

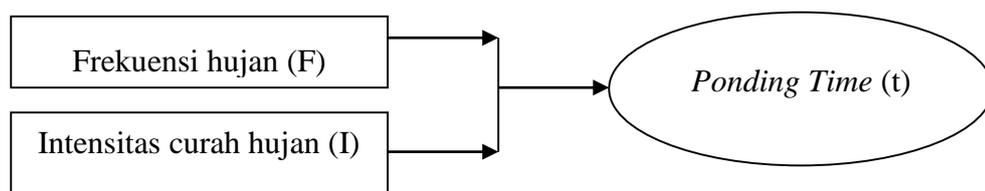
Variabel terikat (*dependent variabel*) merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2011). Variabel terikat pada penelitian ini yaitu “Permeabilitas” dan “waktu penggenangan (*Ponding Time*)”.

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*).

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



a) Variabel Terikat “Permeabilitas Tanah”



b) Variabel Terikat “*Ponding Time*”

Gambar 7 : Skema Hubungan Variabel Penelitian

F. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

1. Prosedur dan Pemeriksaan Media Tanah

Setelah pengambilan sampel tanah pada lokasi yang ditentukan, tanah tersebut terlebih dahulu dikeringkan dan dijemur dibawah sinar matahari, setelah tanah dalam ke adaan kering kemudian tanah tersebut disaring dengan nomor ayakan yang bervariasi sesuai dengan ke butuhan penelitian, agar mendapatkan kondisi tanah yang sesuai dengan ke butuhan penelitian yaitu jenis tanah (*Common Soil*).

Adapun tahapam Penentuan jenis tanah yaitu untuk mendapatkan jenis tanah (*common soil*) dengan melakukan uji karakteristik tanah.

Karakteristik tanah yang diujikan dalam penelitian ini diantaranya, yaitu :

- a. Pengujian sand cone test
- b. Pengujian kadar air tanah
- c. Pengujian permeabilitas tanah
- d. Pengujian analisa saringan
- e. Pengujian Kompaksi.
- f. Pengujian batas batas *Atterbeg* (batas plastis dan batas cair)

2. Prosedur *Setting Media*

Sebelum prosedur pengujian simulasi hujan (*rainfall simulator*) dilaksanakan perlu dilakukan pemadatan tanah pada tangki uji secara lapis per lapis dengan ke tebalan per lapis sesuai yang di rencanakan.

Dengan menggunakan metode :

$$Dr = \frac{\gamma_d \text{ Lapangan}}{\gamma_d \text{ Laboratorium}} \times 100\% \dots\dots\dots (24)$$

Karena kondisi lapangan yang mau diuji, maka :

$$\gamma_d \text{ Lap} = \gamma \text{ Lab} \times \frac{Dr}{100} : \dots\dots\dots (25)$$

Setelah nilai $\gamma_d \text{ Lap}$ diketahui, selanjutnya dikondisikan berat tanah dan volume tanah setelah dipadatkan (volume yang ditargetkan untuk dicapai dalam pemadatan).

$$\gamma_d \text{ Lap} = \frac{\text{Berat Tanah yang akan dipadatkan}}{\text{Volume tanah setelah dipadatkan}} \dots\dots\dots (26)$$

Diketahui :

Tinggi sampel direncanakan (t)	= 30 cm
Luas alat <i>rainfall simulator</i> (A)	= 12000 cm ²
γ_d lapangan (sumber, <i>sandcone test</i>)	= 1,505 gram/cm ³
Dr	= 71,667 %

$$\text{Volume padat yang direncanakan (A x t) = 12000 x 30 = 360000 cm}^3$$

(sumber, data *sandcone test*)

Untuk mendapatkan berat tanah pada yang akan di uji maka dihubungkan dengan volume yang di targetkan untuk di capai dalam pemadatan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat. Padat} = \gamma_d \text{ Lap} \times \text{Volume tanah setelah dipadatkan}$$

$$\text{Berat. Padat} = 1,505 \times 360000 = 541800 \text{ gram}$$

$$\text{Berat. Padat} = 541,8 \text{ kg (untuk tinggi sampel 30 cm)}$$

$$\text{Untuk tinggi sampel 10 cm} = 541,8 / 3 = 180,6 \text{ kg}$$

Adapun dalam tahapan-tahapan pematatannya sebagai berikut :

- a. Setelah berat padat diketahui selanjutnya tanah untuk lapisan pertama dimasukkan ke dalam tangki uji
- b. Tumbuk secara merata sampai dengan tingkat ke padatan yang telah di rencanakan yaitu untuk setiap lapis tingginya 10 cm.
- c. Setelah lapisan tanah pertama sudah padat, lakukan kembali poin (a) dan (b) untuk lapisan 2 dan 3.
- d. Jumlah lapisan, ketebalan lapisan, dan ke padatan lapisan tanah harus sesuai dengan yang direncanakan.

3. **Prosedur *Setting* Simulasi Intensitas Curah Hujan Pada Alat *Rainfall Simulator***

Sebelum prosedur pengujian simulasi hujan (*rainfall simulator*) dilaksanakan perlu dilakukan *setting* simulasi intensitas curah hujan untuk mendapatkan intensitas curah hujan yang sesuai dengan alat *rainfall simulator*.

- a. Menghitung analisis intensitas curah hujan menggunakan rumus mononobe karena data curah hujan yang didapatkan adalah data curah hujan harian, hasil perhitungan sebagai berikut :

$$I_5 = \frac{135,842}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 246.841 \text{ mm/jam}$$

$$I_{15} = \frac{160,339}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 307,489 \text{ mm/jam}$$

$$I_{25} = \frac{189,906}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 344.900 \text{ mm/jam}$$

- b. Nilai intensitas curah hujan yang didapat dari hasil perhitungan, kemudian disesuaikan kedalam tabel standar intensitas curah hujan pada *rainfall simulator* yang terdapat pada tabel 8.
- c. Nilai dari hasil perhitungan intensitas curah hujan dan penyesuaian standar intensitas curah hujan di interpolasi yang kemudian dijadikan acuan untuk pengaturan dan pembacaan pada *flowmeter* yang terdapat pada alat rainfall simulator sebagai berikut :

<i>Rain Condition</i>	<i>Rain Fall Rate</i>	<i>Flow Rates</i>
<i>Medium</i>	<i>102 mm/hour-480 mm/hour</i>	<i>2,04 L/min-9,6/min</i>

Diketahui I_5 (246,842 mm/jam), untuk menghitung tinggi *flow meter* dapat diinterpolasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_5 &= 2,04 + \left(\frac{246,841-102}{480-102} \right) \times (9,6 - 2,04) \\
 &= 4,9 \text{ liter/menit} \\
 &= \frac{4,9}{2} = 2,45 \text{ liter/menit}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil nilai interpolasi *inflowmeter* I_{15} dan I_{25} dapat dilihat pada tabel 9.

4. Prosedur Pengujian Model (*Rainfall Simulator*)

Prosedur pengujian model alat simulasi hujan (*rainfal simulator*) yang hendak dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pastikan alat *Rainfall Simulator* dan alat bantu lainnya siap untuk digunakan.

- b. Tutup lubang pori pada tangki uji menggunakan kertas *filter* dan ditutup dengan *geotextile*, dengan tujuan material tanah yang terbawa air tidak menyumbat lubang pori.
- c. Tanah yang digunakan adalah tanah yang sudah kering dan lolos saringan no.8
- d. Masukkan tanah tersebut ke dalam kotak pengetesan. kemudian diratakan dan dipadatkan dengan menggunakan penumbuk seberat 2,9 kg.
- e. Mengatur debit pompa untuk menentukan intensitas hujan sesuai dengan yang diinginkan diamati dalam liter/menit.
- f. Mengatur ketinggian meja pengetesan sesuai dengan yang ditentukan.
- g. Alat *rainfall simulator* dihidupkan dengan pengaturan kran *inflow* sesuai dengan intensitas yang sudah ditentukan.
- h. Mengoperasikan hujan buatan dengan intensitas yang telah ditentukan sebelumnya dengan membuka *spray nozzle*.

5. Prosedur Pengamatan Permeabilitas

Prosedur Test ini dimaksudkan untuk menentukan permeabilitas tanah (*Common Soil*) 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 *common soil* 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.

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

Adapun prosedur pengamatan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan di lakukan untuk mengantisipasi segala ke adaan yang berkaitan dengan prosedur penelitian, seperti;

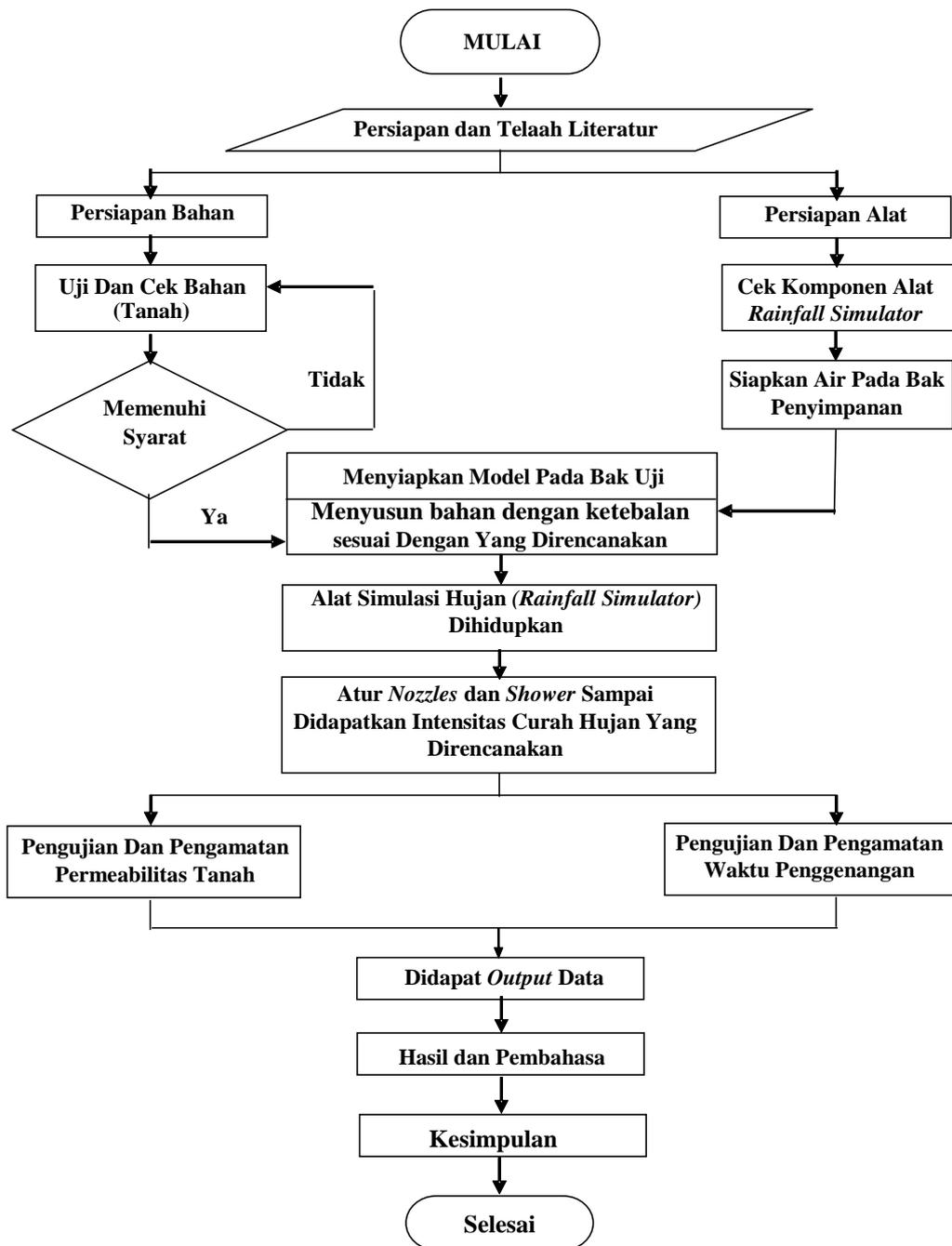
- (1) Pembersihan,
- (2) Pengecekan alat dan bahan yang akan diuji,
- (3) Persiapan perangkat dan instrument yang dibutuhkan, dan
- (4) Persiapan personil pengamatan serta persatuan persepsi dalam melakukan tindakan pengujian, pengamatan dan pencatatan.

b. Tahapan *running test*

Running test yaitu pengamatan waktu penggenangan (*ponding time*) pada intensitas curah hujan I_5 dan frekuensi hujan F_1 . Untuk variasi tanah di ambil tanah umum (*Common Soil*), kemudian tanah tersebut dimasukkan ke dalam bak pengujian. Tinggi tanah dalam bak uji sesuai yang telah di rencanakan. 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 ke adaan muka air konstan dengan menggunakan media uji tangkapan air hujan, seperti pada gambar 6. Setelah air dalam bak penampungan konstan dengan ke tinggian yang sesuai dengan intensitas hujan yang di inginkan. 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 percobaaan, 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_5 yang membedakan hanya intensitas curah hujannya.

G. Bagan dan Alur Penelitian



Gambar 8 : Bagan dan Alur Penelitian

H. Definisi Operasional

Definisi operasional adalah mendefinisikan variable secara operasional berdasarkan karakteristik yang diamati yang memungkinkan peneliti untuk melakukan observasi atau pengukuran secara cermat terhadap suatu objek atau fenomena. (Aziz Alimul Hidayat, 2007)

Dibawah ini beberapa operasional yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

1. *Common Soil* (Tanah Umum) adalah tanah yang mempunyai nilai kohesif dan sudut geser dalam yang signifikan dan tidak dapat diabaikan. acuan jenis tanah semacam ini hampir 98% dari tanah di muka bumi, maka dinamakan tanah sebagai bentuk tanah pada umumnya, selanjutnya dinamakan tanah umum (*Common Soil*).
2. Permeabilitas tanah adalah ke mampuan tanah untuk meneruskan air atau udara. Permeabilitas tanah biasanya diukur dengan istilah kecepatan air yang mengalir dalam waktu tertentu yang ditetapkan dalam satuan cm/jam
3. Waktu penggenangan (*ponding time*) t_p merupakan selisih waktu antara saat hujan turun dan waktu dimana air mulai menggenang diatas permukaan tanah.
4. Frekuensi hujan adalah jumlah kejadian hujan yang terjadi dan dinyatakan dalam kala ulang (*return priode*). Dalam penelitan ini jumlah frekuensi hujan yang digunakan sebanyak lima kali dalam satu intensitas curah hujan
5. Intensitas curah hujan adalah besaran curah hujan maksimum dalam satuan waktu, yang dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/bulan dan sebagainya. Dalam penelitian ini menggunakan tiga intensitas curah hujan yaitu intensitas curah hujan kala ulang priode I5, kala ulang priode I15, kala ulang priode I25.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Klasifikasi Tanah

Dari hasil pengamatan sampel tanah pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, didapatkan hasil klasifikasi tanah *common soil*. Berikut ini diterangkan penentuan klasifikasi AASHTO untuk tipe A-2-6. Berdasarkan Hasil pengujian di labolatorium di peroleh datanya yaitu, batas plastis (PL) = 23,33%, batas cair (LL) = 37,39%, sedangkan analisis saringan yang lain dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 6 : Hasil Pengujian Analisa Saringan

No	Nomor Saringan		Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)
1	4	4,750 mm	0	0
2	8	2,360 mm	0	0
3	16	1,180 mm	103	9,19
4	40	0,425 mm	385	34,38
5	50	0,150 mm	272	24,29
6	100	0,125 mm	270	24,11
7	200	0,075 mm	34	3,03
8	Pan	-	56	5
Jumlah			1120	100

Dari hasil pengujian analisa saringan pada tabel 6. 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 760 gram atau 67,86% dari total sampel pengamatan.
3. Pada saringan nomor 100 dan 200 dikategorikan sebagai debu (*silt*) dengan berat 304 gram atau 27,14% dari total sampel pengamatan.
4. Material pada pan yaitu material yang lolos saringan nomor 200 yang dikategorikan sebagai tanah liat (*clay*) dengan berat 56 gram atau 5% dari total sampel pengamatan.

Klasifikasi sistem ini didasarkan atas kriteria-kriteria sebagai berikut :

a. Ukuran butir

Butiran melalui ayakan No. 200 sebesar 5%, sehingga termasuk dalam material granuler (<35% lolos saringan no. 200)

b. Plastisitas

Berlanau, jika butiran tanah mempunyai indeks plastisitas > 10 . Hasil indeks plastisitas dalam penelitian ini didapat dari nilai batas cair (LL) = 37,39%, batas plastis (PL) = 23,33%, sehingga indeks plastisnya, $PI = LL - PL = 37,39\% - 23,33\% = 14,06\%$.

Setelah didapatkan nilai-nilai diatas, maka data hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam tabel 5 hingga di temukan angka-angka yang sesuai.

Pada tabel berikut ini disajikan tentang hasil pemeriksaan karakteristik tanah. Dari hasil pengamatan sampel tanah pada laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar, dengan sistem klasifikasi AASHTO.

Tabel 7 : Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah

No.	Uraian	Satuan	Nilai	Keterangan	
A.	Kadar Air	%	31,05	-	
B.	Batas-batas Atterberg			-	
	1. Batas Cair (Liquid Limit, LL)	%	37,39		
	2. Batas Plastis (Plastic Limit, PL)	%	23,33		
	3. Indeks Plastisitas		14,06		
C.	Distribusi Butiran (AASHTO)			A-2-6	
	1. Fraksi Kasar	%	56	Tipe material secara umum adalah kerikil berlanau atau berlempung dan pasir, dengan kondisi sebagai tanah dasar baik sampai dengan sangat baik.	
	2. Fraksi Halus	%	44		
D.	Kompaksi			-	
	1. Berat Isi Kering Optimum	gr/cm ³ %	2,1		
	2. Kadar Air Optimum		34		
E.	Koefisien Permeabilitas Standar	cm/dtk	0,0026844	-	
F.	Kepadatan (<i>sandcone test</i>)		Nilai		
			I5	I15	I25
	D	%	71,65	71,65	71,65

B. Karakteristik Intensitas Curah Hujan Wilayah

Intensitas curah hujan yang dipakai adalah intensitas curah hujan untuk wilayah Makassar untuk kala ulang I₅, I₁₅ dan I₂₅ tahun. Untuk intensitas I₅ tahun diperoleh 246,841 mm/jam, I₁₅ tahun diperoleh 307,489 mm/jam, dan untuk I₂₅ tahun diperoleh 344,900 mm/jam. Selanjutnya, untuk perhitungan intensitas curah hujan dapat dilihat pada lampiran B.

Untuk menyesuaikan intensitas curah hujan yang ada dengan alat *rainfall simulator* maka digunakan tabel penyesuaian intensitas curah hujan yang ditentukan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat (*United States Department of Defense (DOD) MIL-STD-810F. Method 506.4 standard*), yang terdapat di bawah ini.

Tabel 8 : Standar Intensitas Curah Hujan Pada *Rainfall Simulator*

<i>Rain Condition</i>	<i>Rain Fall Rate</i>	<i>Flow Rates</i>
<i>Extreme</i>	<i>More than : 14 mm/min, 840 mm/hours, 33,1 inchi/hour</i>	<i>More than : 16,8 L/Min</i>
<i>High</i>	<i>8 mm/min - 14 mm/min, 480 mm/hour - 840 mm/hour, 18,9 inchi/hour - 33,1 inchi/hour</i>	<i>9,6 L/Min - 16,8 L/Min</i>
<i>Medium</i>	<i>1,7 mm/min - 8 mm/min, 102 mm/hour - 480 mm/hour, 4,0 inci/hour - 18,9 inchi/hour</i>	<i>2,04 L/Min - 9,6 L/Min</i>
<i>Low</i>	<i>1,07 mm/min - 1,7 mm/min, 64,2 mm/hour - 102 mm/hour, 2,5 inchi/hour - 4,0 inchi/hour</i>	<i>1,28 L/Min - 2,04 L/Min</i>
<i>Very Low</i>	<i>0 mm/min - 1,07 mm/min, 0 mm/hour - 64,2 mm/hour, 0 inchi/hour - 2,5 inchi/hour</i>	<i>0 L/Min - 1,28 L/Min</i>

Sumber : Obus (2016)

Intensitas curah hujan yang digunakan termasuk di dalam intensitas curah hujan medium yang terdapat pada tabel diatas, maka tinggi flow meter untuk penyesuaian intensitas curah hujan terdapat pada tabel berikut.

Tabel 9 : Hasil Penyesuain Intensitas Curah Hujan Dan Flowmeter

No	Intensitas curah Hujan (mm/jam)	Besaran Hujan	Tinggi flowmeter
1	I ₅	246,841 mm/jam	4,9 liter/menit
2	I ₁₅	307,489 mm/ jam	6,1 liter/menit
3	I ₂₅	344,900 mm/jam	6,9 liter/menit

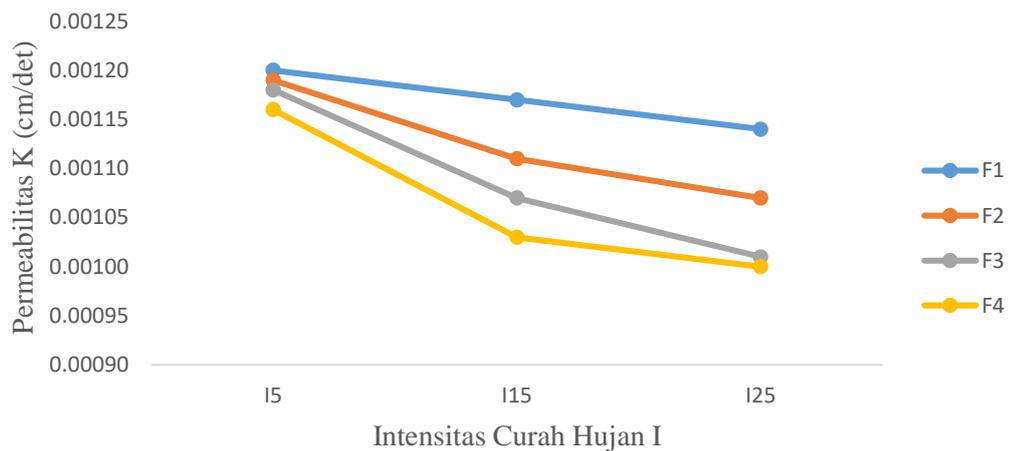
C. Perbandingan Pengaruh Variasi Intensitas Curah Hujan Dengan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas

Penyajian data dan analisis permeabilitas dapat dilakukan secara berturut-turut pada tiga variasi intensitas curah hujan rencana kala ulang I₅, I₁₅ dan I₂₅, dan variasi frekuensi hujan kala ulangan. Uraian mengenai hasil perbandingan dari proses tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 10: Perbandingan Pengaruh Intensitas Curah Hujan Terhadap Permeabilitas Tanah.

Frekuensi F	Permeabilitas K (cm/detik), Pada Intensitas Curah Hujan I		
	I ₅	I ₁₅	I ₂₅
	(cm/detik)	(cm/detik)	(cm/detik)
F ₁	0.00120	0.00117	0.00114
F ₂	0.00119	0.00111	0.00107
F ₃	0.00118	0.00107	0.00101
F ₄	0.00116	0.00103	0.00100

Dari hasil pengamatan perbandingan pengaruh intensitas curah hujan terhadap permeabilitas tanah pada tabel diatas kemudian di buat grafik sebagai berikut:



Gambar 9 : Perbandingan pengaruh intensitas hujan terhadap permeabilitas.

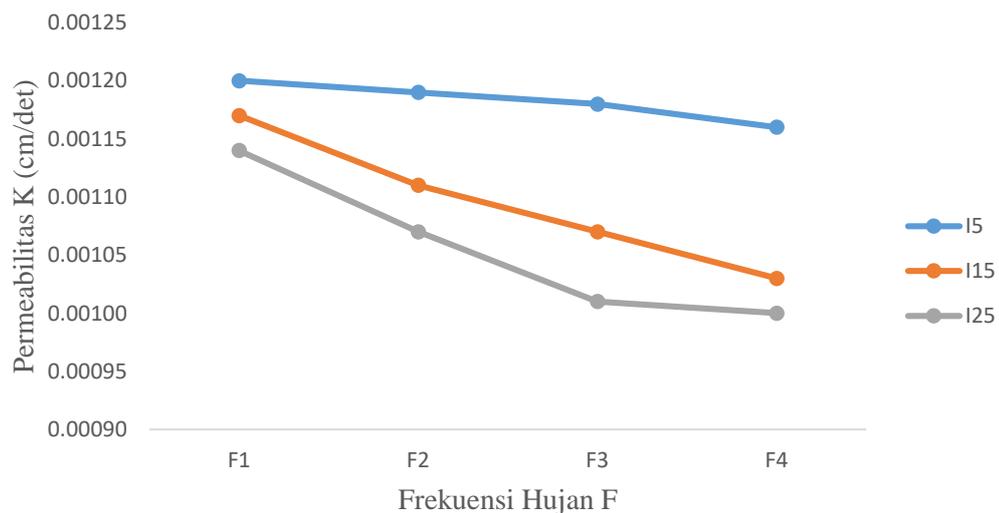
Dari tabel 10 dan gambar 9 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan peningkatan intensitas curah hujan dan frekuensi hujan, koefisien permeabilitas yang dihasilkan semakin kecil maka koefisien permeabilitas yang terjadi berbanding terbalik dengan intensitas curah hujan, dimana koefisien permeabilitas pada intensitas I₅, frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat nilai koefisien permeabilitas yang didapat yaitu, K = 0.00120 cm/det, K = 0.00119 cm/det, K = 0.00118 cm/det, K = 0.00116 cm/det, koefisien permeabilitas pada intensitas I₁₅, frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan keempat didapat nilai koefisien permeabilitas, K = 0.00117 cm/det, K = 0.00111 cm/det, K = 0.00107 cm/det, F₄, K=0.00103 cm/det, koefisien permeabilitas pada intensitas I₂₅, frekuensi hujan pertama sampai keempat didapat nilai koefisien permeabilitas, K = 0.00114 cm/det, K = 0.00107 cm/det, K = 0.00101 cm/det, K = 0.00100 cm/det. Semakin tinggi periode intensitas curah hujan dan makin bertambahnya jumlah frekuensi

hujan yang terjadi maka struktur tanah semakin padat sehingga koefisien permeabilitas semakin kecil.

Tabel 11 : Perbandingan Pengaruh Frekuensi Hujan Terhadap Permeabilitas Tanah.

Intensitas I (mm/jam)	Permeabilitas K (cm/detik), Pada Frekuensi Hujan F			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
	(cm/detik)	(cm/detik)	(cm/detik)	(cm/detik)
I ₅	0.00120	0.00119	0.00118	0.00116
I ₁₅	0.00117	0.00111	0.00107	0.00103
I ₂₅	0.00114	0.00107	0.00101	0.00100

Dari hasil pengamatan perbandingan pengaruh frekuensi hujan terhadap permeabilitas tanah pada tabel diatas kemudian di buatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 10 : Perbandingan pengaruh frekuensi hujan terhadap permeabilitas tanah.

Dari tabel 11 dan gambar 10 dapat disimpulkan bahwa seiring dengan peningkatan frekuensi hujan, koefisien permeabilitas yang dihasilkan semakin kecil maka koefisien permeabilitas yang terjadi berbanding terbalik dengan intensitas curah hujan, dimana koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F_1 , dengan intensitas curah hujan ulangan I_5 , I_{15} , dan I_{25} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00120$ cm/det, $K = 0.00117$ cm/det, $K = 0.00114$ cm/det, dimana koefisien permeabilitas pada frekuensi F_2 , dengan intensitas curah hujan ulangan I_5 , I_{15} , dan I_{25} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00119$ cm/det, $K = 0.00111$ cm/det, $K = 0.00107$ cm/det, dimana koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F_3 , dengan intensitas curah hujan ulangan I_5 , I_{15} , dan I_{25} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00118$ cm/det, $K = 0.00107$ cm/det, $K = 0.00101$ cm/det, dimana koefisien permeabilitas pada frekuensi hujan F_4 , dengan intensitas curah hujan ulangan I_5 , I_{15} , dan I_{25} didapat nilai koefisien permeabilitas yaitu, $K = 0.00116$ cm/det, $K = 0.00103$ cm/det, $K = 0.00100$ cm/det. Semakin tinggi periode intensitas curah hujan dan jumlah frekuensi hujan yang terjadi maka struktur tanah semakin padat sehingga koefisien permeabilitas semakin kecil.

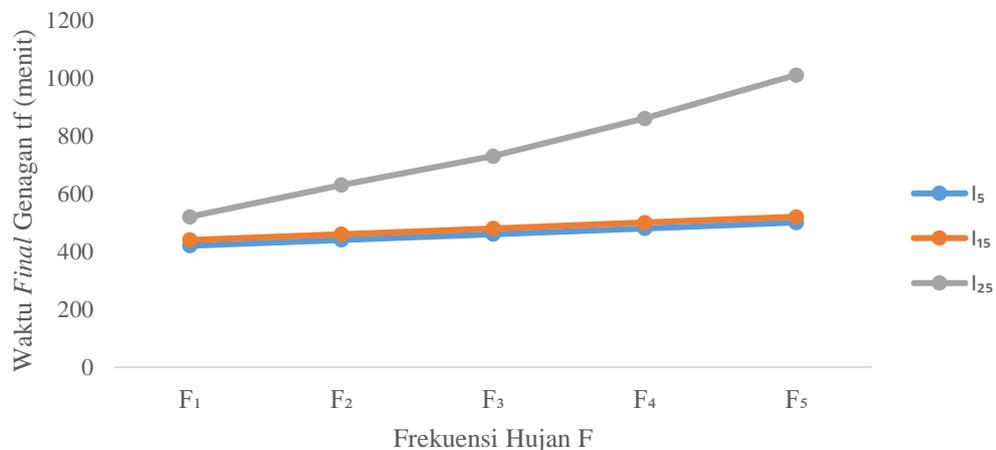
D. Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Dengan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Waktu *Final* Genangan.

Penyajian data dan analisis waktu *final* genangan dapat dilakukan secara berturut-turut pada tiga variasi intensitas curah hujan rencana I_5 , I_{15} dan I_{25} dan lima variasi frekuensi hujan. Uraian mengenai hasil perbandingan dari proses tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 12 : Perbandingan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Waktu *Final* Genangan.

Intensitas I (mm/jam)	Waktu <i>Final</i> Genangan t_f (menit), Pada Frekuensi Hujan F				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
	(menit)	(menit)	(menit)	(menit)	(menit)
I ₅	420	440	460	480	500
I ₁₅	440	460	480	500	520
I ₂₅	520	630	730	860	1010

Dari hasil pengamatan perbandingan variasi frekuensi hujan terhadap waktu *final* genangan pada tabel diatas kemudian di buatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 11 : Perbandingan variasi frekuensi hujan terhadap waktu *final* genangan.

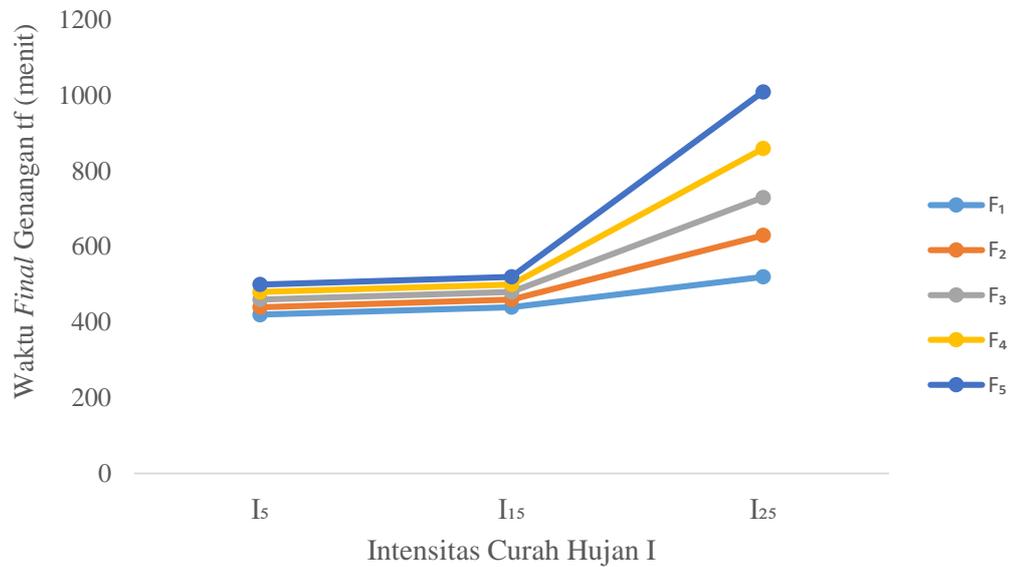
Dari tabel 12 dan gambar 11 dapat disimpulkan bahwa frekuensi hujan F₁, dengan intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa waktu *final* pada, $t_f = 420$ menit, $t_f = 440$ menit, $t_f = 520$ menit, dimana frekuensi hujan F₂, pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $t_f = 440$ menit, $t_f = 460$,

menit, $t_f = 630$ menit, dimana frekuensi hujan F_3 , pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $t_f = 460$ menit, $t_f = 480$ menit, $t_f = 730$ menit, frekuensi hujan F_4 , pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $t_f = 480$ menit, $t_f = 500$ menit, $t_f = 860$ menit, frekuensi hujan F_5 , pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $t_f = 500$ menit, $t_f = 520$ menit, $t_f = 1010$ menit, bahwa seiring dengan banyaknya frekuensi hujan kala ulangan, waktu penggenangan yang dihasilkan semakin lama. Demikian juga semakin tinggi periode intensitas curah hujan maka struktur tanah semakin padat dan angka pori semakin kecil maka waktu *final* genangan yang dihasilkan semakin lama.

Tabel 13 : Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Terhadap Waktu *Final* Genangan

Frekuensi F	Waktu <i>Final</i> Genangan t_f (menit), Pada Intensitas Curah Hujan I		
	I_5	I_{15}	I_{25}
	(menit)	(menit)	(menit)
F_1	420	440	520
F_2	440	460	630
F_3	460	480	730
F_4	480	500	860
F_5	500	520	1010

Dari hasil pengamatan perbandingan variasi intensitas curah hujan terhadap waktu *final* genangan pada tabel diatas kemudian di buat grafik sebagai berikut:



Gambar 12 : Perbandingan variasi intensitas curah curah terhadap waktu *final* genangan.

Dari tabel 13 dan gambar 12 dapat disimpulkan bahwa intensitas curah hujan I₅, pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $tf = 420$ menit, $tf = 440$ menit, $tf = 460$ menit, $tf = 480$ menit, $tf = 500$ menit, intensitas curah hujan I₁₅, pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $tf = 440$ menit, $tf = 460$ menit, $tf = 480$ menit, $tf = 500$ menit, $tf = 520$ menit, intensitas curah hujan I₂₅, pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima menunjukkan bahwa waktu *final* yaitu, $tf = 520$ menit, $tf = 630$ menit, $tf = 730$ menit, $tf = 860$ menit, $tf = 1010$ menit, bahwa seiring dengan peningkatan intensitas curah hujan, waktu genangan yang dihasilkan semakin lama. Demikian juga semakin banyak jumlah frekuensi hujan yang terjadi maka waktu genangan semakin lama. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi intensitas curah hujan maka struktur tanah semakin padat, angka pori semakin kecil sehingga waktu genangan semakin lama.

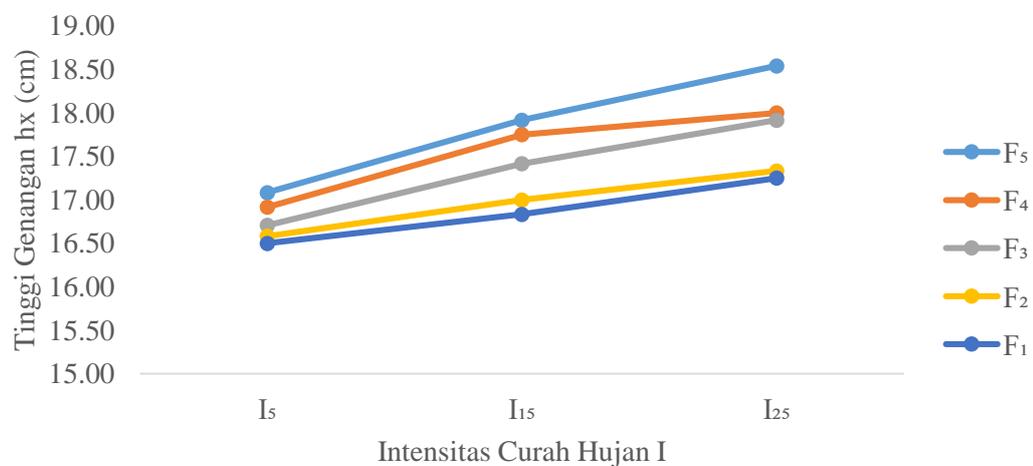
E. Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Dengan Variasi Frekuensi Hujan Terhadap Tinggi Genangan

Penyajian data dan analisis tinggi genangan dapat dilakukan secara berturut-turut pada tiga variasi intensitas curah hujan rencana I_5 , I_{15} dan I_{25} dan lima variasi frekuensi hujan. Uraian mengenai hasil perbandingan dari proses tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 14 : Perbandingan Variasi Intensitas Curah Hujan Terhadap Tinggi Genangan

Frekuensi F	Tinggi Genangan h_x (cm), Pada Intensitas Curah Hujan I		
	I_5	I_{15}	I_{25}
	(cm)	(cm)	(cm)
F_1	16.50	16.83	17.25
F_2	16.58	17.00	17.33
F_3	16.71	17.42	17.92
F_4	16.92	17.75	18.00
F_5	17.08	17.92	18.54

Dari hasil pengamatan perbandingan tinggi genangan dengan variasi intensitas curah hujan pada tabel diatas kemudian di buatkan grafik sebagai berikut:



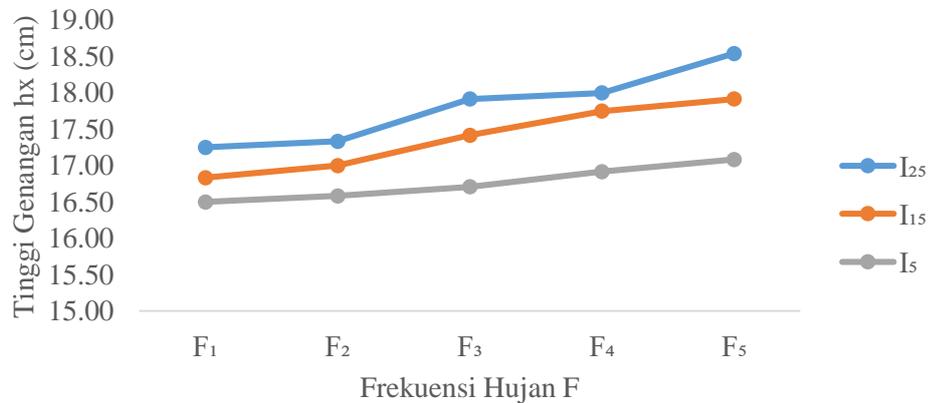
Gambar 13 : Perbandingan variasi intensitas hujan dengan tinggi genangan

Dari tabel 14 dan gambar 13 dapat disimpulkan bahwa intensitas curah I_5 , I_{15} , dan I_{25} hujan tidak berbanding lurus terhadap tinggi genangan. Intensitas curah hujan hujan I_5 , pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi yaitu, $h_x = 16.50$ cm, $h_x = 16.58$ cm, $h_x = 16.71$ cm, $h_x = 16.92$ cm, $h_x = 17.08$ cm, intensitas curah hujan I_{15} , pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi yaitu, $h_x = 16.83$ cm, $h_x = 17.00$ cm, $h_x = 17.42$ cm, $h_x = 17.75$ cm, $h_x = 17.92$ cm, intensitas curah hujan I_{25} , pada frekuensi hujan pertama sampai frekuensi hujan kelima menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi yaitu, $h_x = 17.25$ cm, $h_x = 17.33$ cm, $h_x = 17.92$ cm, $h_x = 18.00$ cm, $h_x = 18.54$ cm. Dimana tinggi genangan yang terjadi pada tiap periode intensitas curah hujan adalah terjadi peningkatan. Demikian juga jumlah frekuensi hujan F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , dan F_5 , yang terjadi tidak berbanding lurus terhadap tinggi genangan. Semakin tinggi periode intensitas curah hujan dan frekuensi hujan maka semakin tinggi genangan yang terjadi.

Tabel 15 : Perbandingan Variasi Frekuensi Hujan Dengan Tinggi Genangan

Intensitas I (mm/jam)	Tinggi Genangan h_x (cm), Pada Frekuensi Hujan F				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
I_5	16.50	16.58	16.71	16.92	17.08
I_{15}	16.83	17.00	17.42	17.75	17.92
I_{25}	17.25	17.33	17.92	18.00	18.54

Dari hasil pengamatan perbandingan tinggi genangan dengan variasi frekuensi hujan pada tabel diatas kemudian di buat grafik sebagai berikut:



Gambar 14 : Perbandingan dengan variasi frekuensi hujan Dengan tinggi genangan

Hasil pengamatan pada tabel 15 dan gambar 14 dapat disimpulkan bahwa frekuensi hujan tidak berbanding lurus terhadap tinggi genangan. Frekuensi hujan F₁, periode intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi yaitu, $h_x = 16.50$ cm, $h_x = 16.83$ cm, $h_x = 17.25$ cm, frekuensi hujan F₂, pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah ketiga menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi yaitu, $h_x = 16.58$ cm, $h_x = 17.00$ cm, $h_x = 17.33$ cm, frekuensi hujan F₃, pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi yaitu, $h_x = 16.71$ cm, $h_x = 17.42$ cm, $h_x = 17.92$ cm, frekuensi hujan F₄, Pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi pada F₄ yaitu, $h_x = 16.92$ cm, $h_x = 17.75$ cm, $h_x = 18.00$ cm, frekuensi hujan F₅, pada intensitas curah hujan pertama sampai intensitas curah hujan ketiga menunjukkan bahwa tinggi genangan yang terjadi pada F₅ yaitu, $h_x = 17.08$ cm, $h_x = 17.92$ cm, $h_x = 18.54$ cm, dimana tinggi genangan yang terjadi pada tiap frekuensi F₁, F₂, F₃, F₄, dan F₅ terjadi peningkatan karena struktur tanah yang semakin padat. Demikian juga jumlah

intensitas curah hujan I_5 , I_{15} , dan I_{25} yang terjadi tidak berbanding lurus terhadap tinggi genangan. Dimana tinggi genangan yang terjadi pada setiap jumlah intensitas curah hujan terjadi peningkatan, jadi semakin tinggi periode intensitas curah hujan dan frekuensi hujan maka semakin tinggi genangan yang terjadi.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

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

1. Nilai koefisien permeabilitas pada tanah *common soil* berbanding terbalik dengan meningkatnya intensitas curah hujan dan frekuensi hujan, Semakin tinggi variasi intensitas curah hujan kala ulangan lima tahun (I₅), lima belas tahun (I₁₅), dan kala ulangan dua puluh lima tahun (I₂₅), dan variasi frekuensi hujan pertama (F₁), frekuensi hujan kedua (F₂), frekuensi hujan ketiga (F₃), frekuensi hujan keempat (F₄), maka semakin kecil permeabilitas tanah karena semakin padat struktur tanah.
2. Tinggi genangan dan Waktu *final* genangan pada tanah *common soil* berbanding lurus dengan meningkatnya intensitas curah hujan dan variasi frekuensi hujan, semakin tinggi variasi intensitas curah hujan kala ulangan lima tahun (I₅), lima belas tahun (I₁₅), dan kala ulangan dua puluh lima tahun (I₂₅), dan variasi frekuensi hujan pertama (F₁), frekuensi hujan kedua (F₂), frekuensi hujan ketiga (F₃), frekuensi hujan keempat (F₄), frekuensi hujan kelima (F₅), semakin padat struktur tanah maka semakin tinggi genangan dan semakin lama waktu *final* genangan yang terjadi.

B. SARAN

Dalam penelitian ini digunakan intensitas curah hujan wilayah Makassar, dengan frekuensi ulangan hujan yang intensitas-nya sama dan intensitas hujan yang bervariasi, dengan jenis tanah *common soil*, disarankan pada penelitian berikutnya menggunakan Intensitas curah hujan wilayah yang berbeda, periode intensitas curah hujan berulang yang berbeda, frekuensi hujan yang berbeda dan jenis tanah yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Sobirin. (2007), Budaya Organisasi (Pengertian, makna dan aplikasinya dalam kehidupan organisasi), Yogyakarta: UPP,STIM YKPN.
- AI Wayan Diana, 2004, Studi Rongga Menerus Dan Kinerja Permeabilitas Perkerasan Aspal Porus Lapis Gand, Jurnal Transportasi Vol. 4 No. 2 Desember 2004: 85-98.
- Andriana Hesti Kusuma, Munifatul Izzati dan Endang Saptiningsih, 2013, Pengaruh Penambahan Arang dan Abu Sekam dengan Proporsi yang Berbeda terhadap Permeabilitas dan Porositas Tanah Liat serta Pertumbuhan Kacang Hijau (*Vigna radiata* L), Volume XXI, Nomor 1, Maret 2013.
- Anugrah Aqsra Bandi, Sumono, Achwil Putra Munir/Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian USU/4 Februari 2014.
- A. Rakhim, 2017. The Role Of Tree Root For Increasing Infiltration Capacity. Di Susun Oleh : International Journal Of Civil Engineering And Technology (IJCIET), Volume 8, Issue 8, August 2017
- Arifin, Zainal. (2010). Penelitian Pendidikan Metode dan Paradigma Baru. Bandung
- Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor.
- Ayu Marlina Humairah, 2014, Analisis Hidrolika Bangunan Krib Permeabel Pada Saluran Tanah (Uji Model Laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 2. No.3, September 2014*
- Aziz Alimul, Hidayat. 2007. *Metode Penelitian dan Teknik Analisa Data*. Jakarta: Salemba Madika.
- Bachtiar, E. H., 2011. *Ilmu Tanah*. USU Press, Medan
- Bambang Triadmodjo.1998 *Penyusunan Skala Prioritas Pengendalian Banjir Sungai Sungai Di Jawa Tengah Selatan*. Forum Teknik Jilid 22, No 3. November 1998
- Bambang Triadmodjo, 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset
- Bambang Triadmodjo. (2010), *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta
- Bambang Triadmodjo, 2013, “Hidrologi Terapan”, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta

- Bowles, J. E. 1991. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta: Erlangga
- Brooks, R.H., dan Corey, A.T. 1964. *Hydraulic properties of Porous Media*.
- Burhan Barid, Wahyunika Sari, 2013, Pengaruh Hujan terhadap Perubahan Elevasi Muka Air Tanah pada Model Unit Resapan dengan Media Tanah Pasir. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 16, No. 1, 57-64, Mei 2013.
- Darwis Panguriseng, 2012, Analisis Dan Pemodelan Formasi Pipa Untuk Konservasi Air Tanah Pada Lahan Pertanian Irigasi Air Tanah Di Kabupaten Takalar., Jurnal Teknik Sipil Vol 13 No.3.
- Daryanto, 2004. *Masalah Pencemaraan*. Bandung : PT. Tarsito
- 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
- Das, B. M., Noor Endah, Mochtar, I. B., 1988, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah 1*. Erlangga. Jakarta
- Dede Rohmat Dkk, 2006. Formulasi Efek Sifat Fisik Tanah Terhadap Permeabilitas Dan Suction Head (Kajian Empiric Untuk Meningkatkan Laju Infiltrasi), Jurnal Bionatura, Vol, 8 No. 1 Maret 2006.
- Dunn, dkk, 1992, *Dasar-dasar Analisis Geoteknik*, hal. 34”,
- Effendi H (2003), *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*, Kanisius : Yogyakarta.
- Foth, H. D., (1984). *Dasar – Dasar Ilmu Tanah.. Edisi VI*. Erlangga, Jakarta.
- Gogot setyo budi (2011), *pengujian tanah laboratorium penjelasan dan panduan : Graha Ilmu edisi pertama*
- Hadisusanto, N. 2011. *Aplikasi Hidrology. Media utama Yogyakarta*
- 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., 1992, *Mekanika Tanah I*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

- Hardiyatmo, H.C., 2002. *Mekanika Tanah I*. UGM Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary C. 2012. *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Heri Gunawan Dan Sismanto, 2004. Estimasi Permeabilitas Reservoir Batu Gamping Dari Data Seismik VSP Sintetik Dan Rill, Disusun Oleh, Jurnal Fisika Indonesia, No : 24, Vol. IX. Edisi Agustus 2004.
- Israelsen, O.W., and Hansen, V.E., 1962. *Irrigation Principles and Practices*. Willey, New York.
- Kodoatie RJ & Sjarief Roestam (2010), *Tata Ruang Air*, ANDI Offset, Yogyakarta.
- Kohnke, H. 1968. *Soil Physics*. McGraw Hill. New York.
- Linsley, dkk. 1989. *Hidrologi Untuk Insinyur*. Jakarta: Erlangga
- Moh Muntah, 2010. Pemodelan Infiltrasi Air ke Dalam Tanah dengan Alat "Kolom Infiltrasi" untuk Menghitung Koefisien Permeabilitas Tanah Tidak Jenuh (k_w), *Volume 8, Nomor 1, Pebruari 2010*
- Moh. Nazir. (1998). *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia. Jakarta
- Mori, Kiyotoka, 1999, *Hidrologi untuk Pengairan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Penerjemah : L. Taulu, Editor : Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda.
- Nurmi Dkk 2009, *Perubahan Sifat Fisik Tanah Sebagai Respon Perlakuan Konversi Vegetatif Pada Pertanaman Kakao*. Forum Pasca Sarjana Vol 32, No 1.
- Nur Rizki Oktarina, 2015. Analisis Hidrograf Limpasan Akibat Variasi Intensitas Hujan Dan Kemiringan Lahan (Kajian Laboratorium Dengan Simulator Hujan), *Vol. 3, No. 1, Maret 2015*.
- Obus. *Basic hidrology study system (hydrology system, Rainfall Simulator)* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Rahadi dkk, 2008. Kalibrasi Dan Evaluasi Kinerja Rainfall Simulator. *Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 9 No. 3 (Desember 2008) 190 - 198*.
- Rohmat, A., 2009. *Tipikal Kuantitas Infiltrasi Menurut Karakteristik Lahan*. Erlangga, Jakarta.
- Seta, A.K., 1994. *Konservasi Sumber Daya Tanah dan Air*, Penerbit Kalam Mulia, Bandung.

- Seyhan. E.1990. *Dasar-dasar Hidrologi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Singh, P. V., 1992. *Elementary Hydrology*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey.
- Smith, M.J. (1992).*Mekanika Tanah*. Jakarta : Erlangga.
- Soediby, 2003. *Teknik Bendungan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soemarto.C.D. 1987. *Hidrologi Teknik* Surabaya : Usaha Nasional
- Soemarto.C.D.1995. *Hidrologi Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- soewarno, 1995. *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung:
- Sosrodarsono S. & Tajeda K. (2006), *Hidrologi untuk pengairan*, jakarta, Pradnya paramita
- Sri Harto Br., 1983"*Analisis Hidrologi* ". PT. Gramedia, Jakarta
- 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.
- Suripin (2004), *Pengembangan Sistem Drainase Yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta
- Suroso. 2006, *Kajian Kapasitas Sungai Logawa dalam Menampung Debit Banjir Menggunakan Program HEC-RAS*. Universitas Soedirman Purwokerto, Jurusan Teknik Sipil.
- Usmar, H dkk., 2006. Laporan Tugas Akhir Pemanfaatan Air Tanah Untuk Keperluan Air Baku Industri di Wilayah Kota Semarang Bawah
- Viessman, W, Jr, dkk.,1977. *Hydrology and Water Quality Control*. John Wiley & Sons, Florida-USA.
- Wesli, 2008, *Drainase Perkotaan*, Yogyakarta: Graha Ilmu
- Wisler, C.O. dan E.F. Brater. 1959. *Hydrology*. 2nd Edition. John Wiley and Sons Inc. New York.

LAMPIRAN A
DATA HASIL TES LAPANGAN



LAMPIRAN A
DATA PENGAMATAN LAPANGAN

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 17 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahanra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

SAND CONE TEST

Nomor Titik		
Berat botol + corong kosong (W1)	Gram	729
Berat Botol+Corong air (W2)	Gram	4897
Berat botol +pasir + corong (W3)	Gram	6643
Berat sisa pasir+ botol + corong (W4)	Gram	1875
Berat tanah basah + kaleng lapangan (W5)	Gram	4371
Berat kosong kaleng lapangan (W6)	Gram	0
Berat tanah basah dalam lubang W = W5 - W6	Gram	4371
Berat Pasir di corong (wf)	Gram	1275
Berat sisa pasir dilubang W7 = (W3 - W4) - Wf	Gram	3493
Berat Isi pasir ($\gamma_{sand} = w3-w1/w2-w1$)	gr/cm ³	1,418906
Volume sisa pasir dilubang, V = W7 / γ_{sand}	cm ³	2461,756
Berat isi tanah basah $\gamma_w = W / V$	gr/cm ³	1,77
Berat isi tanah kering $\gamma_d = \gamma_w/(1 + w)$	gr/cm ³	1,505

Data Kompaksi:

Kadar air optimun (w) = 34 %

Berat Isi kering Lab (γ_{lab}) = 2,1 gr/cm³

$$\text{Derajat Kepadatan} = \frac{\gamma_d \text{ Lap}}{\gamma_d \text{ Lab}} \times 100 \% = \frac{1,505}{2,1} \times 100 \% = 71,67 \%$$

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.
NBM. 795 108



**LABOLATORIUM FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp. (0411) 866972. Fax (0411) 8655888 Makassar. 90211

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 10 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahanra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

HASIL PERHITUNGAN ANALISA SARINGAN

No.	Nomor Saringan	Berat tertahan		Berat Komulatif	
		gr	%	Tertahan (gr)	Lolos (%)
1	4	0	0	0,00	100,0
2	8	0	0	0,00	100,0
3	16	103	9,20	9,20	90,8
4	40	385	34,38	43,57	56,4
5	50	272	24,29	67,86	32,1
6	100	270	24,11	91,96	8,0
7	200	34	3,04	95,00	5,0
8	Pan	56	5	100,00	0,0
Total		1120	100	408	-

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Hj. Nurnawaty, S.T..M.T.
NBM. 795 108



**LABOLATORIUM FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp. (0411) 866972. Fax (0411) 8655888 Makassar. 90211

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 17 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahanra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

PEMERIKSAAN KADAR AIR

Nomot Tin Box			Atas	Tengah	Bawah
A	Berat Tun Box	gram	13	13	13
B	Berat Tun Box + Tanah Basah	gram	93	92	93
C	Berat Tun Box + Tanah Kering	gram	79	78	78
D	Berat Air (B-C)	gram	14	14	15
E	Berat Tanah Kering (C-A)	gram	66	65	65
F	Kadar Air ($w = (D/E * 100\%)$)	%	21,212	21,538	22,727
G	Rata Rata	%	21,826		

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.
NBM. 795 108



**LABOLATORIUM FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp. (0411) 866972. Fax (0411) 8655888 Makassar. 90211

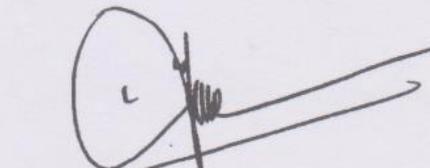
Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 20 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahanra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

BERAT JENIS TANAH (SPESIFIK GRAVITI), Gs

Nomor Percobaan	I	II
Berat Piknometer, W_1 (gram)	155	155
Berat Piknometer + air, W_2 (gram)	306	306
Berat Piknometer + air + tanah, W_3 (gram)	322	321
Berat tanah kering, W_s (gram)	25	25
Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	29	28
Faktor koreksi, $\alpha = \gamma_T/\gamma_{20}$	0,99598	0,99267
Berat Jenis, Gs	2,7666	2,4817
Berat Jenis Rata-rata, Gs	2,6241	

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar


Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar


Hj. Nurnawaty, S.T..M.T.
NBM. 795 108



**LABOLATORIUM FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp. (0411) 866972. Fax (0411) 8655888 Makassar. 90211

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 21 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahenra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

PEMERIKSAAN BATAS-BATAS ATTERBERG

BATAS CAIR

No test		1		2		3	
Jumlah Pukulan		10		15		23	
No. Continer		A	B	A	B	A	B
Berat continer	Gram	13		13		13	
Berat tanah basah, W1	Gram	30	34	27	25	23	19
Berat tanah kering, W2	Gram	22	25	19	18	17	14
Berat Air (Ww= W1-W2)	Gram	8	9	8	7	6	5
Kadar Air (Ww/Wdx100%)	%	36,36	36	42,11	38,89	35,29	35,71
kadar Air	%	36,18		40,50		35,50	
Kadar air rata-rata	%	37,39					

BATAS PLASTIS

No test		1	2	3
No. continer		A	B	C
Berat continer, W1	Gram	13	13	13
Berat tanah basah + brt continer, W2	Gram	21	20	19
Berat tanah kering + brt continer, W3	Gram	19	19	18
Berat tanah basah, (W4=W2-W1)	Gram	8	7	6
Berat tanah kering, (W5=W3-W1)	Gram	6	6	5
Berat Air, (W6=W4-W5)	Gram	2	1	1
Batas Plastis (Ww/Wd*100%)	%	33,33	16,67	20
Batas Plastis rata-rata	%	23,33		

Indeks Plastisitas PI = LL - F

$$PI = 37,39 - 23,33 = 14,06 \%$$

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.
NBM. 795 108



Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 21 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahanra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

PERMEABILITAS

Constan head

Diameter buret (d) = 4 cm

Diameter sampel (D) = 3 cm

Tinggi sampel (H) = 28 cm

No. Test	Satuan	1	2
Luas potongan melintang buret ($a = 1/4 \times d^2$)	cm ²	12,566	12,566
Luas potongan melintang sampel ($A = 1/4 \times D^2$)	cm ²	7,069	7,069
Ketinggian hidrolis (h)	cm ²	43	43
Panjang sampel (L)	cm ²	41	35,5
Waktu pengujian (t)	menit	4,02	5,1
Temperatur (T)	°C	30	29
Volume air yang terkumpul (Q)	cm ³	4,8	5
Koefisien permeabilitas (QL / h.A.t)	(cm/det)	0,0026844	0,0019084
Rata-rata	(cm/det)	0,0022964	

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Hj. Nurnawaty, S.T.M.T.
NBM. 795 108



**LABOLATORIUM FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp. (0411) 866972. Fax (0411) 8655888 Makassar. 90211

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 24 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahnra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

HASIL PERHITUNGAN HIDROMETER

Berat Jenis (Gs) = 2,6241 gram/cm³
Zero Correction = 1
Meniscus Correction = 1
Gs Correction
{ $\alpha = 1,65 Gs / [(Gs - 1) \times Gs]$ } = 1,534
Berat tanah, Ws = 56 gram

Waktu (menit)	T (°C)	R	Rcp	% butiran halus $\alpha = R_{pc}/W_s \times 100\%$	Kumulatif (%)	Rcl	L (cm)	K	D = K.(L/t) ^{0,5}
0.25	27	21,00	24,00	65,75	3,29	22,00	14,20	0,01225	0,092
0.5	27	18,00	21,00	57,53	2,88	19,00	14,20	0,01225	0,065
1	27	17,00	20,00	54,79	2,74	18,00	14,30	0,01225	0,046
2	27	16,00	19,00	52,05	2,60	17,00	14,30	0,01225	0,033
4	27	14,50	17,50	47,94	2,40	1,50	14,40	0,01225	0,023
8	27	12,00	15,00	41,09	2,05	13,00	14,50	0,01225	0,016
15	27	9,50	12,50	34,25	1,71	10,50	14,50	0,01225	0,012
30	27	8,00	11,00	30,14	1,51	9,00	14,80	0,01225	0,009
60	27	7,00	10,00	27,40	1,37	8,00	15,00	0,01225	0,006
90	27	6,00	9,00	24,66	1,23	7,00	15,00	0,01225	0,005
120	27	5,50	8,50	23,29	1,16	6,50	15,00	0,01225	0,004
240	27	4,50	7,50	20,55	1,03	5,50	15,20	0,01225	0,003
1440	27	4,00	7,00	19,18	0,96	5,00	15,30	0,01225	0,001

DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.
NBM. 795 108



**LABOLATORIUM FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

Jl. Sultan Alauddin No.259 Telp. (0411) 866972. Fax (0411) 8655888 Makassar. 90211

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil FT Unismuh Makassar
Tanggal percobaan : 25 Maret 2017
Nama : 1. Syahrir 3. Nasruddin 5. Sulvahanra
2. Muh. Nur Jayadi 4. Aso 6. Eki Sandi

KOMPAKSI

Berat tanah	gram	2000	2000	2000	2000	2000
Kadar air mula-mula	%	31,05	31,05	31,05	31,05	31,05
Penambahan air	ml	350	360	370	380	390
Kadar air akhir		50,48	50,98	51,48	51,98	52,10

Berat Isi Basah (*Wet Density*)

No. mould	-	1	2	3	4	5
Berat mould	gram	2142	2142	2142	2142	2142
Berat tanah basah + mould	gram	4175	4275	4193	4201	4256
Berat tanah basah, W_{wet}	gram	2033	2133	2051	2059	2114
Volume Mould	cm ³	1177,5	1177,5	1177,5	1177,5	1177,5
Berat volume basah $\gamma_{wet} = W_{wet}/V_{mould}$	gr/cm ³	1,727	1,811	1,742	1,749	1,795

Kadar Air (*Water Content*)

No. Container	-	A	T	B	A	T	B	A	T	B	A	T	B	A	T	B
Berat tanah basah + Container	gr	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Berat tanah kering + Container	gr	132	128	129	126	131	130	134	130	138	135	134	137	141	142	146
Berat air	gr	109	103	104	102	105	105	109	106	106	106	107	108	109	112	114
Berat Container	gr	23	25	25	24	26	25	25	24	32	29	27	29	32	31	32
Berat tanah kering	gr	96	90	91	89	92	92	96	93	93	93	94	95	96	99	101
Kadar air	%	23,96	27,78	27,47	26,97	28,26	27,17	26,04	25,81	34,41	31,18	28,72	30,53	33,33	31,31	31,68
Kadar air rata-rata	%	26,403			27,467			28,752			30,144			32,110		

Berat isi kering (*Dry Density*)

Berat tanah basah, W_{wet}	gram	2033	2133	2051	2059	2114
Kadar air rata-rata	%	26,403	27,467	28,752	30,144	32,110
Berat kering, $W_{dry} = W_{wet} / (1+(W/100))$	gram	1608,349	1687,460	1622,590	1628,920	1672,430
Volume mould	cm ³	1177,5	1177,5	1177,5	1177,5	1177,5
Berat isi kering, $\gamma_{dry} = W_{dry}/V_{mould}$	gr/cm ³	1,366	1,433	1,378	1,383	1,420
$\gamma_w = G_s / ((1 + W) \times G_s)$	gr/cm ³	1,606	1,579	1,548	1,515	1,471

DISETUJUI OLEH:

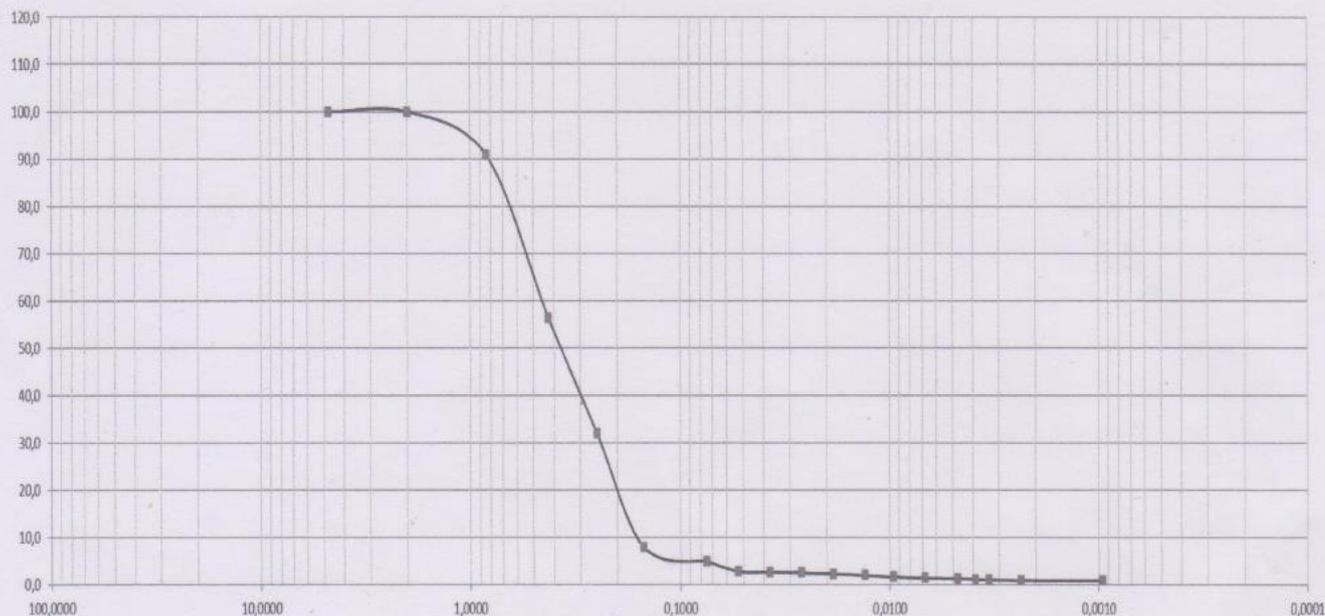
Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar

Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Labolatorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar

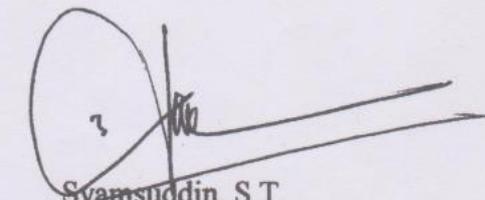
Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.
NBM. 795 108

Grafik Hubungan Analisa Saringan dan Hidrometer



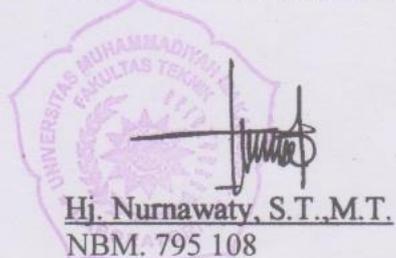
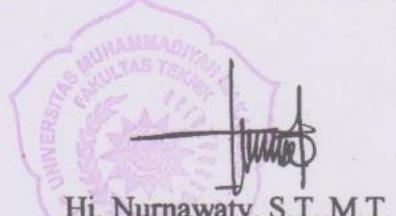
DISETUJUI OLEH:

Asisten Laboratorium
Teknik sipil Unismuh Makassar



Syamsuddin, S.T.
NBM. 1235 747

Kepala Laboratorium
Fakultas Teknik Unismuh Makassar



Hj. Nurnawaty, S.T., M.T.
NBM. 795 108

LAMPIRAN B
DATA INTENSITAS CURAH
HUJAN

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 1982 dengan data curah hujan maksimum harian masing-masing stasiun: Tamangapa, Panakukang, Mandai dan Somba Opu dengan data berturut-turut: 140 mm, 81 mm, 188 mm dan 130 mm.

$$R = \frac{1}{4}(140 + 81 + 188 + 130) \dots\dots\dots (1)$$

$$R = 135 \text{ mm}$$

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	2	3
1	1982	135
2	1983	122
3	1984	135
4	1987	193
5	1988	55
6	1989	112
7	1990	106
8	1991	51
9	1992	64
10	1993	134
11	1994	61
12	1995	205

1	2	3
13	1996	136
14	1997	76
15	1998	65
16	1999	121
17	2000	154
18	2001	110
19	2002	153
20	2003	80
21	2004	117
22	2005	75
23	2006	129
24	2007	89
25	2008	88
26	2009	84
27	2010	64
28	2011	91
29	2012	67
30	2013	118

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 (C_s), koefisien kurtosis (C_k) dan koefisien variasi (C_v), kemudian dapat disimpulkan jenis distribusi apa yang dapat digunakan. Langkah-langkah yang 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 kepengcengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck) dan dihitung dengan menggunakan persamaan (4), (5) dan (6). Hasil perhitungan diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. Pengukuran dispersi

No	Tahun	Xi	Xr	(Xi - Xr)	(Xi - Xr) ²	(Xi - Xr) ³	(Xi - Xr) ⁴
1	1995	205	106	99	9748	962479	95028790
2	1987	193	106	86	7479	646841	55940930
3	2000	154	106	47	2255	107059	5083523
4	2002	153	106	46	2161	100437	4668626
5	1996	136	106	30	899	26955	808201
6	1982	135	106	28	811	23109	658208
7	1984	135	106	28	797	22505	634402
8	1993	134	106	27	755	20759	570529
9	2006	129	106	22	506	11365	255531
10	1983	122	106	16	255	4083	65263
11	1999	121	106	14	203	2883	41042
12	2013	118	106	12	138	1615	18953
13	2004	117	106	11	121	1325	14552
14	1989	112	106	5	30	165	904
15	2001	110	106	4	14	52	194
16	1990	106	106	-1	1	0	0
17	2011	91	106	-15	226	-3386	50850
18	2007	89	106	-17	290	-4927	83849
19	2008	88	106	-18	325	-5848	105365
20	2009	84	106	-23	507	-11416	257049
21	2003	80	106	-26	677	-17610	458149
22	1997	76	106	-31	931	-28419	867258
23	2005	75	106	-31	978	-30566	955710
24	2012	67	106	-39	1522	-59395	2317398
25	1998	65	106	-42	1724	-75508	2970913
26	1992	64	106	-42	1786	-76856	3191479
27	2010	64	106	-43	1808	-76856	3267660
28	1994	61	106	-45	2027	-91226	4106703
29	1998	55	106	-51	2628	-134743	6907809
30	1991	51	106	-55	3054	-168807	9329387
Σ		3188			44654	1151364,55 7	198660229

Sumber: Hasil Perhitungan

Nilai rata-rata (X_r) :

$$X_r = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{3188}{30} = 106 \text{ mm} \dots\dots\dots (2)$$

Standar Deviasi (S) :

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (3) \\ &= \sqrt{\frac{44654}{30-1}} \\ &= 39 \end{aligned}$$

Koefisien Skewness (C_s) :

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{n \sum (X_i - X_r)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots (4) \\ &= \frac{30 \times 1151364,557}{29 \times 28 \times 39^3} \\ &= \frac{34540937}{49062270} \\ &= 0,704 \end{aligned}$$

Koefisien Kurtosis (C_k) :

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{n^2 \sum (X_i - X_r)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sd^4} \dots\dots\dots (5) \\ &= \frac{30^2 \times 198660229}{29 \times 28 \times 27 \times 39^4} \\ &= \frac{178794206193}{51980678037} \\ &= 3,440 \end{aligned}$$

Koefisien Variasi (C_v) :

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{Sd}{X_r} \dots\dots\dots (6) \\ &= \frac{39}{106} \\ &= 0,369 \end{aligned}$$

Untuk analisa frekuensi dengan Logaritma juga dilakukan perhitungan parameter statistik dengan tahap-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 Xr) :

$$\begin{aligned} \overline{\text{Log Xr}} &= \frac{\sum \text{Log Xi}}{n} \dots\dots\dots (7) \\ &= \frac{59,941}{30} \\ &= 1,998 \end{aligned}$$

Standar Deviasi (Sd) :

$$\begin{aligned} \text{Sd} &= \sqrt{\frac{\sum (\text{Log Xi} - \text{Log Xr})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (8) \\ &= \sqrt{\frac{0,74668}{30-1}} \\ &= 0,160 \end{aligned}$$

Koefisien Skewness (Cs) :

$$\begin{aligned} \text{Cs} &= \frac{n \sum (\text{Log Xi} - \text{Log Xr})^3}{(n-1)(n-2)\text{Sd}^3} \dots\dots\dots (9) \\ &= \frac{30 \times -0,00140}{29 \times 28 \times 0,160^3} \\ &= \frac{-0,04202}{3,355} \\ &= -0,013 \end{aligned}$$

Koefisien Kurtosis (Ck) :

$$\begin{aligned}
C_k &= \frac{n^2 \sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \dots\dots\dots (10) \\
&= \frac{30^2 \times 0,039345}{29 \times 28 \times 27 \times 0,160^4} \\
&= \frac{35,41051}{14,534} \\
&= 2,436
\end{aligned}$$

Koefisien Variasi (Cv) :

$$\begin{aligned}
C_v &= \frac{S_d}{\text{Log } X_r} \dots\dots\dots (11) \\
&= \frac{0,160}{1,998} \\
&= 0,080
\end{aligned}$$

Tabel 3. Pengukuran dispersi dengan Logaritma

No	Tahun	X_i	Log X_i	Log X_r	Log $X_i -$ Log X_r	(Log $X_i -$ Log X_r) ²	(Log $X_i -$ Log X_r) ³	(Log $X_i -$ Log X_r) ⁴
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1995	205	2,312	1,998	0,31371	0,09841	0,03087	0,00968514
2	1987	193	2,285	1,998	0,28695	0,08234	0,02363	0,00677984
3	2000	154	2,187	1,998	0,18877	0,03563	0,00673	0,00126979
4	2002	153	2,184	1,998	0,18594	0,03457	0,00643	0,00119524
5	1996	136	2,134	1,998	0,13629	0,01858	0,00253	0,00034504
6	1982	135	2,130	1,998	0,13148	0,01729	0,00227	0,00029887
7	1984	135	2,129	1,998	0,13068	0,01708	0,00223	0,00029161
8	1993	134	2,126	1,998	0,12825	0,01645	0,00211	0,00027053
9	2006	129	2,110	1,998	0,11170	0,01248	0,00139	0,00015568
10	1983	122	2,087	1,998	0,08920	0,00796	0,00071	0,00006332
11	1999	121	2,081	1,998	0,08294	0,00688	0,00057	0,00004733
12	2013	118	2,072	1,998	0,07384	0,00545	0,00040	0,00002972
13	2004	117	2,069	1,998	0,07107	0,00505	0,00036	0,00002551
14	1989	112	2,048	1,998	0,05020	0,00252	0,00013	0,00000635
15	2001	110	2,041	1,998	0,04335	0,00188	0,00008	0,00000353
16	1990	106	2,023	1,998	0,02521	0,00064	0,00002	0,00000040
17	2011	91	1,960	1,998	-0,03781	0,00143	-0,00005	0,00000204
18	2007	89	1,951	1,998	-0,04744	0,00225	-0,00011	0,00000506
19	2008	88	1,946	1,998	-0,05233	0,00274	-0,00014	0,00000750
20	2009	84	1,923	1,998	-0,07506	0,00563	-0,00042	0,00003174
21	2003	80	1,904	1,998	-0,09360	0,00876	-0,00082	0,00007676
22	1997	76	1,879	1,998	-0,11866	0,01408	-0,00167	0,00019827
23	2005	75	1,875	1,998	-0,12298	0,01513	-0,00186	0,00022877
24	2012	67	1,828	1,998	-0,17035	0,02902	-0,00494	0,00084217

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	1998	65	1,811	1,998	-0,18681	0,03490	-0,00652	0,00121775
26	1992	64	1,806	1,998	-0,19187	0,03681	-0,00706	0,00135514
27	2010	64	1,804	1,998	-0,19357	0,03747	-0,00725	0,00140381
28	1994	61	1,787	1,998	-0,21094	0,04450	-0,00939	0,00197983
29	1988	55	1,740	1,998	-0,25768	0,06640	-0,01711	0,00440900
30	1991	51	1,708	1,998	-0,29048	0,08438	-0,02451	0,00711927
Σ		3188	59,941	1,998		0,74668	-0,00140	0,03934501

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 (Cs), koefisien kurtosis (Ck) dan koefisien variasi (Cv) masing-masing jenis distribusi dicocokkan dengan hasil perhitungan sehingga dapat ditarik kesimpulan jenis distribusi mana yang sesuai. Hasil uji parameter statistik diperlihatkan pada tabel 4.

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

Tabel 4. Uji parameter statistik

Jenis Distribusi / Sebaran	Syarat	Hasil Perhitungan	Kesimpulan
Normal	$Cs \approx 0$ $Ck \approx 3$	0,704 3,440	Tidak memenuhi
Gumbel	$Cs = 1,1396$ $Ck = 5,4002$	0,704 3,440	Tidak memenuhi
Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3 Cv$ $Ck = Cv^8 + 6 Cv^6 + 15 Cv^4 + 16 Cv^2 + 3$	0,241 3,104	Tidak memenuhi
Log Person Tipe III	Selain dari nilai-nilai diatas	$Cs = -0,013$ $Ck = 2,436$	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan

3. Analisa jenis distribusi

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

Metode perhitungan Log Pearson III digunakan untuk menganalisa curah hujan rencana. Untuk perhitungan dengan metode Log Pearson III dijelaskan contoh prosedur perhitungan dengan periode ulang 5 tahun, $n = 30$ tahun dengan menggunakan persamaan (12), (13) dan (14).

Nilai rata-rata (Log X_r) :

$$\begin{aligned}\overline{\text{Log } X_r} &= \frac{\sum \text{Log } X_i}{n} \dots\dots\dots (12) \\ &= \frac{59,941}{30} \\ &= 1,998\end{aligned}$$

Standar Deviasi (Sd) :

$$\begin{aligned}Sd &= \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (13) \\ &= \sqrt{\frac{0,74668}{30-1}} \\ &= 0,160\end{aligned}$$

Koefisien Skewness (Cs) :

$$\begin{aligned}Cs &= \frac{n \sum (\text{Log } X_i - \text{Log } X_r)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \dots\dots\dots (14) \\ &= \frac{30 \times -0,00140}{29 \times 28 \times 0,160^3} \\ &= \frac{-0,04202}{3,355} \\ &= -0,013\end{aligned}$$

Perhitungan curah hujan rencana dihitung dengan menggunakan persamaan (15), dengan konstanta Log Pearson tipe III (G) yang ditentukan berdasarkan nilai koefisien kemencengan (Cs) yang disajikan pada tabel 4. Dari perhitungan didapatkan nilai Cs = -0,013. Perhitungan nilai konstanta G berdasarkan nilai Cs tersebut dilakukan dengan cara interpolasi. Hasil perhitungan nilai konstanta G disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5. Tabel nilai G untuk Cs = -0,013

Cs	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	25	50	100	200
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576
-0,013	0,002	0,841	1,280	1,747	2,047	2,317	2,564
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482

Sumber : Hasil Perhitungan

Berikut ini contoh prosedur perhitungan curah hujan rencana dengan periode ulang lima tahun dengan menggunakan persamaan (15).

$$\begin{aligned}
 \text{Log X} &= \overline{\text{Log X}} + G \times S && \dots\dots\dots (15) \\
 &= 1,998 + 0,841 \times 0,160 \\
 &= 2,133 \\
 X &= 135,842
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan curah hujan rencana dengan metode Log Pearson III untuk periode ulang 5, 15 dan 25 tahun disajikan pada tabel 6.

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

T	Log Xr	G	Sd	Log X T	X T
5	1,998	0,841	0,160	2,133	135,842
15	1,998	1,294	0,160	2,205	160,339
25	1,998	1,747	0,160	2,278	189,806

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 5, 15 dan 25 tahun yang didapatkan dari perhitungan berturut-turut: 246,841 mm, 307,489 mm dan 344,900 mm.

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

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^m \dots\dots\dots (16)$$

$$I_5 = \frac{135,842}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 246.841 \text{ mm/jam}$$

$$I_{15} = \frac{160,339}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 307,489 \text{ mm/jam}$$

$$I_{25} = \frac{189,906}{24} \left(\frac{24}{5/60} \right)^{2/3} = 344.900 \text{ mm/jam}$$

C. Interpolasi Penyesuaian Intesitas Curah Hujan Dengan *Flowmeter* Alat *Rainfall Simulator*

Diketahui:

$$I_5 = 246,841 \text{ mm/jam}$$

$$I_{15} = 307,489 \text{ mm/jam}$$

$$I_{25} = 344,900 \text{ mm/jam}$$

Intensitas curah hujan standar alat *rainfall simlator* :

$$I_1 = 102 \text{ mm/jam}$$

$$I_2 = 480 \text{ mm/jam}$$

Nilai standar *flowmeter* alat *rainfall simulator* :

$$q_1 = 2,04 \text{ liter/menit}$$

$$q_2 = 9,6 \text{ liter/menit}$$

Interpolasi nilai *flowmeter* rencana :

$$q = q_1 + \left(\frac{I - I_1}{I_2 - I_1} \right) \times (q_2 - q_1)$$

Penelesaian:

$$\begin{aligned} q_{I5} &= 2,04 + \left(\frac{246,841 - 102}{480 - 102} \right) \times (9,6 - 2,04) \\ &= 4,9 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{I15} &= 2,04 + \left(\frac{307,489 - 102}{480 - 102} \right) \times (9,6 - 2,04) \\ &= 6,1 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{I25} &= 2,04 + \left(\frac{344,900 - 102}{480 - 102} \right) \times (9,6 - 2,04) \\ &= 6,9 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

Keterangan :

q_{I5} = Nilai *flowmeter* pada intensitas curah hujan 5 tahun

q_{I15} = Nilai *flowmeter* pada intensitas curah hujan 15 tahun

q_{I25} = Nilai *flowmeter* pada intensitas curah hujan 25 tahun

LAMPIRAN C
DATA PERMEABILITAS



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
Kampus Teknik Gowa, Jl. Poros Malino Ex. Pabrik Kertas Gowa
Tlp. (0411) 587636, FAX. (0411) 587636

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
No Sampel : 1
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil FT Unhas
Tanggal Percobaan : 03 OKTOBER 2017
Nama : 1. EKI SANDI
2. SULVAHENRA

Constan Head

Diameter buret (d) : 1.2 cm

Diameter sampel (D) : 6.4 cm

Running		2	3	4	5
Luas potongan melintang buret ($a=1/4\pi d^2$)	cm ²	1.131	1.131	1.131	1.131
Luas potongan melintang sampel ($A=1/4\pi D^2$)	cm ²	32.170	32.170	32.170	32.170
Ketinggian hidrolik (h)	cm	76	76	76	77
Panjang sampel (L)	cm	6.5	6.5	6.5	6.5
Waktu pengujian (t)	detik	221	223	226	227
Temperatur (T)	°C	28	28	28	28
Volume air yang terkumpul (Q)	(cm ³)	100	100	100	100
Koefisien permeabilitas (Q.L / h.A.t)	(cm/det)	0.00120	0.00119	0.00118	0.00116

Mengetahui,

Sekretaris Laboratorium Laboratorium Mekanika Tanah
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



(Farid Sitepu, ST., MT.)



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
Kampus Teknik Gowa, Jl. Poros Malino Ex. Pabrik Kertas Gowa
Tlp. (0411) 587636, FAX. (0411) 587636

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
No Sampel : 2
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil FT Unhas
Tanggal Percobaan : 10 OKTOBER 2017
Nama : 1. EKI SANDI
2. SULVAHENRA

Constan Head

Diameter buret (d) : 1.2 cm
Diameter sampel (D) : 6.4 cm

Runing		1	2	3	4	5
Luas potongan melintang buret ($a=1.4\pi d^2$)	cm ²	1.131	1.131	1.131	1.131	1.131
Luas potongan melintang sampel ($A=1.4\pi D^2$)	cm ²	32.170	32.170	32.170	32.170	32.170
Ketinggian hidrolik (h)	cm	76	76	74.5	76	77
Panjang sampel (L)	cm	6.5	6.5	7	6	6
Waktu pengujian (t)	detik	220	227	262	230	235
Temperatur (T)	°C	28	28	28	28	28
Volume air yang terkumpul (Q)	(cm ³)	100	100	100	100	100
Koefisien permeabilitas (Q.L. / h.A.t)	(cm det)	0.00121	0.00117	0.00111	0.00107	0.00103

Mengetahui,

Sekretaris Laboratorium Laboratorium Mekanika Tanah
Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
Kampus Teknik Gowa, Jl. Poros Malino Ex. Pabrik Kertas Gowa
Tlp. (0411) 587636, FAX. (0411) 587636

Proyek : Penelitian Mahasiswa S1
No Sampel : 3
Lokasi : Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil FT Unhas
Tanggal Percobaan : 15 OKTOBER 2017
Nama : 1. EKI SANDI
2. SULVAHENRA

Constan Head

Diameter buret (d) : 1.2 cm
Diameter sampel (D) : 6.4 cm

Running		1	2	3	4	5
Luas potongan melintang buret ($a=1/4\pi d^2$)	cm ²	1.131	1.131	1.131	1.131	1.131
Luas potongan melintang sampel ($A=1/4\pi D^2$)	cm ²	32.170	32.170	32.170	32.170	32.170
Ketinggian hidrolis (h)	cm	77	74.5	76	74.5	74.5
Panjang sampel (L)	cm	6.5	7	6	7	7
Waktu pengujian (t)	detik	227	256	230	289	293
Temperatur (T)	°C	28	28	28	28	28
Volume air yang terkumpul (Q)	(cm ³)	100	100	100	100	100
Koefisien permeabilitas (Q.L / h.A.t)	(cm/det)	0.00116	0.00114	0.00107	0.00101	0.00100

Mengetahui,

Sekretaris Laboratorium Laboratorium Mekanika Tanah
Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



(Farid Ritapu, ST., MT.)

LAMPIRAN D
DATA PENGGENANGAN

HASIL PENGAMATAN LABORATORIUM RAINFALL SIMULATOR

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Saat Hujan

Intensitas : I5

No	Waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F1.I5	F2.I5	F3.I5	F4.I5	F5.I5
1	1	0.06	0.1	0.08	0.02	0.06
2	2	0.06	0.16	0.16	0.06	0.12
3	3	0.08	0.26	0.24	0.4	0.22
4	5	0.1	0.6	0.38	1.48	0.36
5	7	0.1	1.28	1.24	2.44	1.62
6	10	0.28	2.34	2.52	2.82	2.92
7	15	0.9	4.4	4.66	5.78	5.3
8	20	1.62	5.72	7.24	7.56	7.68
9	25	2.78	7.44	9.32	10.58	9.76
10	30	3.74	9.32	11.44	12.42	12.08
11	35	4.88	10.84	13.72	14	13.98
12	40	6.38	12.38	14	16.67	16.25
13	45	8.12	14.34	16	16.92	17.08
14	50	9.82	15.77	16.71	16.92	17.08
15	55	11.8	16.58	16.71	16.92	17.08
16	60	13.6	16.58	16.71	16.92	17.08
17	62	14.24	16.58	16.71	16.92	17.08
18	65	16.52	16.58	16.71	16.92	17.08
19	70	16.5	16.58	16.71	16.92	17.08
20	75	16.5	16.58	16.71		
21	80	16.5	16.58	16.71		
22	85	16.5	16.58			
23	90	16.5				
24	95	16.5				
25	100	16.5				

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)
Setelah Hujan

Intensitas : I5

No	Waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F1.I5	F2.I5	F3.I5	F4.I5	F5.I5
1	2	3	4	5	6	7
1	1	15.38	15.31	15.25	15.25	15.34
2	2	15.25	15.21	15.21	15.21	15.18
3	3	15.13	15.13	15.13	15.08	15.10
4	5	15.08	15.12	15.04	15.04	15.08
5	7	14.14	15.04	14.00	14.00	15.04
6	10	13.88	14.04	13.66	13.86	13.98
7	15	13.70	13.54	13.38	13.54	13.68
8	20	13.38	13.26	13.26	13.36	13.34
9	25	13.06	12.94	13.08	13.12	13.14
10	30	12.50	12.84	12.86	13.00	12.84
11	35	12.20	12.58	12.64	12.88	12.62
12	40	12.04	12.36	12.48	12.42	12.42
13	45	11.48	12.22	12.20	12.26	12.26
14	50	11.44	11.92	12.00	12.06	12.08
15	55	11.22	11.80	11.70	11.84	11.90
16	60	11.14	11.46	11.56	11.54	11.74
17	70	10.86	11.10	11.34	11.28	11.44
18	80	10.64	10.76	10.96	10.90	11.16
19	90	10.28	10.46	10.68	10.56	10.88
20	100	9.90	10.02	10.18	10.08	10.54
21	110	9.44	9.62	9.90	9.70	10.22
22	120	9.22	9.26	9.54	9.30	9.98
23	130	8.80	8.92	9.24	9.02	9.64
24	140	8.54	8.50	8.64	8.76	9.34
25	150	7.94	8.22	8.40	8.56	9.22
26	160	7.74	7.92	8.22	8.28	8.70
27	170	7.60	7.56	7.70	8.02	8.32
28	180	7.26	7.28	7.30	7.70	7.94
29	190	6.78	7.00	7.00	7.38	7.70

1	2	3	4	5	6	7
30	200	5.92	6.54	6.80	7.08	7.46
31	210	5.22	6.22	6.38	6.78	7.24
32	220	4.68	5.84	5.98	6.44	7.04
33	230	4.00	5.46	5.80	6.22	6.74
34	240	3.38	5.10	5.58	5.96	6.32
35	250	2.30	4.90	5.26	5.68	6.16
36	260	1.36	4.52	5.02	5.42	5.84
37	270	0.80	4.22	4.76	5.16	5.50
38	280	0.18	3.98	4.48	4.78	5.22
39	290		3.72	4.20	4.56	4.98
40	300		3.42	3.76	4.38	4.74
41	310		3.28	3.58	4.12	4.54
42	320		2.82	3.30	3.76	4.28
43	330		2.62	2.94	3.40	4.00
44	340		2.28	2.66	3.20	3.76
45	350		1.96	2.48	2.98	3.52
46	360		1.74	2.34	2.62	3.14
47	370		1.44	2.04	2.40	2.90
48	380		1.02	1.78	2.12	2.66
49	390		0.76	1.52	1.90	2.38
50	400		0.44	1.24	1.56	2.10
51	410		0.18	0.70	1.34	1.86
52	420		0.06	0.44	0.96	1.62
53	430		0.04	0.24	0.70	1.42
54	440			0.12	0.42	1.24
55	450			0.04	0.26	1.02
56	460				0.14	0.68
57	470				0.06	0.28
58	480					0.16
59	490					0.06

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Saat Hujan

Intensitas : I₁₅

No	Waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F _{1.I₁₅}	F _{2.I₁₅}	F _{3.I₁₅}	F _{4.I₁₅}	F _{5.I₁₅}
1	1	0	0.02	0.1	0.04	0.04
2	2	0.04	0.1	0.24	0.16	0.14
3	3	0.06	0.78	0.36	0.26	0.7
4	5	0.18	2.06	1.2	2.22	2.14
5	7	0.64	2.6	2.26	3.3	3.34
6	10	0.88	4.98	4.58	4.2	5.16
7	15	2.28	7.34	7.36	7.24	7.38
8	20	4.16	9.36	9.6	9.68	10.08
9	25	5.28	12.14	12.5	12.22	12.42
10	30	6.34	14.34	14.4	14.98	15
11	35	8.9	14.98	15	17.50	17.75
12	40	11.32	15.79	16.32	17.75	17.75
13	45	13.9	17.00	17.42	17.75	17.75
14	50	15	17.00	17.42	17.75	17.75
15	55	15.25	17.00	17.42	17.75	17.75
16	60	16.83	17.00	17.42	17.75	17.75
17	62	16.83	17.00	17.42		
18	65	16.83	17.00	17.42		
19	70	16.83	17.00			
20	75	16.83				
21	80	16.83				
22	85					

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Setelah Hujan

Intensitas : I₁₅

No	Waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F _{1.I₁₅}	F _{2.I₁₅}	F _{3.I₁₅}	F _{4.I₁₅}	F _{5.I₁₅}
1	2	3	4	5	6	7
1	1	15.38	15.33	15.69	15.21	15.29
2	2	15.25	15.23	15.44	15.17	15.21
3	3	15.20	15.14	15.23	15.08	15.13
4	5	15.13	15.07	15.08	15.03	15.04
5	7	15.02	14.98	15.00	15.04	14.98
6	10	14.78	14.78	14.82	14.86	14.82
7	15	14.50	14.56	14.60	14.66	14.66
8	20	14.30	14.24	14.48	14.52	14.52
9	25	13.78	13.94	14.32	14.34	14.38
10	30	13.42	13.58	14.12	14.18	14.28
11	35	13.20	13.44	13.94	13.98	14.08
12	40	13.02	13.22	13.74	13.74	13.88
13	45	12.78	13.10	13.56	13.50	13.64
14	50	12.52	12.82	13.36	13.30	13.46
15	55	12.28	12.68	13.16	13.10	13.28
16	60	12.06	12.50	12.96	12.90	13.08
17	70	11.80	12.14	12.58	12.54	12.64
18	80	11.42	11.74	12.24	12.18	12.36
19	90	11.14	11.34	11.86	11.68	12.06
20	100	10.80	11.08	11.42	11.36	11.68
21	110	10.34	10.60	11.10	11.14	11.34
22	120	9.96	10.18	10.71	10.76	11.00
23	130	9.50	10.04	10.30	10.36	10.60
24	140	9.20	9.70	10.00	10.08	10.22
25	150	8.76	9.20	9.68	9.66	9.86
26	160	8.36	8.68	9.30	9.28	9.52
27	170	8.08	8.36	8.94	8.88	9.14
28	180	7.66	8.08	8.56	8.60	8.90
29	190	7.32	7.70	8.22	8.16	8.54
30	200	7.06	7.18	7.86	7.82	8.24
31	210	6.70	6.82	7.46	7.38	7.98
32	220	6.36	6.46	7.18	7.10	7.70
33	230	6.06	6.20	6.92	6.78	7.40
34	240	5.60	5.98	6.56	6.52	7.14

1	2	3	4	5	6	7
35	250	5.20	5.72	5.98	6.22	6.72
36	260	4.96	5.24	5.62	5.94	6.48
37	270	4.72	5.00	5.38	5.74	6.20
38	280	4.28	4.74	5.08	5.52	5.88
39	290	3.84	4.46	4.84	5.22	5.64
40	300	3.66	4.06	4.52	5.04	5.40
41	310	3.44	3.82	4.26	4.72	5.16
42	320	3.12	3.48	4.00	4.42	4.84
43	330	2.98	3.14	3.76	4.10	4.54
44	340	2.64	2.82	3.50	3.86	4.24
45	350	2.38	2.42	3.24	3.64	4.04
46	360	2.18	2.20	3.04	3.44	3.74
47	370	1.84	2.02	2.70	3.24	3.52
48	380	1.50	1.74	2.46	3.06	3.24
49	390	1.14	1.48	2.18	2.82	3.02
50	400	0.72	1.32	1.98	2.58	2.82
51	410	0.32	1.18	1.70	2.34	2.60
52	420	0.12	0.92	1.42	2.10	2.30
53	430	0.04	0.62	1.20	1.88	2.10
54	440		0.24	0.66	1.54	1.90
55	450		0.12	0.30	1.34	1.66
56	460			0.14	1.00	1.40
57	470			0.04	0.72	1.10
58	480				0.48	0.82
59	490				0.28	0.50
60	500				0.12	0.24
61	510					0.10

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Saat Hujan

Intensitas : I₂₅

No	Waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F _{1.I₂₅}	F _{2.I₂₅}	F _{3.I₂₅}	F _{4.I₂₅}	F _{5.I₂₅}
1	1	0	0.04	0.22	0.04	0.04
2	2	0.02	0.16	0.2	0.16	0.28
3	3	0.08	1.12	0.44	0.88	1.02
4	5	0.2	2.12	2.1	2.54	2.34
5	7	1.04	3.16	3.44	3.54	3.96
6	10	1.92	5.12	5.44	6.16	5.36
7	15	3.52	8.24	8.28	8.66	8.24
8	20	5.02	11.14	11.18	11.08	10.74
9	25	7.06	13.92	14.56	14.54	14.58
10	30	8.48	14.76	17.58	18.00	18.54
11	35	10.88	15.875	17.92	18.00	18.54
12	40	13.28	17.33	17.92	18.00	18.54
13	45	15	17.33	17.92	18.00	18.54
14	50	15.83	17.33	17.92	18.00	18.54
15	55	17.25	17.33	17.92	18.00	18.54
16	60	17.25	17.33	17.92	18.00	
17	62	17.25	17.33			
18	65	17.25	17.33			
19	70	17.25	17.33			
20	75	17.25				
21	80	17.25				
22	85	17.25				

Tabel Pengamatan Penggenangan (*Ponding Time*)

Setelah Hujan

Intensitas : I₂₅

No	Waktu (Menit)	Tinggi Genangan (cm)				
		F _{1.I₂₅}	F _{2.I₂₅}	F _{3.I₂₅}	F _{4.I₂₅}	F _{5.I₂₅}
1	2	3	4	5	6	7
1	1	15.38	15.33	15.31	15.33	15.39
2	2	15.25	15.21	15.25	15.25	15.23
3	3	15.13	15.13	15.07	15.23	15.13
4	5	15.08	15.12	15.06	15.13	15.08
5	7	14.98	15.04	14.56	15.07	15.04
6	10	14.70	14.74	14.46	14.52	14.62
7	15	14.42	14.36	14.26	14.28	14.40
8	20	14.14	14.16	14.06	14.12	14.12
9	25	13.88	13.94	13.84	13.94	13.90
10	30	13.64	13.74	13.66	13.84	13.80
11	35	13.36	13.58	13.48	13.74	13.70
12	40	13.12	13.38	13.28	13.64	13.60
13	45	12.92	13.14	13.16	13.54	13.50
14	50	12.72	12.96	13.04	13.44	13.40
15	55	12.56	12.62	12.84	13.34	13.30
16	60	12.38	12.62	12.74	13.24	13.20
17	70	12.18	12.34	12.58	13.02	13.10
18	80	11.82	12.08	12.38	12.72	12.88
19	90	11.42	11.80	12.22	12.50	12.68
20	100	11.12	11.56	12.00	12.20	12.56
21	110	10.76	11.22	11.80	11.88	12.46
22	120	10.42	10.94	11.60	11.70	12.36
23	130	10.08	10.70	11.38	11.50	12.26
24	140	9.74	10.42	11.14	11.30	12.16
25	150	9.44	10.14	10.84	11.14	12.06
26	160	9.12	9.90	10.60	10.98	11.96
27	170	8.80	9.62	10.32	10.86	11.86
28	180	8.46	9.36	10.12	10.66	11.72
29	190	8.22	9.06	9.90	10.56	11.62
30	200	7.98	8.84	9.62	10.30	11.52
31	210	7.66	8.58	9.42	10.10	11.42
32	220	7.42	8.40	9.22	10.00	11.32
33	230	7.04	8.22	9.02	9.80	11.16
34	240	6.72	7.98	8.86	9.60	11.06
35	250	6.46	7.74	8.58	9.40	10.88
36	260	6.12	7.48	8.28	9.16	10.68
37	270	5.82	7.22	8.02	8.86	10.48
38	280	5.52	6.96	7.82	8.66	10.28
39	290	5.22	6.70	7.62	8.42	10.00
40	300	4.94	6.46	7.42	8.22	9.68

1	2	3	4	5	6	7
41	310	4.68	6.22	7.22	7.98	9.48
42	320	4.48	6.02	7.02	7.86	9.28
43	330	4.18	5.80	6.82	7.74	9.06
44	340	3.88	5.52	6.62	7.54	8.86
45	350	3.68	5.30	6.42	7.36	8.66
46	360	3.46	5.06	6.22	7.22	8.56
47	370	3.34	4.84	6.02	7.06	8.36
48	380	3.12	4.64	5.90	6.90	8.16
49	390	2.78	4.46	5.70	6.72	7.96
50	400	2.56	4.34	5.50	6.42	7.76
51	410	2.36	4.12	5.28	6.32	7.56
52	420	2.16	3.90	5.10	6.12	7.36
53	430	2.02	3.72	5.04	5.98	7.16
54	440	1.82	3.52	4.86	5.80	6.96
55	450	1.62	3.34	4.76	5.62	6.82
56	460	1.36	3.16	4.56	5.42	6.66
57	470	1.10	2.96	4.32	5.22	6.56
58	480	0.90	2.72	4.14	5.04	6.46
59	490	0.70	2.48	3.98	4.88	6.36
60	500	0.42	2.34	3.80	4.74	6.26
61	510	0.22	2.18	3.62	4.64	6.16
62	520		1.98	3.38	4.54	6.06
63	530		1.82	3.16	4.44	5.96
64	540		1.68	3.04	4.34	5.86
65	550		1.52	2.90	4.22	5.66
66	560		1.32	2.76	4.12	5.56
67	570		1.12	2.60	4.02	5.46
68	580		0.92	2.46	3.88	5.26
69	590		0.68	2.30	3.78	5.16
70	600		0.46	2.12	3.68	5.06
71	610		0.26	1.92	3.54	4.86
72	620		0.12	1.72	3.36	4.66
73	630			1.48	3.26	4.46
74	640			1.28	3.16	4.28
75	650			1.08	3.04	4.16
76	660			0.92	2.86	3.96
77	670			0.82	2.68	3.86
78	680			0.68	2.58	3.76
79	690			0.54	2.48	3.64
80	700			0.38	2.38	3.54
81	710			0.28	2.26	3.34
82	720				2.12	3.24
83	730				2.02	3.14
84	740				1.92	3.04
85	750				1.80	2.94
86	760				1.70	2.84
87	770				1.60	2.74

1	2	3	4	5	6	7
88	780				1.50	2.64
89	790				1.38	2.54
90	800				1.20	2.44
91	810				1.02	2.34
92	820				0.88	2.24
93	830				0.76	2.14
94	840				0.56	2.02
95	850				0.42	1.92
96	860					1.82
97	870					1.72
98	880					1.54
99	890					1.44
100	900					1.34
101	910					1.24
102	920					1.14
103	930					1.02
104	940					0.88
105	950					0.78
106	960					0.68
107	970					0.58
108	980					0.48
109	990					0.38
110	1000					0.28

LAMPIRAN E
DOKUMENTASI

DOKUMENTASI PENELITIAN



Pengujian Sand Cone Lapangan



Pemeriksaan Kadar Air



Pengujian Analisa Saringan



Pemeriksaan Berat Jenis



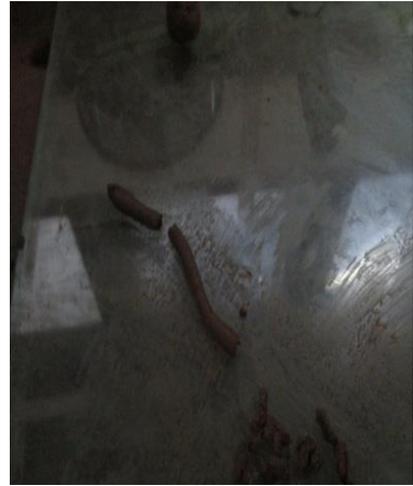
Pengujian Permeabilitas



Pengujian Hidrometer



Pemeriksaan Batas Plastis



Pemeriksaan batas cair



Pengujian Kompaksi



Sampel Tanah



Proses Penyaringan Sampel Tanah



Penimbangan sampel tanah



Alat *Rainfall Simulator*



Formasi Drain Dalam Bak



Pembersihan Alat Simulasi Hujan



Pengisian Sampel Pada Bak Uji



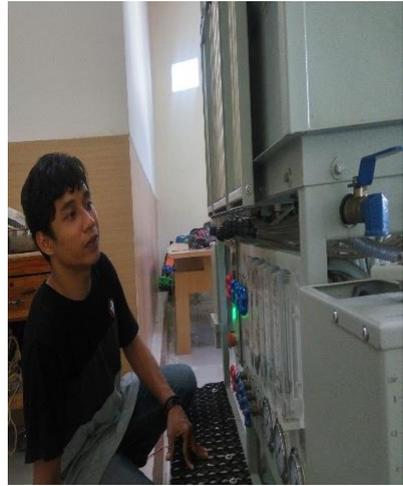
Pemadatan sampel



Proses *Running Test*



Pengamatan Data Infiltrasi



Pengamatan Data Manometer



Pengamatan Data Limpasan



Pengamatan Tinggi genangan



Pengimputan Data



Pembongkaran Sampel



Pengambilan sampel
Permeabilitas



Pengujian Permeabilitas



Alat Permeabilitas



Pengujian Permeabilitas