

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN FORMASI TITIK IMBUH PADA SISTEM BAMBU RONGGA TERHADAP EFEKTIVITAS IMBUHAN PADA *TOP SOIL SEMI-PERMEABLE* (Eksperimen Lapangan di Kabupaten Gowa)



Oleh :

**NUR HAINI. N
105 81 1758 12**

**HISBULLAH
105 81 1670 12**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2018**

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN FORMASI TITIK IMBUH PADA
SISTEM BAMBU RONGGA TERHADAP EFEKTIVITAS IMBUHAN
PADA *TOP SOIL SEMI-PERMEABLE*
(Eksperimen Lapangan di Kabupaten Gowa)**

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh :

**NUR HAINI. N
105 81 1758 12**

**HISBULLAH
105 81 1670 12**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2018**

SKRIPSI

ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN FORMASI TITIK IMBUH PADA SISTEM BAMBU RONGGA TERHADAP EFEKTIVITAS IMBUHAN PADA *TOP SOIL SEMI-PERMEABLE* (Eksperimen Lapangan di Kabupaten Gowa)



Oleh :

**NUR HAINI. N
105 81 1758 12**

**HISBULLAH
105 81 1670 12**

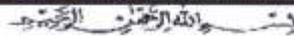
**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2018**



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 PERSETUJUAN

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

Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN FORMASI TITIK IMBUH
PADA SISTEM BAMBU RONGGA TERHADAP EFEKTIVITAS
IMBUHAN PADA *TOP SOIL SEMI-PERMEABLE* (EKSPERIMEN
LAPANGAN DI KABUPATEN GOWA)

Nama : NUR HAINI. N
HISBULLAH

No. Stambuk : 105 81 1758 12
: 105 81 1670 12

Makassar, 20 Februari 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui

Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I

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

Pembimbing II

Dr. Ma'rufah, SP., MP.

Mengetahui, Ketua
Jurusan Sipil

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



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

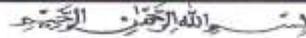
FAKULTAS TEKNIK

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>



PENGESAHAN

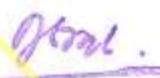
Skripsi atas nama Nur Haini. N dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1758 12 dan Hisbullah dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 1670 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/22201/091004/2018, 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 17 Februari 2018.

Makassar, 04 Jumadil Akhir 1439 H
20 Februari 2018 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

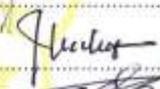
Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM. 

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

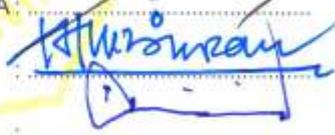
Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME. 

2. Penguji

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

b. Sekretaris : Muh. Amir Zainuddin, ST., MT. 

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

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

3. Amrullah Mansida, ST., MT. 

Mengetahui :

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Dr. Ma'rufah, SP., MP.



Dekan


Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 855 500

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN FORMASI TITIK IMBUH PADA
SISTEM BAMBURONGGA TERHADAP EFEKTIVITAS IMBUHAN
PADA *TOP SOIL SEMI PERMEABLE*
(Eksperimen Lapangan di Kabupaten Gowa)**

Nur Haini. N¹⁾ dan Hisbullah²⁾

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

²⁾Program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar, hisbullah893@gmail.com

Abstrak

Analisis pengaruh jumlah dan formasi titik imbuhan pada sistem bambu rongga terhadap efektivitas imbuhan pada *top soil semi permeable* (eksperimen lapangan di Kabupaten Gowa) dibimbing oleh Darwis Panguriseng dan Ma'rufah. Titik imbuhan merupakan kata benda yang dijadikan sebagai alternatif pengimbuhan air tanah. Pengimbuhan adalah kata sifat yang menunjukkan proses infiltrasi buatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas penggunaan jumlah dan formasi bambu terhadap pengimbuhan buatan pada *top soil semi permeable*. Penelitian ini menggunakan bambu rongga yang ditancapkan pada tanah *semi permeable*, untuk dilakukan pengukuran pada 1 sumur kontrol (tanpa pengimbuhan) dan 5 komposisi sumur uji dengan jumlah bambu rongga 8, 16, 32, 64 dan 128 pengimbuhan. Besaran efektivitas setiap sumur masing-masing sumur kontrol = 1; sumur uji 1 = 2,18; sumur uji 2 = 2,21; sumur uji 3 = 2,35; sumur uji 4 = 2,54; dan sumur uji 5 = 3,28. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan besaran efektivitas berbanding lurus dengan jumlah pengimbuhan. Fluktuasi muka air tanah meningkat berbanding lurus dengan banyaknya jumlah dan formasi yang dipasang disetiap sumur yang diuji, hal ini disebabkan karena lapisan tanah yang bersifat *semi permeable* sehingga proses pengimbuhan air tanah secara alami berlangsung lambat, dengan adanya pemasangan bambu rongga di sekeliling sumur membantu melampaui permukaan *semi permeable*. Banyaknya jumlah dan formasi pengimbuhan mempengaruhi periode *recovery*, semakin banyak jumlah pengimbuhan maka periode *recovery* berlangsung lebih cepat.

Kata kunci: Efektivitas, imbuhan, *semi permeable*

Abstract

The analysis of the effect of the number and formation of the added point on the bamboo cavity system on the effectiveness of the additives on the top soil semi permeable (field experiments in Gowa District) is guided by Darwis Panguriseng and Ma'rufah. The imbuhan point is a noun that is used as an alternative to groundwater. Pengimbuhan is an adjective that shows the process of artificial infiltration. The purpose of this study is to determine the effectiveness of the use of amount and formation of bamboo to artificial enhancement on the top soil semi permeable. This research used bamboo cavity which is embedded in semi permeable soil, for measurement at 1 control well (without penyimbuh) and 5 composition of test well with the number of bamboo cavity 8, 16, 32, 64 and 128 pembimbuh. The magnitude of the effectiveness of each well of each control well = 1; test well 1 = 2.18; test well 2 = 2.21; test well 3 = 2.35; test well 4 = 2.54; and test well 5 = 3.28. The results showed that the increase of effectiveness was directly proportional to the number of supervisors. Fluctuations in the groundwater level are proportional to the number and number of wells installed in each well tested, this is because the soil layer is semi permeable so the process of groundwater grounding is naturally slow, with the installation of bamboo cavities around the well helping out beyond the surface semi permeable. The large number and formation of influencers affect the recovery period, the more the number of reinforcers the recovery period is faster.

Keywords: Effectiveness, affix, semi permeable.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian studi pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah: **“Analisis Pengaruh Jumlah dan Formasi Titik Imbuh pada Sistem Bambu Rongga Terhadap Efektivitas Imbuan pada *Top Soil Semi-Permeable* (Eksperimen Lapangan di Kabupaten Gowa)”**

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama yang ikhlas dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Pencapaian tugas akhir ini tidak terlepas dari jasa-jasa orang tua penulis. Ungkapan terima kasih yang tulus penulis persembahkan untuk Ayah dan Ibu tercinta atas doa dan segenap curahan kasih sayang yang tak terbatas serta segala bentuk motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan sampai di tingkat perguruan tinggi. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis ucapkan kepada saudaraku. Terima kasih atas dukungan, motivasi dan

kesabaran dalam menghadapi penulis, serta untuk seluruh keluarga besar kami yang telah memberikan dukungan dan doa.

Pada kesempatan ini pula, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

Bapak Dr. H. Abdul Rahman Rahim, S.E., MM. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Bapak Muh. Syafaat S. Kuba, S.T. selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1) di kampus ini, Universitas Muhammadiyah Makassar.

Kepada Bapak Dr. Ir. H. Darwis Panguriseng, M.Sc. selaku Pembimbing I dan Ibu Dr. Ma'rufa, SP., MP. selaku pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga terwujudnya tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan disampaikan pula kepada Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.

Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik, terkhusus saudaraku Misiel 2012 pengurus lembaga di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) periode 2017-2018 dan sahabat yang kesemuanya tak bisa penulis sebutkan

satu persatu, yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama yang senantiasa memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini, terima kasih.

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 tak pernah luput dari kesalahan dan kekhilafan. Adapun mengenai kebaikan-kebaikan penulis, itu semata-mata datangnya dari Allah SWT, karena segala kesempurnaan hanyalah milik-Nya.

Akhirnya, penulis berharap bahwa apa yang disajikan dalam tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga kesemuanya ini dapat bernilai ibadah di sisi-Nya, Amin!

Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, Februari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	6
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Siklus Hidrologi.....	9
1. Elemen Siklus Hidrologi.....	9
2. Peranan Air Tanah dalam Siklus Hidrologi.....	15
B. Permeabilitas.....	16
1. Pengertian Permeabilitas.....	17
2. Proses Rembesan Air Tanah	17

C. Kapilaritas.....	21
1. Tekanan Kapiler.....	21
2. Hubungan Tekstur Tanah dan Laju Infiltrasi	23
D. Konservasi Air Tanah	26
E. Efektivitas Pengimbuhan Air Tanah	28
1. Pengertian Efektivitas	28
2. Pengimbuhan Air Tanah	30
F. Kerangka Pikir	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	36
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	36
1. Lokasi Penelitian	36
2. Waktu Penelitian.....	36
B. Jenis Penelitian	36
C. Variabel Penelitian.....	37
D. Defenisi Operasional Variabel	38
E. Desain Penelitian	38
F. Instrumen Penelitian	39
G. Teknik Pengumpulan Data.....	40
H. Analisis Data.....	40
I. Bagan Alir.....	41
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
A. Hasil Pengamatan Imbuhan pada Masing-masing Sumur Uji	42
B. Pembahasan	54
1. Analisa Efektivitas Bambu Sebagai Pengimbuh	54

2. Pengaruh Periode Hujan terhadap Fluktuasi Muka Air Tanah	56
3. Pengaruh Periode Hujan terhadap Waktu <i>Recovery</i> Muka Air Tanah.....	66
4. Pengaruh Jumlah Pengimbuhan terhadap Akumulasi Penurunan dan Akumulasi Kenaikan Muka Air Tanah	67
5. Pengaruh Formasi Pengimbuhan terhadap Akumulasi Penurunan dan Akumulasi Kenaikan Muka Air Tanah	70
BAB V PENUTUP.....	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1. Koefisien tanah	18
Tabel 2. Ketinggian air kapiler (Hansbo, 1975).....	23
Tabel 3. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Kontrol (Tanpa Bambu Rongga).	42
Tabel 4. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 1 (8 bambu rongga).	44
Tabel 5. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 2 (16 bambu rongga).	46
Tabel 6. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 3 (32 bambu rongga).	48
Tabel 7. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 4 (64 bambu rongga).	50
Tabel 8. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 5 (128 bambu rongga).	52
Tabel 9. Hasil perhitungan besaran efektivitas (Ef) pada setiap sumur uji.....	55
Tabel 10. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Kontrol (tanpa pengimbuh). 57	
Tabel 11. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 1 (8 pengimbuh).	58
Tabel 12. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 2 (16 pengimbuh).	59
Tabel 13. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 3 (32 pengimbuh).	61
Tabel 14. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 4 (64 pengimbuh).	62
Tabel 15. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 5 (128 pengimbuh).	63
Tabel 16. Akumulasi Penurunan dan Kenaikan Muka Air Tanah Minimum.	68

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1. Siklus Hidrologi	11
Gambar 2. Analogi Air Kapiler dalam Lapisan Tanah dan Kedudukannya (Holtz & Kovacs, 1981)	22
Gambar 3. Proses Pengimbuhan Alami	30
Gambar 4. Skema Kerangka Pikir.....	34
Gambar 5. Formasi jumlah pada 5 sumur uji.....	39
Gambar 6. Bangan Alir Penelitian (3 tahap pelaksanaan)	41
Gambar 7. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Kontrol (tanpa bambu rongga).	43
Gambar 8. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 1 (dengan pemasangan 8 buah bambu rongga)	45
Gambar 9. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 2 (dengan pemasangan 16 buah bambu rongga)	47
Gambar 10. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 3 (dengan pemasangan 32 buah bambu rongga)	49
Gambar 11. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 4 (dengan pemasangan 64 buah bambu rongga)	51
Gambar 12. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 5 (dengan pemasangan 128 buah bambu rongga)	53
Gambar 13. Grafik efektivitas muka air tanah pada setiap sumur uji.....	56
Gambar 14. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Kontrol (Tanpa Pengimbuh).....	57
Gambar 15. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 1 (8 Pengimbuh).....	59
Gambar 16. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 2 (16 Pengimbuh).....	60

Gambar 17. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 3 (32 Pengimbuh).....	61
Gambar 18. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 4 (64 Pengimbuh).....	63
Gambar 19. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 5 (128 Pengimbuh).....	64
Gambar 20. Grafik Akumulasi Penurunan Muka Air Tanah Minimum.	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan elemen terpenting dalam menunjang kehidupan manusia di bumi. Bukan hanya manusia yang membutuhkan ketersediaan air, namun hewan dan tumbuhan sebagai makhluk hidup juga sangat memerlukannya. Berdasarkan perkiraan, jumlah air di bumi (UNESCO, 1987 dalam Chow et al, 1988) dijelaskan bahwa jumlah air tanah jauh lebih besar dibandingkan air permukaan. Diketahui 98 % air tawar yang dimanfaatkan dalam kehidupan berasal dari air tanah, sementara 2 % adalah air permukaan seperti sungai, danau, embung dsb.

Air tanah dan air permukaan merupakan sumber air yang mempunyai ketergantungan satu sama lain. Air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Salah satu sumber utamanya adalah air hujan yang meresap ke bawah lewat lubang pori diantara butiran tanah. Air yang berkumpul di bawah permukaan bumi disebut akuifer. Sumber air tanah berasal dari air yang ada di permukaan tanah (air hujan, danau dan sebagainya) kemudian meresap ke dalam tanah di daerah imbuhan (*recharge area*) dan mengalir melalui daerah lepasan (*discharge area*). Aliran air tanah di dalam tanah dari daerah imbuhan ke daerah lepasan cukup lambat, sampai ribuan tahun tergantung dari jarak dan jenis batuan yang dilalui.

Air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi yang berlangsung di alam serta terdapat dalam batuan yang berada di bawah permukaan tanah meliputi

keterdapatannya, penyebaran dan pergerakan air tanah dengan penekanan pada hubungannya terhadap kondisi geologi suatu daerah (*Danaryanto dkk, 2005*). Keberadaan air di dalam lapisan tanah saling berhubungan, sehingga eksploitasi yang berlebihan akan menghabiskan cadangan air tanah di bawah area zona cekungan tanah. Menurut UU No. 11 tahun 1974 tentang pengairan, cekungan air tanah adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologis seperti pengimbuhan, pengaliran dan pelepasan air tanah berlangsung.

Penggunaan air tanah semakin hari semakin meningkat, sehingga eksploitasi air tanah untuk pemenuhan kebutuhan manusia semakin besar. Bahkan akhir-akhir ini banyak budidaya pertanian yang tidak lagi menggunakan air permukaan (irigasi) melainkan menggunakan air tanah. Apabila hal ini dibiarkan terus menerus, akan mengakibatkan terjadinya defisit air tanah. Salah satu pertanda defisit air tanah adalah makin dalamnya muka air tanah. Apabila air tanah tidak dikelola dengan baik, maka akan menyebabkan terganggunya siklus hidrologi, sehingga berdampak pada ketidakseimbangan sumber daya air global, yang pada akhirnya akan merusak keberlanjutan (*sustainability*) alam semesta.

Penggunaan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air irigasi petani di Kecamatan Barombong Kabupaten Gowa, sudah mulai marak sejak awal tahun 1990-an, menyusul setelah beberapa tahun eksploitasi air tanah oleh petani di Kabupaten Takalar telah berlangsung. Langkah eksploitasi air tanah oleh petani di Kabupaten Gowa merupakan adopsi tindakan setelah mereka melihat keberhasilan petani di Kabupaten Takalar (kabupaten tetangga), yang telah berhasil

meningkatkan produksinya dengan memanfaatkan air tanah sejak awal 1980-an. Akibat penggunaan air tanah yang cukup besar untuk kebutuhan tanaman sekian tahun, lambat laun kondisi air tanah di Kecamatan Barombong tidak jauh berbeda dengan kondisi air tanah di Kabupaten Takalar.

Kasus defisit air tanah pada lokasi penelitian diakibatkan pula oleh karakteristik tanah permukaan (tanah sawah) yang bersifat *semi-permeable*. Jenis tanah yang ada di permukaan hingga kedalaman 1,00 sampai 1,50 meter merupakan endapan lempung (*clay*). Sedangkan pada kedalaman 1,50 hingga 4,00 meter merupakan endapan lanau berlempung (*silty-clay*) yang berbutir halus. Oleh karena lapisan tanah yang bersifat *semi-permeable* tersebut cukup tebal, maka volume air yang berinfiltrasi dan terperkolasi secara alamiah selama musim hujan, tidak mampu mengisi pori-pori di dalam tanah akibat pemompaan air tanah oleh petani pada musim kering.

Kondisi lapisan permukaan tanah yang *semi-permeable*, sehingga imbunan alami yang terjadi rendah, merupakan penyebab utama terjadinya defisit air tanah pada lahan petani di lokasi penelitian. Kenyataan semakin dalamnya muka air tanah dari tahun ke tahun dianggap sebagai gejala alam yang normal dan direspon dengan memperdalam sumur eksploitasinya. Hal semacam ini memberikan peringatan, bahwa pemberdayaan air tanah mendesak untuk diupayakan sebelum defisit air tanah semakin parah.

Berdasarkan kondisi di atas, maka dianggap perlu untuk melakukan penelitian tentang kemungkinan penerapan sistem pengimbuhan buatan air tanah dangkal dengan menggunakan bahan alami (bukan sintetis) yang tidak akan

berdampak terhadap pencemaran lingkungan. Teknik imbuhan buatan pada akuifer air tanah dangkal sudah banyak diterapkan selama ini, antara lain dengan sistem sumur resapan, komposter resapan dan biopori. Akan tetapi dalam penelitian ini bahan pengimbuhan menggunakan bahan alami (bambu). Selanjutnya kami tuangkan dalam sebuah karya tulis sebagai tugas akhir dengan judul **“Analisis Pengaruh Jumlah dan Formasi Titik Imbuhan pada Sistem Bambu Rongga Terhadap Efektivitas Imbuhan dengan *Top Soil Semi-Permeable* (Eksperimen Lapangan di Kabupaten Gowa)”**.

Penggunaan bambu sebagai alternatif alat pengimbuhan pada penelitian ini menjadi pilihan karena murah dan banyak ditemukan di lokasi penelitian. Selain itu pemasangan bambu juga mudah karena tidak memerlukan pengeboran cukup dengan pukulan menggunakan palu. Dan yang terpenting adalah bambu sebagai alat pengimbuhan yang masuk ke dalam tanah tidak akan menimbulkan efek pencemaran terhadap lingkungan (ramah lingkungan).

B. Rumusan Masalah

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

- 1) Bagaimana efektivitas bambu sebagai alat pengimbuhan pada *top soil* yang *semi-permeable*.
- 2) Bagaimana pengaruh jumlah titik imbuhan terhadap pengimbuhan buatan pada *top soil* yang *semi-permeable*.

- 3) Bagaimana pengaruh formasi titik imbuhan terhadap pengimbuhan buatan pada *top soil* yang *semi-permeable*.

C. Tujuan Penelitian

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

- 1) Mengetahui efektivitas bambu sebagai alat pengimbuhan pada *top soil* yang *semi-permeable*.
- 2) Mengetahui pengaruh jumlah titik imbuhan terhadap pengimbuhan buatan pada *top soil* yang *semi-permeable*.
- 3) Mengetahui pengaruh formasi titik imbuhan terhadap pengimbuhan buatan pada *top soil* yang *semi-permeable*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi bagaimana pengaruh bambu rongga terhadap efektivitas imbuhan pada *top soil* yang *semi-permeable*.
- 2) Dapat dijadikan rujukan dalam proses pengimbuhan buatan yang ramah lingkungan, sekaligus untuk memanfaatkan bambu sebagai bahan yang mudah diperoleh, praktis dan mudah dalam penerapannya.

- 3) Diharapkan dengan mudahnya melakukan pengimbuhan menggunakan bahan lokal (bambu) yang murah, mudah diperoleh dan mudah diterapkan, akan meningkatkan upaya konservasi air tanah oleh semua lapisan masyarakat.

E. Batasan Masalah

Oleh karena adanya berbagai keterbatasan yang dimiliki peneliti, namun tetap senantiasa berupaya agar tujuan penulisan ini mencapai sasaran yang diinginkan dan lebih terarah, maka perlu dijelaskan batasan-batasan masalah diantaranya sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini adalah penelitian pengembangan dalam bentuk eksperimen lapangan di tanah sawah Desa Moncobalang Dusun Biringala Kecamatan Barombong Kabupaten Gowa.
- 2) Penelitian ini menguji seberapa efektivitas bambu sebagai bahan pengimbuhan pada lapisan *top soil* yang *semi-permeable* (tanah sawah).
- 3) Jenis bambu yang digunakan adalah bambu lokal yang memiliki diameter seragam 5 cm yang dipasang pada beberapa formasi yang mengelilingi sumur uji dalam penerapan bambu rongga.
- 4) Panjang bambu rongga yang digunakan sebagai alat pengimbuhan diambil 1 meter, dengan maksud agar pengimbuhan melampaui batas lapisan permukaan *semi-permeable* yang mempunyai ketebalan antara 0,80-1,00 meter.

F. Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN, bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, bab ini berisi mengenai permasalahan yang akan menjadi bahan penelitian dalam penulisan tugas akhir. Dimana hal ini mencakup teori-teori dan formula yang akan digunakan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir. Adapun isi tinjauan pustaka dalam tugas akhir ini adalah siklus hidrologi, permeabilitas, kapilaritas, konservasi air tanah, pengimbuhan air tanah dan kerangka fikir penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, bab ini berisi tentang gambaran umum penelitian seperti lokasi penelitian, jenis penelitian, variabel penelitian, definisi operasional variabel, desain penelitian, instrumen penelitian, teknik pengumpulan data, analisis data dan bagan alir penelitian.

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN, bab ini berisi tentang hasil kajian dari judul penelitian akhir secara detail dan terperinci. Diantaranya analisa efektivitas bambu rongga sebagai pengimbuhan, pengaruh periode hujan terhadap fluktuasi muka air tanah, pengaruh periode hujan terhadap waktu *recovery* muka

air tanah dan pengaruh jumlah pengimbuh terhadap akumulasi penurunan dan kenaikan muka air tanah.

BAB V PENUTUP, bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran setelah melakukan penelitian tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Siklus Hidrologi

Ketersediaan air di daratan bumi tetap terjaga karena adanya hujan. Hujan adalah titik-titik air yang jatuh dari awan melalui lapisan atmosfer ke permukaan bumi. Hujan turun ke permukaan bumi selalu didahului dengan adanya pembentukan awan, karena adanya penggabungan uap air yang ada di atmosfer melalui proses kondensasi, maka terbentuklah butir-butir air yang bila lebih berat dari gravitasi akan jatuh berupa hujan. Hujan dapat terjadi karena adanya suatu mekanisme alam yang berlangsung secara siklus dan terus-menerus. Dalam pengaturan penyebaran air di daratan bumi ada mekanisme alam yang terjadi, inilah disebut dengan istilah siklus hidrologi atau siklus air. Pada prinsipnya, jumlah air tetap dan mengikuti suatu aliran yang dinamakan “siklus hidrologi”. Siklus Hidrologi adalah suatu proses yang berkaitan, dimana air diangkut dari lautan ke atmosfer, ke darat dan kembali lagi ke laut (Triatmodjo, B. 2008).

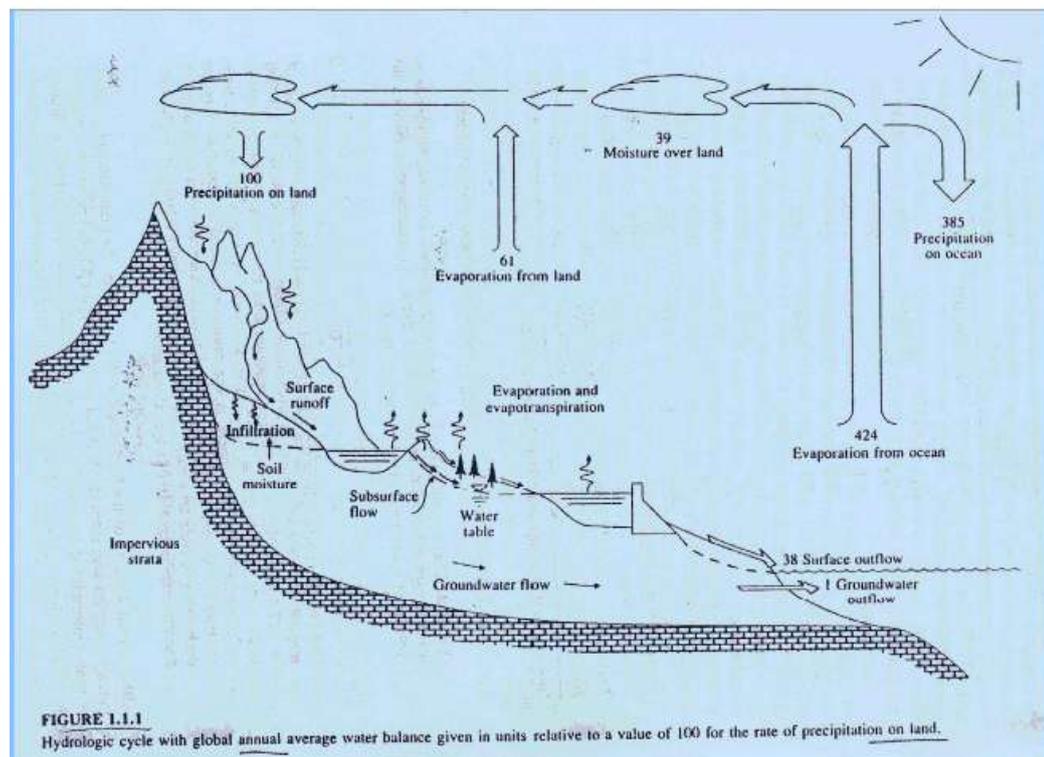
1. Elemen Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi menunjukkan gerakan air di permukaan bumi. Selama berlangsungnya siklus hidrologi, yaitu perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah habis, air akan tertahan (sementara) di sungai, danau/waduk, dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk lain (Asdak, C. 1995: 7).

Siklus hidrologi merupakan konsep dasar tentang keseimbangan air secara global di bumi. Siklus ini juga menunjukkan semua hal yang berhubungan dengan air (Kodoatie, RJ. 2005: 8). Dengan perkembangan suatu wilayah atau kawasan, terutama perkotaan, tidak dapat dihindari adanya pembangunan yang apabila tidak dilaksanakan secara terpadu dan menyeluruh (terintegrasi dan holistik) akan mempengaruhi proses-proses alami dalam siklus hidrologi yang akibatnya menyebabkan terganggunya keseimbangan hidrologi.

Melalui proses penguapan (evaporasi) di laut dan sebagian kecil di permukaan bumi, yaitu berupa penguapan dari tampungan air di sungai, waduk, permukaan tanah serta transpirasi dari tanaman. Proses penguapan dapat terjadi karena adanya pemanasan oleh matahari sebagai sinar energi bagi alam. Uap air yang terangkat ke atas atmosfer melalui proses kondensasi membentuk butiran awan. Butiran awan, akibat berbagai sebab klimatologi tertentu dapat membawa butiran awan tersebut ke atas daratan membentuk awan hujan (*rain cloud*). Tidak semua butiran awan hujan tersebut akan jatuh sampai di permukaan bumi sebagai hujan, ukuran butiran awan hujan yang tidak cukup berat untuk melawan gaya gesekan dan gaya tekan udara ke atas akan melayang dan diuapkan kembali menjadi awan. Bagian yang sampai di bumi dikatakan sebagai hujan (*precipitation*) yang sebagian akan tertahan oleh tanaman dan bangunan yang akan diuapkan kembali. Bagian ini merupakan air hujan yang tak terukur dan disebut intersepsi (*interception*). Bagian yang sampai di permukaan tanah akan mengalir sebagai limpasan permukaan (*over land flow*) menuju ke tampungan aliran berupa saluran atau sungai menuju laut. Sebelum sampai di saluran atau

sungai limpasan permukaan tersebut akan mengalami proses infiltrasi ke bawah permukaan tanah yang sebagian akan bergerak ke bawah merupakan air perkolasi menuju zona tampungan air tanah (*aquifer, ground water storage*) dan sebagian lagi bergerak mendatar di bawah permukaan tanah sebagai *sub surface flow* atau aliran antara (*inter flow*) menuju ke saluran, tampungan waduk, danau, sungai atau laut. Sering kali bagian yang melimpas menuju alur sungai disebut dengan aliran permukaan tanah (Triatmodjo, B. 2008).



Sumber: Triatmodjo, B.2008

Gambar 1. Siklus Hidrologi

Keterangan:

Komponen hidrologi terdiri atas 10 elemen (Asdak, C. 1995), antara lain:

- 1) Evaporasi

Siklus hidrologi diawali dengan terjadinya penguapan air yang ada di permukaan bumi. Air yang tertampung di badan air seperti danau, sungai, laut, sawah, bendungan atau waduk berubah menjadi uap air karena adanya panas matahari. Penguapan serupa juga terjadi pada air yang terdapat di permukaan tanah. Penguapan semacam ini disebut dengan istilah evaporasi. Evaporasi mengubah air berwujud cair menjadi air yang berwujud gas sehingga memungkinkan untuk naik ke atas atmosfer bumi. Semakin tinggi panas matahari (misalnya saat musim kemarau), jumlah air yang menjadi uap air dan naik ke atmosfer bumi juga akan semakin besar (Asdak, C. 1995).

2) Transpirasi

Penguapan air di permukaan bumi bukan hanya terjadi di badan air dan tanah. Penguapan air juga dapat berlangsung di jaringan makhluk hidup, seperti hewan dan tumbuhan. Penguapan semacam ini dikenal dengan istilah transpirasi. Sama seperti evaporasi, transpirasi juga mengubah air yang berwujud cair dalam jaringan makhluk hidup menjadi uap air dan membawanya naik ke atas menuju atmosfer. Akan tetapi, jumlah air yang menjadi uap melalui proses transpirasi umumnya jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah uap air yang dihasilkan melalui proses evaporasi (Asdak, C. 1995).

3) Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah penguapan air keseluruhan yang terjadi di seluruh permukaan bumi, baik yang terjadi pada badan air dan tanah, maupun pada jaringan makhluk hidup. Evapotranspirasi merupakan gabungan antara evaporasi dan transpirasi. Dalam siklus hidrologi, laju evapotranspirasi sangat

mempengaruhi jumlah uap air yang terangkut ke atas permukaan atmosfer (Asdak, C. 1995).

4) Sublimasi

Sublimasi adalah proses perubahan es di kutub atau di puncak 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 (Asdak, C. 1995).

5) Kondensasi

Ketika uap air yang dihasilkan melalui proses evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi dan proses sublimasi naik hingga mencapai suatu titik ketinggian tertentu, uap air tersebut akan berubah menjadi partikel-partikel es berukuran sangat kecil melalui proses kondensasi. Perubahan wujud uap air menjadi es tersebut terjadi karena pengaruh suhu udara yang sangat rendah di titik ketinggian tersebut. Partikel-partikel es yang terbentuk akan saling mendekati dan bersatu sama lain sehingga membentuk awan. Semakin banyak partikel es yang bergabung, awan yang terbentuk juga akan semakin tebal dan hitam (Asdak, C. 1995).

6) Adveksi

Awan yang terbentuk dari proses kondensasi selanjutnya akan mengalami adveksi. Adveksi adalah proses perpindahan awan dari satu titik ke titik lain dalam satu horizontal akibat arus angin atau perbedaan tekanan udara. Adveksi

memungkinkan awan akan menyebar dan berpindah dari atmosfer lautan menuju atmosfer daratan (Asdak, C. 1995).

7) Presipitasi

Awan yang mengalami adveksi selanjutnya akan mengalami proses presipitasi. Proses presipitasi adalah proses mencairnya awan akibat pengaruh suhu udara yang tinggi. Pada proses inilah hujan terjadi. Butiran-butiran air jatuh dan membasahi permukaan bumi. Apabila suhu udara di sekitar awan terlalu rendah hingga berkisar < 0 derajat Celcius, presipitasi memungkinkan terjadinya hujan salju. Awan yang mengandung banyak air akan turun ke *litosfer* dalam bentuk butiran salju tipis seperti yang dapat kita temui di daerah beriklim sub tropis (Asdak, C. 1995).

8) *Run Off*

Setelah presipitasi terjadi sehingga air hujan jatuh ke permukaan bumi, proses *run off* pun terjadi. *Run off* atau limpasan adalah suatu proses pergerakan air dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah di permukaan bumi. Pergerakan air tersebut misalnya terjadi melalui saluran-saluran seperti saluran got, sungai, danau, muara, laut, hingga samudera. Dalam proses ini, air yang telah melalui siklus hidrologi akan kembali menuju lapisan hidrosfir (Asdak, C. 1995).

9) Infiltrasi

Tidak semua air hujan yang terbentuk setelah proses presipitasi akan mengalir di permukaan bumi melalui proses *run off*. Sebagian kecil diantaranya akan bergerak ke dalam pori-pori tanah, merembes, dan terakumulasi menjadi air tanah. Proses pergerakan air ke dalam pori tanah ini disebut proses infiltrasi.

Proses infiltrasi akan secara lambat membawa air tanah kembali ke laut. Setelah melalui proses *run off* dan infiltrasi, air yang telah mengalami siklus hidrologi tersebut akan kembali berkumpul di lautan. Air tersebut secara berangsur-angsur akan kembali mengalami siklus hidrologi selanjutnya dengan diawali oleh proses evaporasi (Asdak, C. 1995).

10) Perkolasi

Setelah keadaan jenuh pada lapisan tanah bagian atas terlampaui, sebagian dari air tersebut mengalir ke tanah yang lebih dalam sebagai akibat gaya gravitasi bumi dan dikenal sebagai proses Perkolasi (Asdak, C. 1995).

2. Peranan Air Tanah dalam Siklus Hidrologi

Terdapat beberapa macam air yang terdapat di bumi (Sutandi, MC. 2012:3) sebagai berikut:

- 1) Air permukaan adalah air yang berada di atas permukaan tanah dan air ini biasanya terlihat langsung, seperti air sungai, air laut dan air danau. Air permukaan dapat kita bagi lagi berdasarkan daerahnya, antara lain:
 - (a) Air yang berada di daerah daratan, air selokan, air sumur permukaan, air sungai, air danau dan air yang berada di rawa.
 - (b) Air yang berada di daerah laut, yang kita kenal dengan air laut.
- 2) Air tanah adalah air yang berada dalam tanah. Air tanah ini dapat kita bagi menjadi tiga jenis:
 - (a) Air tanah *freatis* adalah air yang terletak tidak jauh dari permukaan tanah serta berada di atas lapisan kedap air (*impermeable*).

(b) Air tanah *artesis* adalah air tanah yang letaknya jauh di dalam tanah.

(c) Air *meteorik*, yaitu air tanah berasal dari hujan dan pencapaian salju.

Air hujan sebagian besar akan mengalir di permukaan sebagai air permukaan seperti sungai, danau atau rawa. Sebagian kecil akan meresap ke dalam tanah, bila meresap terus hingga zona jenuh akan menjadi air tanah. Bagian yang meresap dekat permukaan akan diuapkan kembali lewat tanaman yang kita kenal dengan istilah evapotranspirasi. Penguapan evaporasi terjadi langsung pada tubuh air yang terbuka. Sedangkan aliran permukaan akan bermuara kembali ke laut dan proses hidrogeologis di atas akan berlangsung lagi, demikian seterusnya. Air bawah tanah atau sering disangka air tanah adalah air yang terdapat pada ruang antar butir batuan atau celah-celah batuan. Letak air tanah dapat mencapai beberapa puluh bahkan beberapa ratus meter di bawah permukaan bumi. Lapisan batuan ada yang lolos air atau biasa disebut *permeable* dan ada pula yang tidak lolos atau kedap air yang biasa disebut *impermeable*. Lapisan lolos air misalnya terdiri dari kerikil, pasir, batu apung, dan batuan yang retak-retak, sedangkan lapisan kedap air antara lain terdiri dari napal dan tanah liat atau tanah lempung. Sebetulnya tanah lempung dapat menyerap air, namun setelah jenuh air, tanah jenis ini tidak dapat lagi menyerap air (Sutandi, MC. 2012:3).

B. Permeabilitas

Permeabilitas adalah tanah yang dapat menunjukkan kemampuan meloloskan air. Tanah dengan permeabilitas tinggi dapat meningkatkan laju infiltrasi dan mengurangi laju aliran air permukaan (Hardiyatmo, HC. 2012).

1. Pengertian Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan tinggi energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan). Walaupun secara teoritis, semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, dalam praktek, istilah meloloskan air (*permeable*) dimaksudkan untuk tanah yang benar-benar mempunyai sifat meloloskan diri. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

2. Proses Rembesan Air Tanah

Koefisien rembesan mempunyai satuan yang sama dengan kecepatan. Istilah koefisien rembesan sebagian besar digunakan oleh para ahli teknik tanah. Para ahli menyebutkan sebagai konduktivitas hidrolis. Bila mana satuan Inggris digunakan, koefisien rembesan dinyatakan dalam ft/menit atau ft/hari, dan total

volume dalam ft^3 . Dalam satuan SI, koefisien rembesan dinyatakan dalam cm/detik , dan total volume dalam cm^3 (Das, Braja M. 1994).

Koefisien rembesan tanah tergantung pada beberapa faktor, yaitu: kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah, dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung, struktur tanah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung menentukan koefisien rembesan (Das, Braja M. 1994). Harga koefisien rembesan untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Koefisien tanah

Jenis Tanah	K	
	cm/dt	ft/menit
Kerikil besar	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,001	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. 1994

Koefisien rembesan tanah yang tidak jenuh air adalah rendah, harga tersebut akan bertambah secara cepat dengan bertambahnya derajat kejenuhan tanah yang bersangkutan (Das, Braja M. 1994).

Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada berbagai faktor. Faktor utama yang memengaruhi koefisien permeabilitas tanah menurut Hukum Darcy (Hardiyatmo, HC 2012: 155), antara lain:

- 1) Viskositas cairan adalah bentuk cairan yang berdifusi ke dalam tanah. Semakin tinggi viskositasnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin kecil.
- 2) 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.
- 3) Distribusi ukuran pori yaitu semakin merata distribusi ukuran porinya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
- 4) Rasio kekosongan (*void ratio*), adalah sebuah parameter yang menunjukkan kualitas unsur hara yang terdapat di dalam tanah. Semakin besar rasio kekosongannya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin besar.
- 5) Kekasaran partikel mineral, adalah perombakan bahan-bahan batuan dan bahan organik yang terdapat di permukaan bumi maka semakin kasar partikel mineralnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.
- 6) Derajat kejenuhan tanah, adalah perbandingan antara volume air batas konsistensi tanah atau yang biasa disebut *atterberg limit* maka semakin jenuh tanahnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

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

1) Tekstur tanah

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

2) Struktur tanah

Struktur tanah adalah agregat butiran primer menjadi butiran sekunder yang dipisahkan oleh bidang belah alami. Tanah yang mempunyai struktur mantap maka permeabilitasnya rendah, karena mempunyai pori-pori yang kecil. Sedangkan tanah yang berstruktur lemah mempunyai pori besar sehingga permeabilitasnya tinggi.

3) Porositas

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

4) Viskositas cairan

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

5) Gravitasi

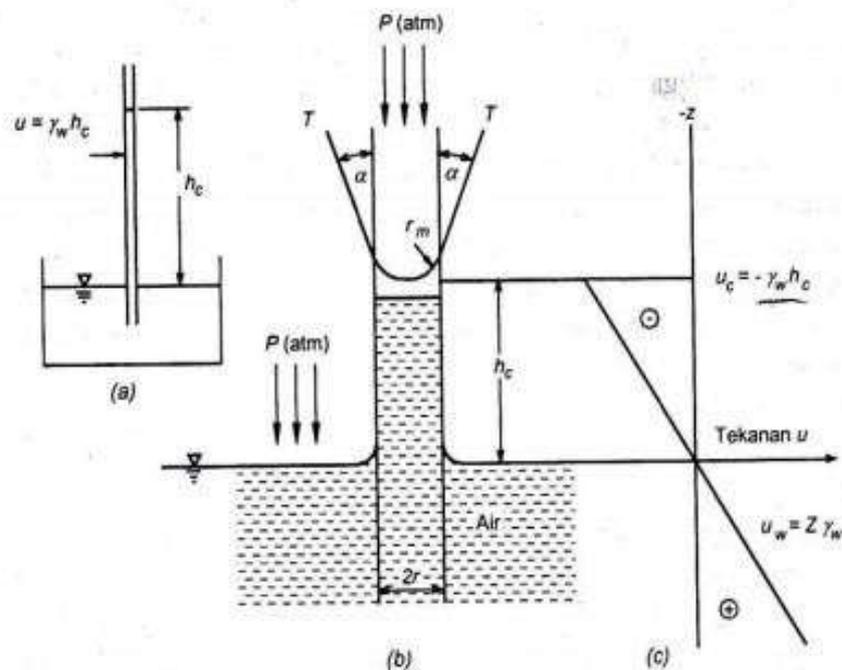
Gaya gravitasi berpengaruh pada kemampuan tanah untuk mengikat air. Semakin kuat gaya gravitasinya, maka permeabilitasnya semakin tinggi.

C. Kapilaritas

1. Tekanan Kapiler

Tekanan kapiler (P_c) didefinisikan sebagai perbedaan tekanan yang ada antara permukaan dua fluida yang tidak tercampur (cairan-cairan atau cairan-gas) sebagai akibat dari terjadinya pertemuan permukaan yang memisahkan mereka. Tekanan kapiler dapat timbul karena adanya tarikan lapisan tipis permukaan air sebelah atas. Kejadian ini disebabkan oleh adanya pertemuan antara dua jenis material yang berbeda sifatnya. Pada prinsipnya, tarikan permukaan adalah hasil perbedaan gaya tarik antara molekul-molekul pada bidang singgung pertemuan dua material yang berbeda sifatnya (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

Kejadian tarikan permukaan dapat dilihat dari percobaan laboratorium pada pipa kapiler yang dicelupkan dalam bejana berisi air. Ketinggian air dalam pipa kapiler akan lebih tinggi dari pada tinggi air dalam bejana (Gambar 2). Permukaan air dalam cairan membentuk sudut α terhadap dinding pipa. Tekanan pada permukaan air dalam pipa dan tekanan pada permukaan air pada bejana akan sama dengan tekanan atmosfer. Tidak adanya gaya luar yang mencegah air dalam pipa dalam kedudukannya menunjukkan bahwa suatu gaya tarik bekerja pada lapisan tipis permukaan air dalam pipa kapiler (Hardiyatmo, HC 2012: 155).



Gambar 2. Analogi Air Kapiler dalam Lapisan Tanah dan Kedudukannya (Holtz & Kovacs, 1981)

Akibat tekanan kapiler, air tanah tertarik ke atas melebihi permukaannya dan mengisi ruang (pori) diantara butiran tanah. Pori-pori tanah sebenarnya bukan sistem pipa kapiler, tapi teori kapiler dapat diterapkan guna mempelajari kelakuan air tanah pada zone kapiler. Air dalam zone kapiler ini dapat dianggap bertekanan negative, yaitu mempunyai tekanan di bawah tekanan atmosfer (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

Diagram kapilaritas suatu lapisan tanah, dapat dilihat pada gambar 2. Tinggi $h_{c(\min)}$ dipengaruhi oleh ukuran maksimum pori-pori tanah (Hardiyatmo, HC 2012: 155). Di dalam batas antara $h_{c(\min)}$ dan $h_{c(\mak)}$, tanah dapat bersifat jenuh sebagian (*partially saturated*). Terzhahi dan Peck (1948) menyarankan hubungan pendekatan antara $h_{c(\mak)}$ dan diameter butiran, sebagai berikut:

$$hc = \frac{C}{eD_{10}} \text{ (mm)}$$

dengan C adalah konstanta yang bergantung pada bentuk butiran dan sudut kontak (C bervariasi diantara 10-50 mm²), sedang D₁₀ adalah diameter efektif yang dinyatakan dalam milimeter. Hansbo (1975) menyarankan tinggi air kapiler untuk berbagai macam tanah seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.

Pengaruh tekanan kapiler pada tanah adalah menambah tegangan efektif. Jika tekanan kapiler membesar, maka tegangan kontak diantara partikel membesar pula (Hansbo 1975). Akibatnya, ketahanan tanah terhadap geser atau kuat geser tanah bertambah.

Tabel 2. Ketinggian air kapiler (Hansbo, 1975)

Macam Tanah	Kondisi Longgar	Kondisi padat
Pasir kasar	0,03-0,12 m	0,04-0,15 m
Pasir sedang	0,12-0,50 m	0,35-1,10 m
Pasir halus	0,30-2,00 m	0,40-3,50 m
Lanau	1,50-10,0 m	2,50-12,0 m
Lempung		>10 m

2. Hubungan Tekstur Tanah dan Laju Infiltrasi

Tekstur tanah yang berbeda mempunyai kemampuan menahan air yang berbeda pula. Tanah bertekstur halus, contohnya: tanah bertekstur liat, memiliki ruang pori halus yang lebih banyak, sehingga berkemampuan menahan air lebih banyak. Sedangkan tanah bertekstur kasar, contohnya: tanah bertekstur pasir,

memiliki ruang pori halus lebih sedikit, sehingga kemampuan menahan air lebih sedikit pula (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

Menurut Hardjowigeno (1992) bahwa air terdapat dalam tanah karena ditahan (diserap) oleh massa tanah, tertahan oleh lapisan kedap air, atau karena keadaan drainase yang kurang baik. Air dapat meresap atau ditahan oleh tanah karena adanya gaya-gaya adhesi, kohesi, dan gravitasi. Karena adanya gaya-gaya tersebut maka air dalam tanah dapat dibedakan menjadi:

- 1) Air hidroskopik, adalah air yang diserap tanah sangat kuat sehingga tidak dapat digunakan tanaman, kondisi ini terjadi karena adanya gaya adhesi antara tanah dengan air. Air hidroskopik merupakan selimut air pada permukaan butir-butir tanah.
- 2) Air kapiler, adalah air dalam tanah dimana daya kohesi (gaya tarik menarik antara sesama butir-butir air) dan daya adhesi (antara air dan tanah) lebih kuat dari gravitasi. Air ini dapat bergerak secara horisontal (ke samping) atau vertikal (ke atas) karena gaya-gaya kapiler. Sebagian besar dari air kapiler merupakan air yang tersedia (dapat diserap) bagi tanaman.

Banyaknya kandungan air dalam tanah berhubungan erat dengan besarnya tegangan air (*moisture tension*) dalam tanah tersebut. Besarnya tegangan air menunjukkan besarnya tenaga yang diperlukan untuk menahan air tersebut di dalam tanah. Tegangan diukur dalam bar atau atmosfer atau cm air atau logaritma dari cm air yang disebut pF. Satuan bar dan atmosfer sering dianggap sama karena $1 \text{ atm} = 1,0127 \text{ bar}$ (Hardjowigeno 1992).

Kemampuan tanah menahan air dipengaruhi antara lain oleh tekstur tanah. Tanah-tanah bertekstur kasar mempunyai daya menahan air lebih kecil daripada tanah bertekstur halus (Hardjowigeno, 1992). Ketersediaan air dalam tanah dipengaruhi beberapa faktor antara lain :

- (a) Banyaknya curah hujan atau air irigasi;
- (b) Kemampuan tanah menahan air;
- (c) Besarnya evapotranspirasi (penguapan langsung melalui tanah melalui vegetasi);
- (d) Tingginya muka air tanah;
- (e) Kadar bahan organik tanah;
- (f) Senyawa kimiawi atau kandungan garam-garam;
- (g) Kedalaman lapisan tanah.

Jadi banyaknya air yang dapat diikat oleh tanah tergantung kepada tekstur, struktur dan kandungan bahan organik. Terikatnya air di dalam pori-pori dan agregat tanah dapat terjadi karenan adanya gaya kohesi (daya ikat antar molekul air) dan gaya adhesi (daya ikat antara molekul air dan partikel tanah). Daya ikat tanah terhadap air dinyatakan dengan istilah pF. Harga pF adalah logaritma dari tinggi pipa air dalam cm yang ditahan oleh tanah. Harga pF berkisar antara 0 pada tanah jenuh dan 7 pada tanah kering (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

Gerakan air kapiler yaitu proses pengisian lengas tanah yang berasal dari tanah bagian bawahnya. Gerakan ini dapat berupa hubungan langsung dengan air tanah (groundwater) atau gerakan kapiler adalah karena adanya pembentukan tekanan pF akibat penguapan dan absorpsi air oleh tanaman dan apabila tidak ada

penambahan air oleh hujan atau irigasi maka lapisan tanah bagian atas kandunga airnya lebih kecil dari kandungan air dibawahnya sehingga terdapat perbedaan tekanan. Pergerakan air kapiler terjadi dari lapisan tanah yang mempunyai pF rendah ke lapisan tanah yang mempunyai pF tinggi (Hardiyatmo, HC 2012: 155).

D. Konservasi Air Tanah

Terminologi konservasi air tanah menurut Danaryanto, *et al.* (2005) adalah “upaya melindungi dan memelihara keberadaan, kondisi dan lingkungan air tanah guna mempertahankan kelestarian dan kesinambungan ketersediaan dalam kuantitas dan kualitas yang memadai, demi kelangsungan fungsi dan kemanfaatan untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik waktu sekarang maupun pada generasi yang akan datang”. Adapun penghematan air tanah sebagai upaya konservasi air tanah menurut Permen ESDM No. 15 Tahun 2012, “ditujukan untuk menjaga kelangsungan keberadaan, daya dukung, dan fungsi air tanah”.

Urgensi tindakan dan upaya konservasi air tanah, secara konstitusi dijamin oleh negara. Dalam hal ini landasan hukum konservasi air tanah terdapat pada Undang-undang No. 37 Tahun 2014 Tentang Konservasi Tanah dan Air, bahwa “Konservasi Tanah dan Air adalah upaya perlindungan, pemulihan, peningkatan, dan pemeliharaan fungsi tanah pada lahan sesuai dengan kemampuan dan peruntukan lahan untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan dan kehidupan yang lestari”. Untuk pelaksanaan konservasi tanah dan air, dalam pasal-2 UU tersebut ditegaskan pada beberapa azas, yakni ; (a) partisipatif; (b)

keterpaduan; (c) keseimbangan; (d) keadilan; (e) kemanfaatan; (f) kearifan lokal; dan (g) kelestarian.

Konservasi air dan tanah ditujukan untuk menjaga kelangsungan keberadaan, daya dukung, dan fungsi air tanah yang lestari, daripada lahan yang ada. Hal ini dapat dilihat pada pasal-3 pada Undang-undang No. 37 Tahun 2014 yang menegaskan bahwa penyelenggaraan konservasi tanah dan air bertujuan:

- (a) Melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan yang jatuh, meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah, dan mencegah terjadinya konsentrasi aliran permukaan;
- (b) Menjamin fungsi tanah pada lahan agar mendukung kehidupan masyarakat;
- (c) Mengoptimalkan fungsi tanah pada lahan untuk mewujudkan manfaat ekonomi, sosial dan lingkungan hidup secara seimbang dan lestari;
- (d) Meningkatkan daya dukung DAS;
- (e) Meningkatkan kemampuan untuk mengembangkan kapasitas dan memberdayakan keikutsertaan masyarakat secara partisipatif; dan
- (f) Menjamin kemanfaatan konservasi tanah dan air secara adil dan merata untuk kepentingan masyarakat.

Pelaksanaan konservasi air tanah tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan volume air tanah, akan tetapi juga dimaksudkan untuk meningkatkan konservasi air permukaan. Konservasi air tanah adalah suatu usaha bersama dalam mengelola dan memanfaatkan sumber air tanah tanpa melampaui kapasitasnya, untuk menghasilkan keuntungan ekonomi yang rasional, dan dipergunakan dalam menunjang kesejahteraan hidup masyarakat secara wajar,

dengan mempertimbangkan terpenuhinya keperluan generasi yang datang terhadap sumber air yang berada di bawah permukaan tanah. (Darwis, 2015).

Menurut Fatrurrohman (2013), bahwa pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang berusaha memahami kebutuhan dan aspirasi generasi saat ini tanpa mengorbankan kepentingan generasi-generasi yang akan datang. Oleh karena itu pembangunan berkelanjutan harus dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip sebagai berikut :

- 1) Menempatkan aspek lingkungan sedini mungkin pada saat ada pembangunan.
- 2) Pada setiap tahap pembangunan lingkungan menjadi pertimbangan utama.
- 3) Menerapkan konsep efisiensi dan konservasi dalam penggunaan sumber daya alam.

E. Efektivitas Pengimbuhan Air Tanah

1. Pengertian Efektivitas

Efektivitas memiliki arti berhasil atau tepat guna. Efektif merupakan kata dasar, sementara kata sifat dari efektif adalah efektivitas. Menurut Effendy, S (1989) mendefinisikan efektivitas sebagai, “Komunikasi yang prosesnya mencapai tujuan yang direncanakan sesuai dengan biaya yang dianggarkan, waktu yang ditetapkan dan jumlah personil yang ditentukan”. Efektivitas menurut pengertian di atas mengartikan bahwa indikator efektivitas dalam arti tercapainya sasaran atau tujuan yang telah ditentukan sebelumnya merupakan sebuah pengukur dimana suatu target sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

Pengertian lain menurut Susanto Astrid S (1975), “Efektivitas merupakan daya pesan untuk mempengaruhi “. Menurut pengertian Susanto, efektivitas bisa diartikan sebagai suatu pengukuran akan tercapainya tujuan yang telah direncanakan sebelumnya.

Menurut pendapat Mahmudi (2005) dalam bukunya *Manajemen Kinerja Sektor Publik* mendefinisikan efektivitas sebagai hubungan antara *output* dengan tujuan, semakin besar kontribusi (sumbangan) output terhadap pencapaian tujuan maka semakin efektif program atau kegiatan. Efektivitas berfokus pada outcome (hasil), program, atau kegiatan yang dinilai efektif apabila output yang dihasilkan dapat memenuhi tujuan yang diharapkan. Untuk lebih jelas dapat dilihat mengenai hubungan arti efektivitas di bawah ini.

$$Efektivitas = \frac{OUTCOME}{OUTPUT}$$

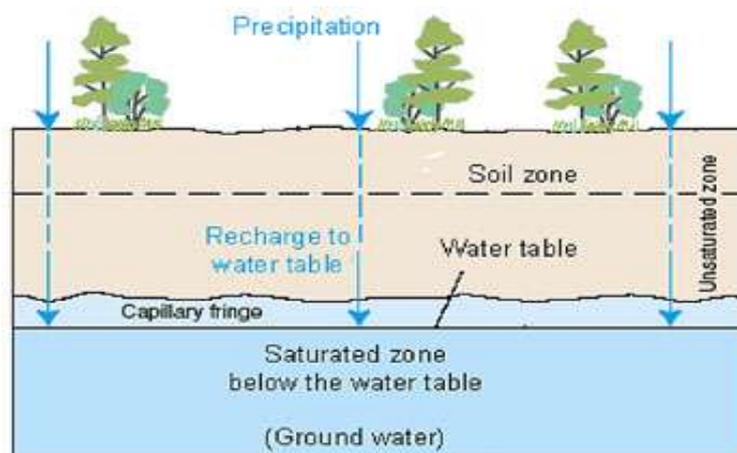
Sehubungan dengan hal tersebut, maka efektivitas adalah penggambaran seluruh siklus input, proses dan output yang mengacu pada hasil guna dari suatu program atau kegiatan yang mengatakan sejauh mana tujuan (kualitas, kuantitas dan waktu) telah dicapai, serta ukuran berhasil tidaknya suatu pencapaian tujuan dan target. Hal ini berarti, bahwa pengertian efektivitas yang dipentingkan adalah semata-mata hasil atau tujuan yang dikehendaki. Pandangan yang sama menurut pendapat Peter F. Drucker yang dikutip H.A.S Moenir dalam bukunya *Manajemen Pelayanan Umum di Indonesia* yang mendefinisikan efektivitas, pada sisi lain, menjadi kemampuan untuk memilih sasaran hasil sesuatu. Memperhatikan pendapat para ahli di atas, bahwa konsep efektivitas merupakan suatu konsep yang bersifat multidimensional, artinya dalam mendefinisikan efektivitas berbeda-beda

sesuai dengan dasar ilmu yang dimiliki walaupun tujuan akhir dari efektivitas adalah pencapaian tujuan.

2. Pengimbuhan Air Tanah

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya bahwa air yang disebut dengan air tanah adalah semua air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Keberadaan air tanah di dalam lapisan tanah tidak terlepas dari adanya proses infiltrasi dari air permukaan, baik air hujan ataupun air yang terdapat pada berbagai reservoir permukaan seperti sungai, danau, embung, bendung dan lain sebagainya. Air dari permukaan tanah berinfiltrasi ke dalam lapisan tanah untuk mengisi pori-pori tanah yang tak jenuh, akibat gaya gravitasi bumi (Asdak, C. 1995).

Proses pengimbuhan air tanah secara alami dapat di ilustrasikan pada gambar di bawah ini :



Sumber : Davie Tim (2008)

Gambar 3. Proses Pengimbuhan Alami

Jenis air tanah tergantung ekistensi dan letaknya secara umum dapat di kategorikan atas dua jenis, yaitu air tanah dangkal adalah air tanah yang berada dekat permukaan tanah; dan air tanah dalam adalah air tanah yang letaknya jauh di bawah permukaan tanah (Davie Tim, 2008).

Apabila ditinjau dari sifatnya terhadap air batuan menurut Danaryanto et al. (2005), lapisan tanah/batuan dapat dibedakan atas :

1) Akuifer (aquifer)

Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* baik yang terkonsolidasi (lempung) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir) dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (k) sehingga dapat membawa air (atau air dapat diambil) dalam jumlah (kuantitas) yang ekonomis. Pasir dan kerikil merupakan contoh suatu jenis akuifer. Keberadaan lapisan akuifer ini sangat penting dalam usaha penyadapan air tanah.

2) Aquiclude (lapisan kedap air)

Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang kedap (*impermeable*) dengan nilai konduktivitas hidraulik yang sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air untuk melewatinya. Dapat dikatakan pula bahwa aquiclude merupakan lapisan pembatas atas dan pembatas bawah suatu *confined aquif*. Lempung padat adalah salah satu jenis dari *aquiclude*.

3) Aquitard (semi impervious layer)

Suatu lapisan, formasi, atau kelompok satuan geologi yang *permeable* dengan nilai konduktivitas hidraulik yang kecil namun masih memungkinkan air

melewati lapisan ini walaupun dengan gerakan yang sangat lambat. Dapat dikatakan pula bahwa aquitard ini merupakan lapisan pembatas atas dan pembatas bawah suatu *semi confined aquifer*. Salah satu jenis lapisan aquitard adalah lempung pasir.

4) Aquifug

Suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang relatif kedap air, yang tidak mengandung ataupun tidak dapat mengalirkan air (air sama sekali tidak dapat melewatinya). Contoh lapisan aquifug adalah jenis batuan granit.

Menurut Sophocleous et al., (2010), aliran air tanah di dalam akuifer dapat dibedakan dalam aliran akuifer tertekan (*confined aquifer*), dan aliran akuifer tak tertekan (*unconfined aquifer*).

1) Aquifer tertekan (*confined aquifer*)

Merupakan lapisan rembesan air yang berisi kandungan air tanah yang bertekanan lebih besar dari tekanan udara bebas/tekanan atmosfer, karena bagian bawah dan atas dari akuifer ini tersusun dari lapisan kedap air (*impermeable layers*). Muka air tanah dalam kedudukan ini disebut pisometri, yang dapat berada di atas maupun di bawah muka air tanah. Apabila tinggi pisometri berada di atas muka air tanah, maka air sumur yang menyadap akuifer jenis ini akan mengalir secara bebas. Air tanah dalam kondisi demikian disebut artesis atau artesis. Dilihat dari kelulusan lapisan pengurungnya akuifer tertekan dapat dibedakan

menjadi akuifer setengah tertekan (*semi-confined aquifer*) atau tertekan penuh (*confined aquifer*) dan dapat pula disebut akuifer dalam.

2) *Aquifer tak tertekan/bebas (unconfined aquifer)*

Merupakan lapisan rembesan air yang mempunyai lapisan dasar kedap air, tetapi bagian atas muka air tanah lapisan ini tidak kedap air, sehingga kandungan air tanah yang bertekanan sama dengan tekanan udara bebas/atmosfir. Ciri khusus dari akuifer bebas ini adalah muka air tanah yang sekaligus juga merupakan batas atas dari zona jenuh akuifer tersebut, sering disebut pula dengan akuifer dangkal.

F. Kerangka Pikir

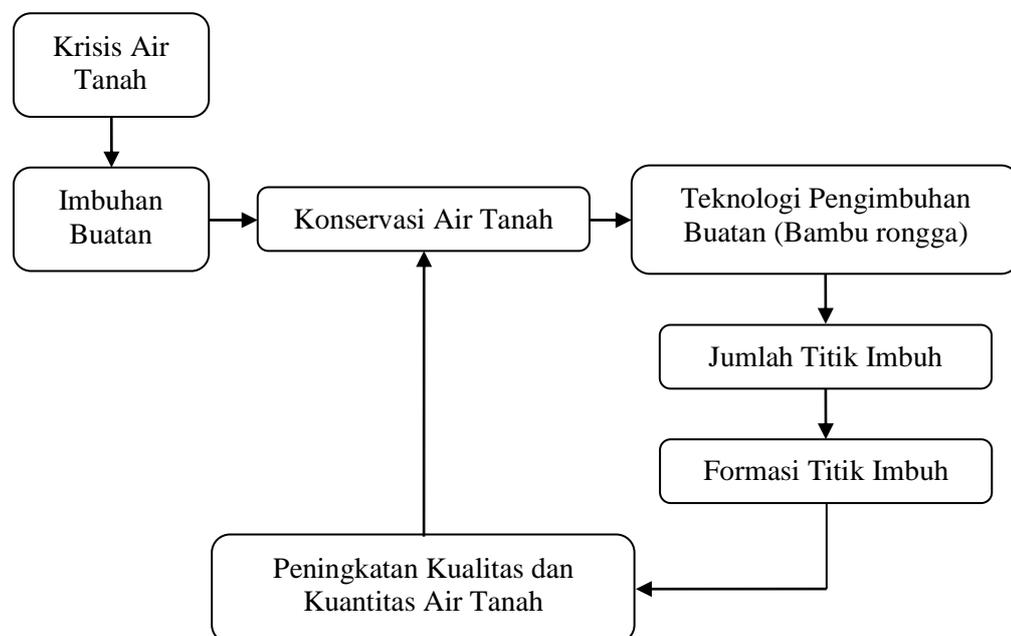
Krisis air tanah telah melanda dunia secara global. Hal ini disebabkan karena menurunnya kapasitas resapan permukaan tanah, baik akibat penutupan permukaan oleh berbagai macam bangunan dan fasilitas infrastruktur, maupun akibat menipisnya vegetasi di permukaan tanah. Di samping itu eksploitasi air tanah untuk berbagai keperluan kehidupan umat manusia telah memberi kontribusi besar terhadap terjadinya krisis air tanah.

Upaya penyelamatan air tanah telah diupayakan oleh berbagai pihak, baik yang berskala global maupun upaya yang bersifat nasional dan regional. Pemerintah Indonesia baik pusat maupun daerah telah mengeluarkan beberapa regulasi tentang pemanfaatan sumber daya air tanah secara hemat dan terkendali. Salah satu regulasi yang bersifat spesifik adalah Peraturan Menteri ESDM No. 15 Tahun 2012 tentang Penghematan Penggunaan Air Tanah. Dalam peraturan

tersebut ditekankan berbagai hal tentang upaya penghematan penggunaan air tanah, yang mana peran penggunaan dan pengendalian berada di pihak pemerintah, sementara peran pengawas penggunaan air tanah terbuka untuk masyarakat umum, bahkan peran penindakan terhadap pelanggaran peraturan tersebut dapat dilakukan oleh penegak hukum.

Penggunaan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air irigasi petani di Kecamatan Barombong Kabupaten Gowa, sudah mulai marak sejak awal tahun 1990-an, menyusul setelah beberapa tahun eksploitasi air tanah oleh petani di Kabupaten Takalar telah berlangsung. Akibat penggunaan air tanah yang cukup besar untuk kebutuhan tanaman mereka sekian tahun, lambat laun kondisi air tanah di Kecamatan Barombong tidak jauh berbeda dengan kondisi air tanah di Kabupaten Takalar.

Berdasarkan alur pemikiran dan kondisi yang terjadi, maka skema kerangka pikir penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Skema Kerangka Pikir

Skema di atas menunjukkan bahwa pada kondisi krisis air tanah diperlukan penanganan serius berupa konservasi air tanah. Langkah yang dapat diambil adalah dengan mengandalkan teknologi pengimbuhan buatan. Teknologi pengimbuhan buatan digunakan selain upaya menjaga kesinambungan eksistensi air tanah juga dapat menghindari pencemaran lingkungan karena tidak menggunakan alat pengimbuhan dari bahan sintesis.

Tindakan konservasi air tanah adalah upaya untuk meningkatkan volume air tanah dan air permukaan. Konservasi air tanah merupakan salah satu bentuk kegiatan pengelolaan air tanah, yang dapat dilakukan untuk memperbesar pengisian air tanah di daerah imbuhan sekaligus mengurangi permasalahan lingkungan di daerah tersebut. Olehnya perlu untuk menjamin kelestarian dan keberlanjutan air tanah sebagai salah satu sumber alam yang dominan untuk memenuhi kehidupan makhluk hidup di bumi.

Keberadaan air tanah di dalam lapisan tanah tidak terlepas dari proses pengimbuhan dari air permukaan. Proses pengimbuhan juga ditentukan oleh kemampuan tanah untuk meloloskan air. Untuk mendukung proses tersebut maka dibutuhkan teknologi konservasi air tanah yang sesuai dengan kondisi tanah. Tentunya dengan akurasi pemilihan konservasi mampu meminimalisir krisis air tanah dan meningkatkan kualitas dan kuantitas air tanah.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di tanah sawah warga Desa Moncobalang Dusun Biringala Kecamatan Bontonompo Kabupaten Gowa, dimana petani sawah dan palawija di wilayah tersebut menggunakan air tanah sebagai air irigasi pada musim kemarau.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan September 2017 sampai Desember 2017. Ada tiga tahapan yang dilakukan selama kurun waktu 4 bulan yakni pembuatan sumur, pemasangan alat pengimbuah dan pengukuran kenaikan muka air tanah.

B. Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian pengembangan (*Research and Development*) dalam bentuk eksperimen lapangan (*field experimental*), yang akan menguji coba dan mengembangkan alternatif penggunaan bambu rongga sebagai alat pengimbuahan untuk upaya konservasi air tanah dangkal di tanah sawah milik petani.

C. Variabel Penelitian

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

Pada penelitian ini telah ditentukan 2 (dua) variabel, yaitu variabel bebas (*independent 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:

- 1) Jumlah titik imbu
- 2) Formasi titik imbu

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 “Imbuhan air tanah” dengan indikator kenaikan muka air tanah dalam sumur uji.

D. Defenisi Operasional Variabel

Berdasarkan rumusan variabel penelitian, penyusun mengemukakan definisi operasional yang akan menjadi rujukan di dalam pelaksanaan penelitian ini, yaitu:

- 1) Imbuan air tanah adalah volume air tanah yang mengisi akuifer. Volume imbuan diukur dengan kenaikan muka air tanah dalam sumur uji yang diamati setiap terjadi proses pengimbuhan.
- 2) Jumlah titik imbuh “bambu rongga” adalah banyaknya pengimbuhan yang dipasang pada satu formasi yang mengelilingi sumur uji dalam penerapan “bambu rongga”.
- 3) Formasi titik imbuh “bambu rongga” adalah bentuk susunan pengimbuhan yang dipasang mengelilingi sumur uji penerapan “bambu rongga”, yang ditentukan dengan jumlah baris pengimbuhan.

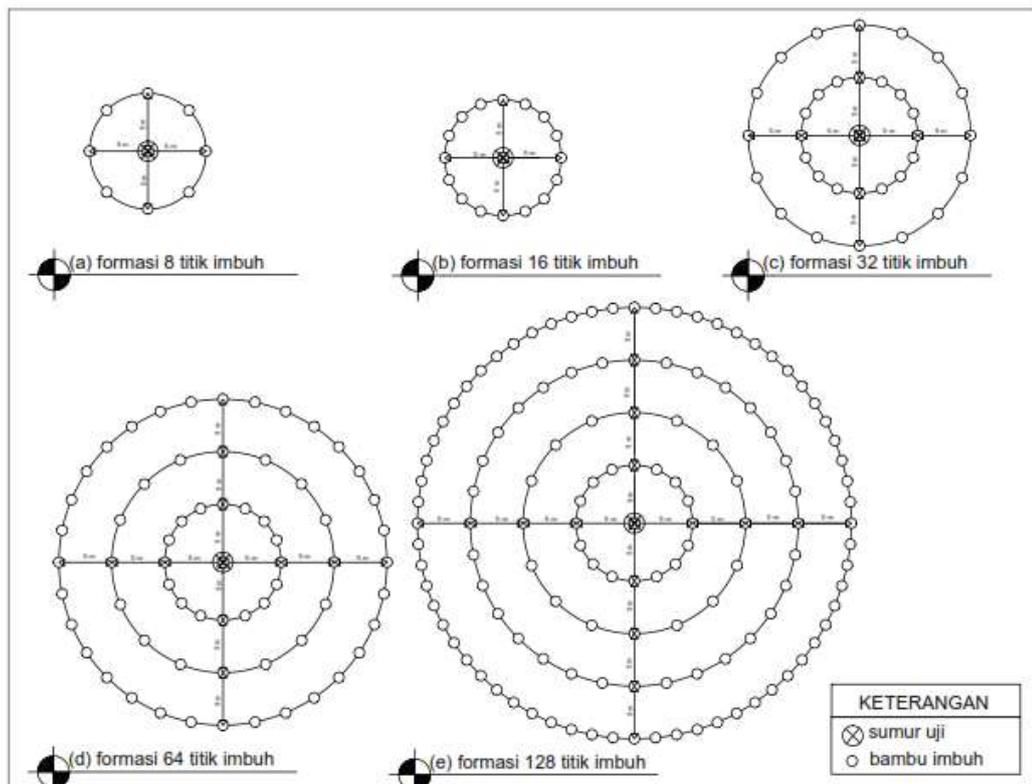
E. Desain Penelitian

Sebagaimana telah diurai di atas bahwa penelitian ini merupakan pengembangan (*Research and Development*) dalam bentuk eksperimen lapangan (*field experimental*), yang akan menguji coba dan mengembangkan alternatif penggunaan bambu rongga sebagai alat pengimbuhan. Secara keseluruhan desain “bambu rongga” yang digunakan seragam dengan ketentuan, (a) panjang bambu 1 meter; (b) diameter 5 cm.

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah titik imbuh diamati melalui 5 komposisi sumur uji dengan jumlah “bambu rongga” secara

berurut setiap komposisi adalah 8, 16, 36, 64, dan 128 titik imbuh (seperti pada Gambar 4).

Formasi jumlah titik imbuh yang akan diamati sesuai rencana penelitian dapat digambarkan dengan sketsa sebagai berikut:



Gambar 5. Formasi jumlah pada 5 sumur uji

F. Instrumen Penelitian

Peralatan dan bahan yang dipergunakan dalam pelaksanaan penelitian eksperimen ini antara lain:

- 1) Bambu lokal dengan diameter seragam yaitu 5 cm.
- 2) Linggis, untuk melubangi bambu.

- 3) *Ombrometer*, untuk mengukur curah hujan.
- 4) *Meter roll*, untuk mengukur kedalaman muka air tanah.
- 5) Pipa PVC diameter 4 inci, untuk membuat sumur uji dan sumur kontrol.

G. Teknik Pengumpulan Data

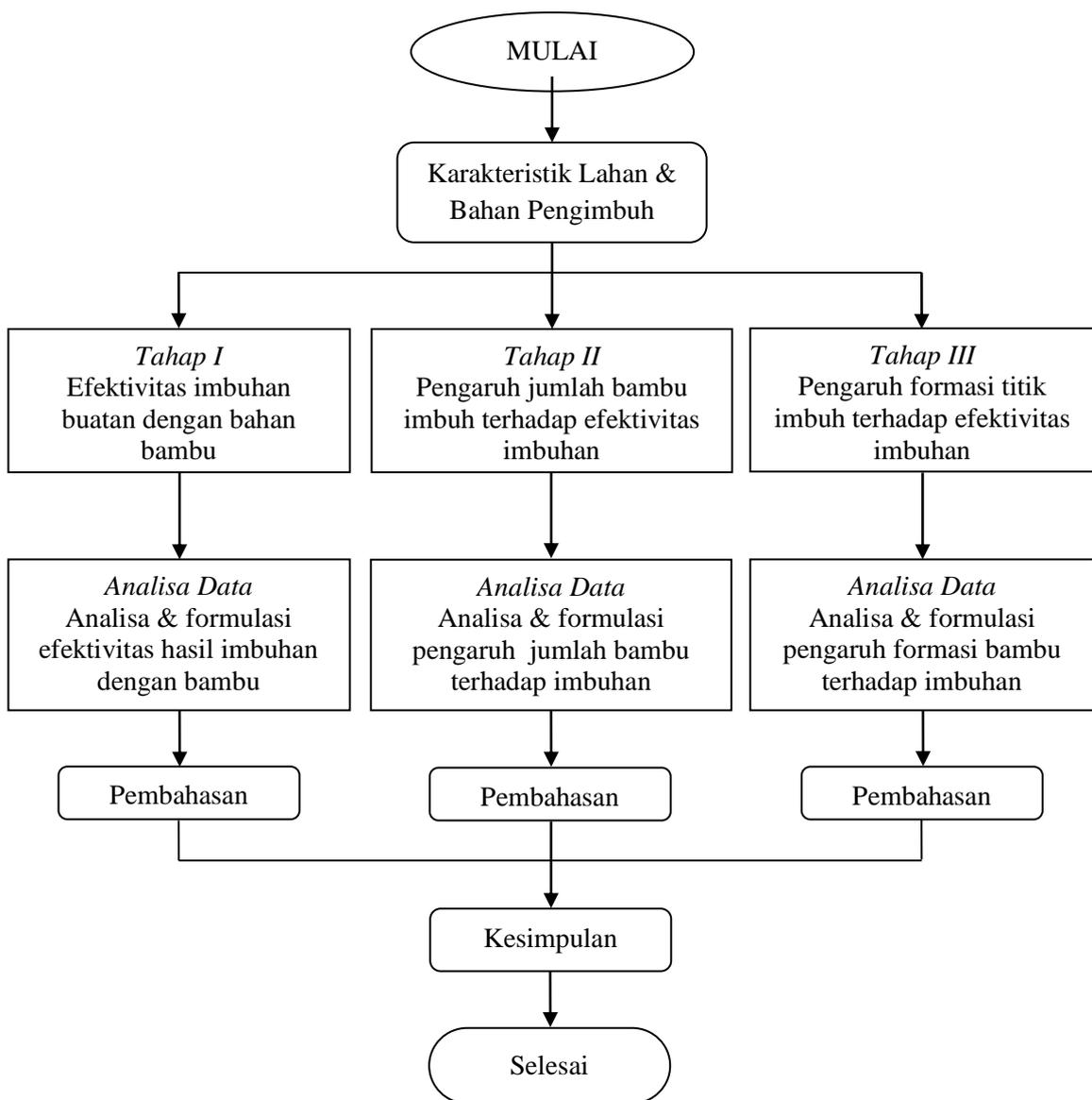
Untuk melihat volume imbuhan tanah, data dikumpulkan melalui pengukuran langsung terhadap kenaikan muka air tanah setiap terjadinya penggenangan air permukaan akibat hujan. Pengukuran ini didasarkan pada *incident* hujan yang meninggalkan genangan permukaan dan *increment* waktu proses imbuhan berlangsung. Kenaikan muka air tanah mulai diukur setelah permukaan air di dalam sumur uji sudah berada di bawah penampang sumur dan diamati setiap jam sampai permukaan air tanah tidak mengalami perubahan lagi, dan kondisi muka air tanah yang terakhir dicatat sebagai elevasi muka air tanah sesudah hujan. Selisih antara elevasi muka air tanah sesudah hujan dengan elevasi muka air tanah sebelum hujan, akan dicatat sebagai kenaikan air tanah yang terjadi. Untuk mengetahui efektivitas penerapan imbuhan buatan “bambu rongga”, dapat dilihat dari selisih antara kenaikan muka air tanah dalam sumur uji dengan kenaikan muka air tanah pada sumur kontrol.

H. Analisis Data

Sesuai dengan variabel penelitian, data penelitian ini berupa pengamatan terhadap nilai kenaikan dan penurunan muka air tanah yang terjadi pada setiap sumur uji pada setiap pengimbuhan (hujan). Data tersebut dianalisis dengan

teknik statistik deskriptif dan digambarkan dalam bentuk grafik kenaikan muka air tanah pada setiap *incident* hujan. Untuk mengetahui pengaruh antara variabel penelitian akan dilakukan analisa regresi, dan untuk mengetahui kekuatan hubungan variabel penelitian akan dilakukan analisa korelasi.

I. Bagan Alir



Gambar 6. Bagan Alir Penelitian (3 tahap pelaksanaan)

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan Imbuan pada Masing-masing Sumur Uji

Dengan penerapan sistem pengimbuhan buatan pada lahan persawahan di Kabupaten Gowa, diperoleh gambaran efektivitas sistem pengimbuhan yang diterapkan dengan variasi jumlah dan formasi pengimbuhan. Jumlah bambu rongga sebagai bahan pengimbuhan yang digunakan bervariasi, yakni 8, 16, 32, 64 dan 128 bambu rongga. Jumlah pengimbuhan yang bervariasi ini dimaksudkan untuk melihat perubahan volume imbuan yang diakibatkan oleh jumlah bambu pengimbuhan yang terpasang disetiap sumur yang diuji.

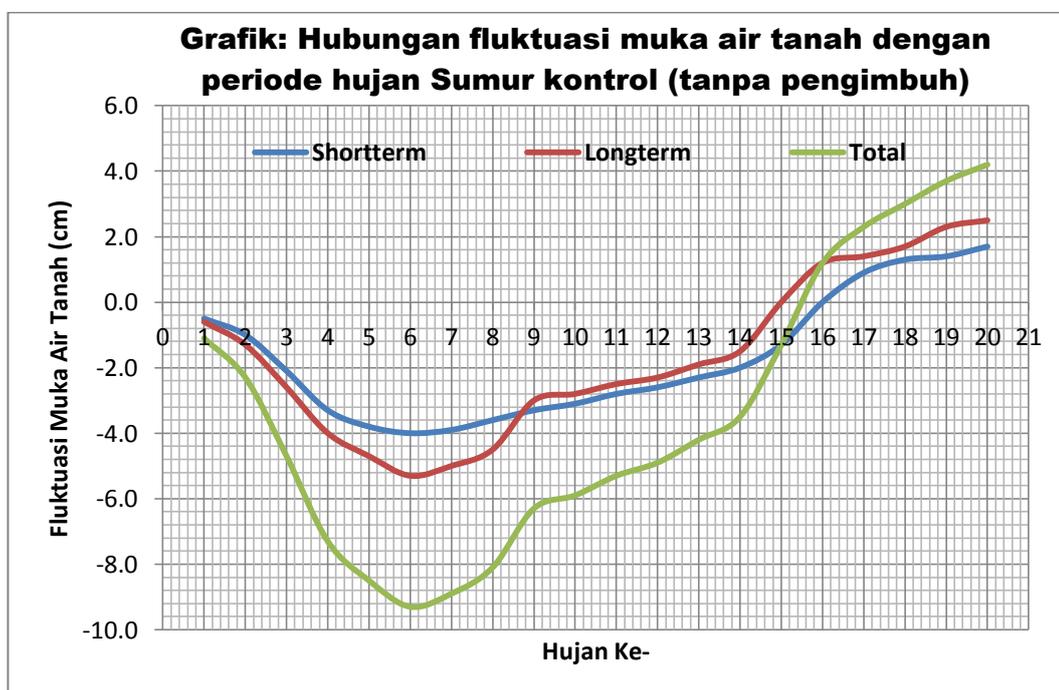
Pengamatan dilakukan pada waktu bersamaan, yaitu pada saat terjadinya hujan genangan, karena input air pengimbuhan berasal dari genangan air hujan. Uraian hasil pengamatan dari proses imbuan air tanah disajikan sebagai berikut:

Tabel 3. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Kontrol (Tanpa Bambu Rongga).

Sumur Kontrol			
Hujan ke-	Shortterm	Longterm	Total
(1)	(2)	(3)	(4)
1	-0,5	-0,6	-1,1
2	-1,0	-1,3	-2,3
3	-2,1	-2,6	-4,7
4	-3,3	-4,0	-7,3
5	-3,8	-4,7	-8,5
6	-4,0	-5,3	-9,3
7	-3,9	-5,0	-8,9
8	-3,6	-4,5	-8,1
9	-3,3	-3,0	-6,3
10	-3,1	-2,8	-5,9
11	-2,8	-2,5	-5,3

(1)	(2)	(3)	(4)
12	-2,6	-2,3	-4,9
13	-2,3	-1,9	-4,2
14	-2,0	-1,5	-3,5
15	-1,3	0,0	-1,3
16	0,0	1,2	1,2
17	0,9	1,4	2,3
18	1,3	1,7	3,0
19	1,4	2,3	3,7
20	1,7	2,5	4,2

Dari hasil tabel fluktuasi muka air tanah di atas, kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Kontrol (tanpa bambu rongga).

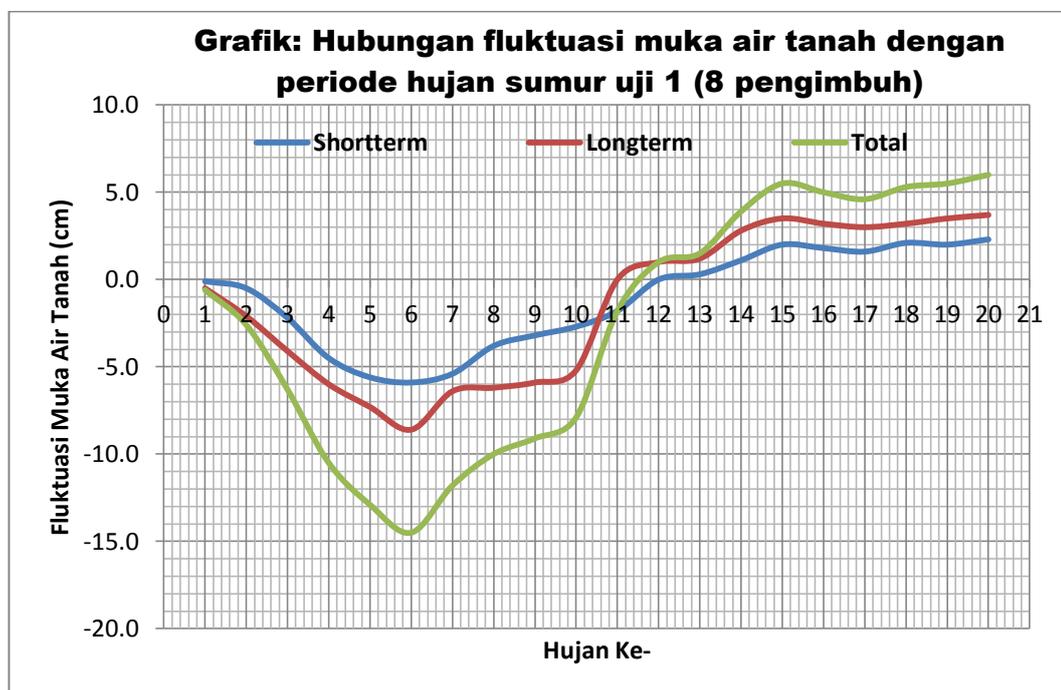
Gambar 7 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada sumur kontrol (sumur yang dibuat tanpa perlakuan/pemasangan bambu rongga). Kurva berwarna biru (shortterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah satu jam

setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -4,0 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-16 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +1,7 cm. Kurva berwarna merah (longterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah lima jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -5,3 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-15 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +2,5 cm. Secara keseluruhan perubahan yang terjadi pada sumur kontrol dapat dilihat pada kurva berwarna hijau (total) dengan penurunan minimum pada elevasi -9,3 cm dan kenaikan maksimum pada elevasi +4,2 cm.

Tabel 4. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 1 (8 bambu rongga).

Sumur Uji 1			
Hujan Ke-	Shortterm	Longterm	Total
1	-0,1	-0,5	-0,6
2	-0,5	-2,1	-2,6
3	-2,2	-4,1	-6,3
4	-4,5	-6,0	-10,5
5	-5,6	-7,3	-12,9
6	-5,9	-8,6	-14,5
7	-5,4	-6,4	-11,8
8	-3,8	-6,2	-10,0
9	-3,2	-5,9	-9,1
10	-2,7	-5,2	-7,9
11	-1,8	0,0	-1,8
12	0,0	1,0	1,0
13	0,3	1,2	1,5
14	1,1	2,8	3,9
15	2,0	3,5	5,5
16	1,8	3,2	5,0
17	1,6	3,0	4,6
18	2,1	3,2	5,3
19	2,0	3,5	5,5
20	2,3	3,7	6,0

Dari hasil tabel fluktuasi muka air tanah di atas, kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 1 (dengan pemasangan 8 buah bambu rongga)

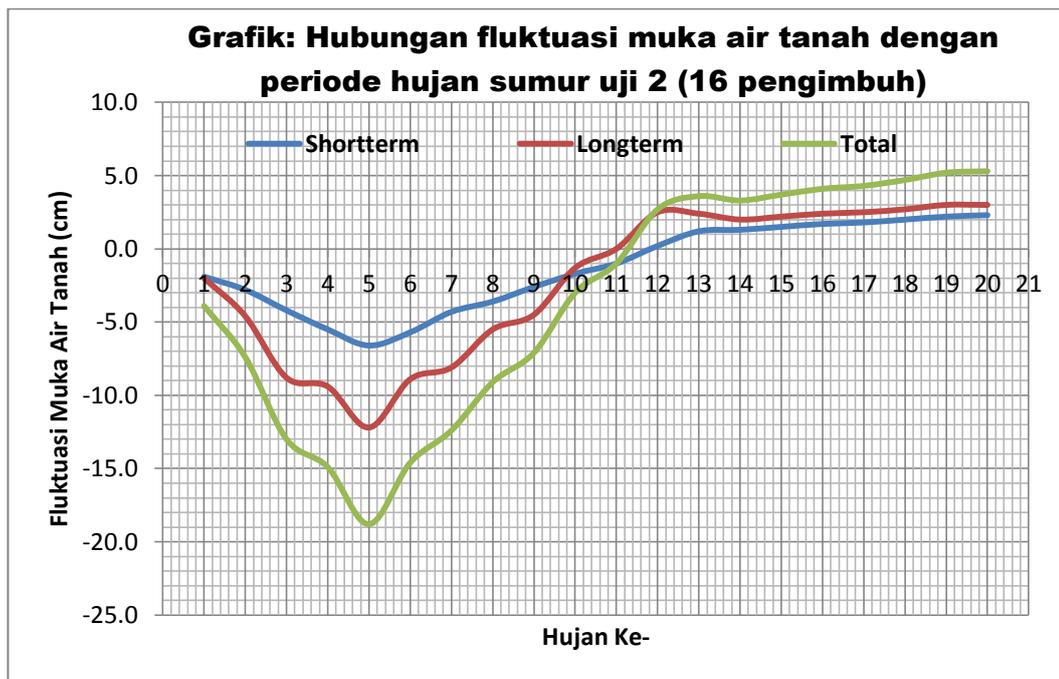
Gambar 8 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada sumur uji 1 dengan pemasangan 8 bambu pengimbuh disekelilingnya. Kurva berwarna biru (shortterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah satu jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -5,9 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-12 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +2,3 cm. Kurva berwarna merah (longterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah lima jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -8,6 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-11 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +3,7 cm. Secara keseluruhan

perubahan yang terjadi pada sumur uji 1 dapat dilihat pada kurva berwarna hijau (total) dengan penurunan minimum pada elevasi -14,5 cm dan kenaikan maksimum pada elevasi +6,0 cm.

Tabel 5. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 2 (16 bambu rongga).

Sumur Uji 2			
Hujan Ke-	Shortterm	Longterm	Total
1	-1,9	-2,0	-3,9
2	-2,8	-4,6	-7,4
3	-4,2	-8,8	-13,0
4	-5,5	-9,4	-14,9
5	-6,6	-12,2	-18,8
6	-5,7	-8,9	-14,6
7	-4,3	-8,1	-12,4
8	-3,6	-5,5	-9,1
9	-2,6	-4,5	-7,1
10	-1,7	-1,3	-3,0
11	-1,0	0,0	-1,0
12	0,2	2,5	2,7
13	1,2	2,4	3,6
14	1,3	2,0	3,3
15	1,5	2,2	3,7
16	1,7	2,4	4,1
17	1,8	2,5	4,3
18	2,0	2,7	4,7
19	2,2	3,0	5,2
20	2,3	3,0	5,3

Dari hasil tabel fluktuasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 2 (dengan pemasangan 16 buah bambu rongga)

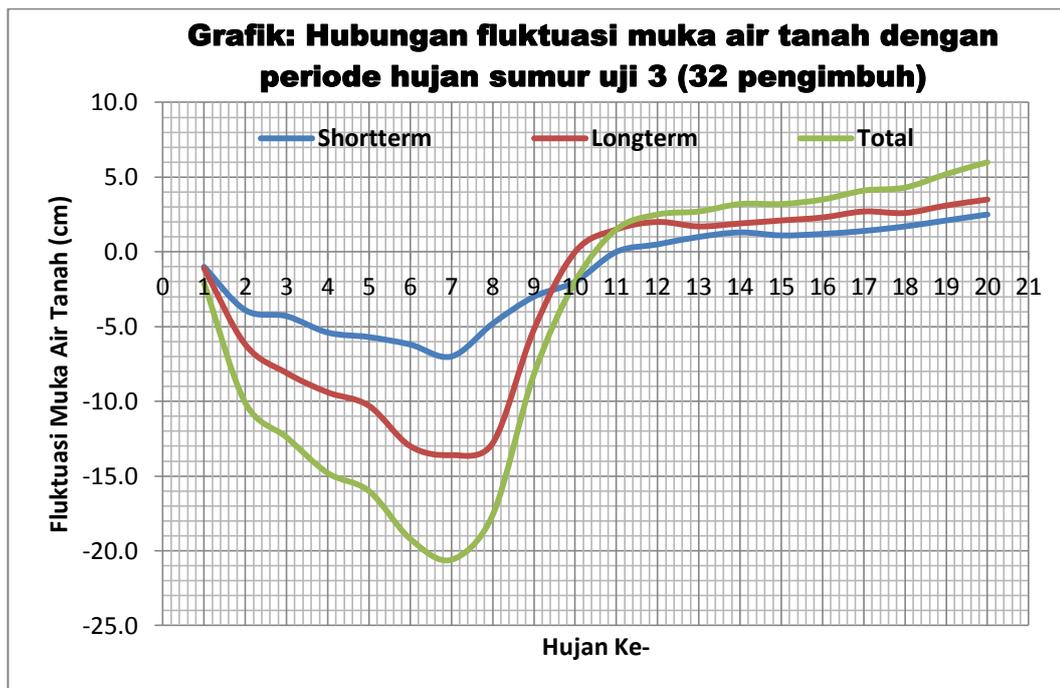
Gambar 9 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada sumur uji 2 dengan pemasangan 16 bambu pengimbuh disekelilingnya. Kurva berwarna biru (shortterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah satu jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-5 dengan elevasi -6,6 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-12 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +2,3 cm. Kurva berwarna merah (longterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah lima jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-5 dengan elevasi -12,2 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-11 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +3,0 cm. Secara keseluruhan perubahan yang terjadi pada sumur uji 2 dapat dilihat pada kurva berwarna hijau

(total) dengan penurunan minimum pada elevasi -18,8 cm dan kenaikan maksimum pada elevasi +5,3 cm.

Tabel 6. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 3 (32 bambu rongga).

Sumur Uji 3			
Hujan Ke-	Shortterm	Longterm	Total
1	-1,0	-1,1	-2,1
2	-3,9	-6,2	-10,1
3	-4,3	-8,1	-12,4
4	-5,4	-9,4	-14,8
5	-5,7	-10,3	-16,0
6	-6,2	-13,0	-19,2
7	-7,0	-13,6	-20,6
8	-4,8	-12,8	-17,6
9	-3,0	-5,2	-8,2
10	-2,0	0,0	-2,0
11	0,0	1,5	1,5
12	0,5	2,0	2,5
13	1,0	1,7	2,7
14	1,3	1,9	3,2
15	1,1	2,1	3,2
16	1,2	2,3	3,5
17	1,4	2,7	4,1
18	1,7	2,6	4,3
19	2,1	3,1	5,2
20	2,5	3,5	6,0

Dari hasil tabel fluktuasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 3 (dengan pemasangan 32 buah bambu rongga)

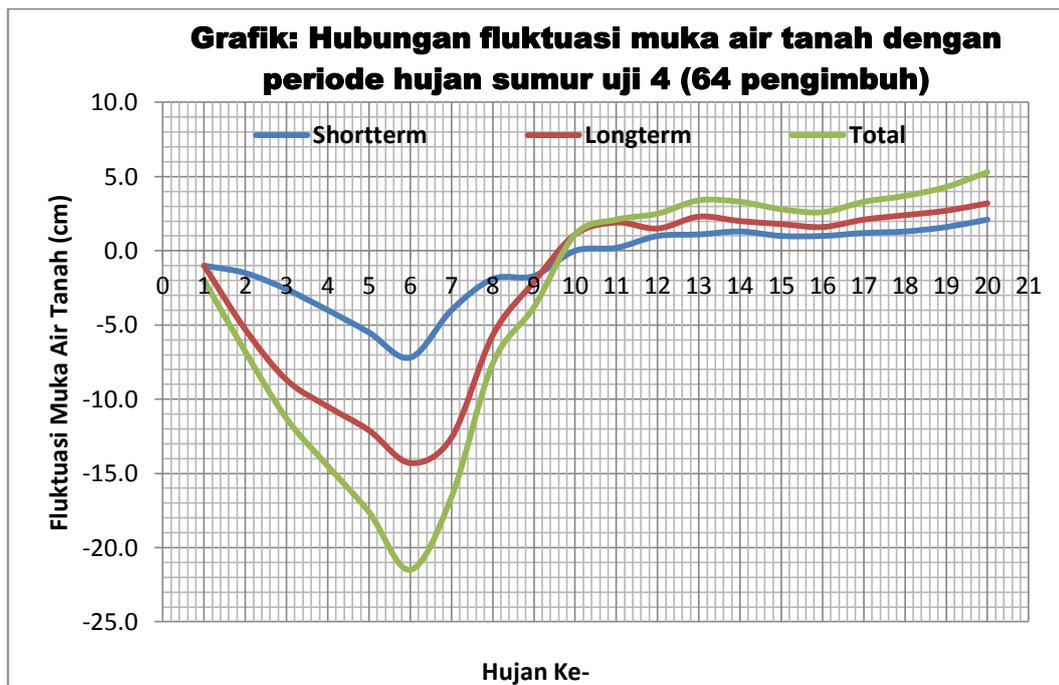
Gambar 10 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada sumur uji 3 dengan pemasangan 32 bambu pengimbu disekelilingnya. Kurva berwarna biru (shortterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah satu jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-7 dengan elevasi -7,0 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-11 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +2,5 cm. Kurva berwarna merah (longterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah lima jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-7 dengan elevasi -13,6 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-10 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +3,5 cm. Secara keseluruhan perubahan yang terjadi pada sumur uji 3 dapat dilihat melalui kurva berwarna

hijau (total) dengan penurunan minimum pada elevasi -20,6 cm dan kenaikan maksimum pada elevasi +6,0 cm.

Tabel 7. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 4 (64 bambu rongga).

Sumur Uji 4			
Hujan Ke-	Shortterm	Longterm	Total
1	-1,0	-1,0	-2,0
2	-1,5	-5,3	-6,8
3	-2,6	-8,7	-11,3
4	-4,0	-10,5	-14,5
5	-5,5	-12,1	-17,6
6	-7,2	-14,3	-21,5
7	-4,0	-12,6	-16,6
8	-1,9	-5,7	-7,6
9	-1,7	-2,1	-3,8
10	0,0	1,1	1,1
11	0,2	1,9	2,1
12	1,0	1,5	2,5
13	1,1	2,3	3,4
14	1,3	2,0	3,3
15	1,0	1,8	2,8
16	1,0	1,6	2,6
17	1,2	2,1	3,3
18	1,3	2,4	3,7
19	1,6	2,7	4,3
20	2,1	3,2	5,3

Dari hasil tabel fluktuasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 4 (dengan pemasangan 64 buah bambu rongga)

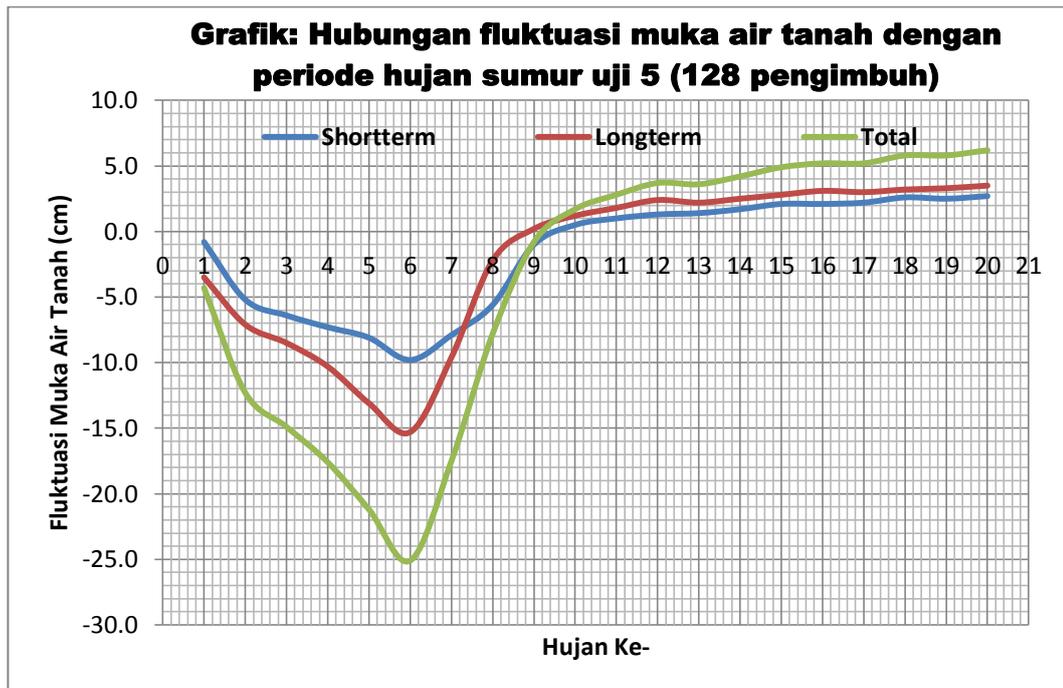
Gambar 11 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada sumur uji 4 dengan pemasangan 64 bambu pengimbu disekelilingnya. Kurva berwarna biru (shortterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah satu jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -7,2 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-10 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +2,1 cm. Kurva berwarna merah (longterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah lima jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -14,3 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-10 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +3,2 cm. Secara keseluruhan perubahan yang terjadi pada sumur uji 4 dapat dilihat pada kurva berwarna hijau

(total) dengan penurunan minimum pada elevasi -21,2 cm dan kenaikan maksimum pada elevasi +5,3 cm.

Tabel 8. Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 5 (128 bambu rongga).

Sumur Uji 5			
Hujan Ke-	Shortterm	Longterm	Total
1	-0,8	-3,5	-4,3
2	-5,2	-7,1	-12,3
3	-6,4	-8,5	-14,9
4	-7,3	-10,3	-17,6
5	-8,1	-13,1	-21,2
6	-9,8	-15,3	-25,1
7	-7,9	-9,6	-17,5
8	-5,6	-2,2	-7,8
9	-1,0	0,2	-0,8
10	0,5	1,2	1,7
11	1,0	1,8	2,8
12	1,3	2,4	3,7
13	1,4	2,2	3,6
14	1,7	2,5	4,2
15	2,1	2,8	4,9
16	2,1	3,1	5,2
17	2,2	3,0	5,2
18	2,6	3,2	5,8
19	2,5	3,3	5,8
20	2,7	3,5	6,2

Dari hasil tabel fluktuasi muka air tanah di atas, kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 5 (dengan pemasangan 128 buah bambu rongga)

Gambar 12 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada sumur uji 5 dengan pemasangan 128 bambu pengimbuah disekelilingnya. Kurva berwarna biru (shortterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah satu jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -9,8 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-10 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +2,7 cm. Kurva berwarna merah (longterm) adalah kurva hasil pengukuran elevasi muka air tanah lima jam setelah *incident* hujan, penurunan minimum terjadi pada hujan ke-6 dengan elevasi -15,3 cm, periode *recovery* (elevasi 0,0 cm) terjadi pada hujan ke-9 dan kenaikan maksimum terjadi pada hujan ke-20 dengan elevasi +3,5 cm. Secara keseluruhan perubahan yang terjadi pada sumur uji 5 dapat dilihat pada kurva berwarna hijau

(total) dengan penurunan minimum pada elevasi -25,1 cm dan kenaikan maksimum pada elevasi +6,2 cm.

Selanjutnya dari sekian alternatif jumlah bambu sebagai konstruksi imbuhan buatan yang telah diaplikasikan, kesemuanya memiliki pengaruh bergantung banyaknya jumlah bambu yang ditancapkan disekeliling sumur uji. Pada dasarnya jumlah bambu sebagai bahan pengimbuhan mempengaruhi tingkat keberhasilan pengimbuhan air tanah. Konstruksi pengimbuhan tanah dangkal akan efektif diterapkan pada lahan dengan tingkat permeabilitas lapisan *top soil* yang tinggi.

B. Pembahasan

Pada tanah sawah di Desa Moncobalang Dusun Biringala Kabupaten Gowa memiliki komposisi struktur permukaan tanah dengan lapisan tanah yang *semi-permeable*. Dengan penerapan sistem pengimbuhan buatan pada lahan pertanian di Kabupaten Gowa, didapatkan gambaran efektifitas sistem pengimbuhan melalui akumulasi hasil pengamatan setiap sumur uji.

1. Analisa Efektivitas Bambu Sebagai Pengimbuhan

Dari hasil pengamatan kenaikan muka air tanah yang telah diakumulasikan, dapat dianalisis besaran efektivitas ($ef > 1$) setiap sumur dengan formula sebagai berikut:

$$Ef = \frac{\text{Tinggi Kenaikan m. a. t pada Sumur ke } n}{\text{Kenaikan m. a. t Sumur Kontrol}}$$

Sebagai contoh, dengan hasil akumulasi perhitungan kenaikan muka air tanah pada sumur uji 1, diketahui tinggi kenaikan pada sumur = 25,8 cm; dan kenaikan muka air tanah pada sumur kontrol = 11,8 cm. Dari hasil tersebut dapat dihitung nilai efektivitas sebagai berikut:

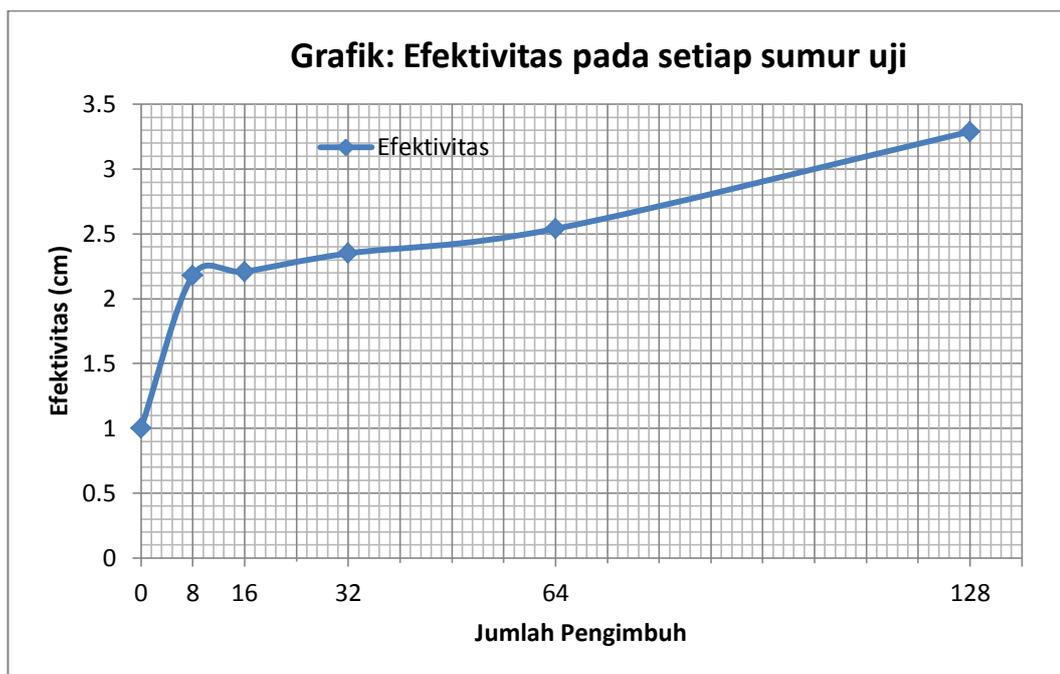
$$Ef = \frac{25,8}{11,8} = 2,18$$

Hasil perhitungan besaran efektivitas pada sumur uji 1 = 2,18; seperti yang kita ketahui bahwa suatu teknologi dikatakan efektif apabila nilai $Ef > 1$. Maka dapat disimpulkan bahwa sumur uji satu merupakan teknologi yang efektif. Analisis dengan perhitungan efektivitas seperti di atas, maka efektivitas setiap sumur, secara berturut-turut sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil perhitungan besaran efektivitas (Ef) pada setiap sumur uji

Jumlah Pengimbuh	Kenaikan m.a.t (cm)	Efektivitas
0	11,8	1
8	25,8	2,18
16	26,1	2,21
32	27,7	2,35
64	30,0	2,54
128	38,8	3,28

Dari hasil analisis besaran efektivitas muka air tanah di atas, kemudian disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 13. Grafik efektivitas muka air tanah pada setiap sumur uji.

Dari grafik efektivitas pada setiap sumur uji dapat dilihat bahwa jumlah pengimbuh berbanding lurus dengan efektivitas. Hal ini terjadi karena lapisan tanah yang bersifat *semi-permable* dan cukup tebal menyebabkan proses infiltrasi dan perkolasi tanpa pengimbuhan buatan berjalan lambat. Dengan adanya bambu rongga yang dipasang di sekeliling sumur uji maka membantu meloloskan air ke dalam tanah yang secara otomatis mempercepat proses infiltrasi dan perkolasi. Semakin cepat pori tanah terisi oleh air akan meningkatkan besaran efektivitas pada sebuah teknologi pengimbuhan dengan bambu rongga.

2. Pengaruh Periode Hujan terhadap Fluktuasi Muka Air Tanah

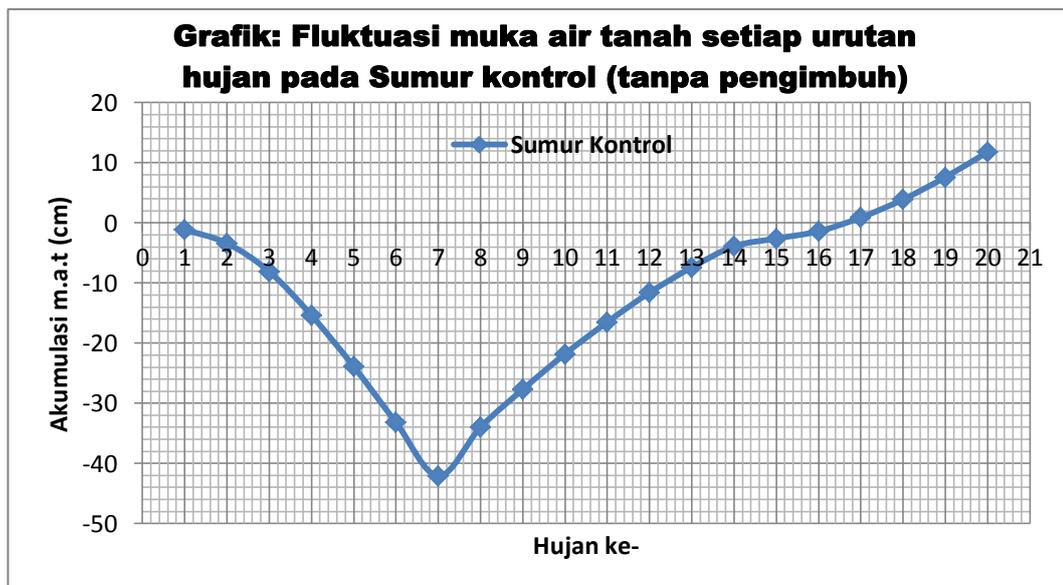
Hasil pengamatan terhadap fluktuasi muka air tanah dengan variabel jumlah dan formasi pengimbuh dilakukan sebagai langkah untuk mengetahui tingkat efektivitas imbuhan pada lokasi penelitian. Selanjutnya, untuk melihat

pengaruh jumlah pengimbuah, maka dibuat akumulasi untuk melihat penurunan serta kenaikan muka air tanah. Uraian mengenai pengaruh periode hujan terhadap muka air tanah secara berturut-turut dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 10. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Kontrol (tanpa pengimbuah).

Sumur Kontrol			
Hujan ke-	Akumulasi	Hujan ke-	Akumulasi
1	-4,3	11	-16,5
2	-16,6	12	-11,6
3	-31,5	13	-7,4
4	-49,1	14	-3,9
5	-70,3	15	-2,6
6	-80,4	16	-1,4
7	-52,9	17	0,9
8	-36,1	18	3,9
9	-27,3	19	7,6
10	-18,6	20	11,8

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



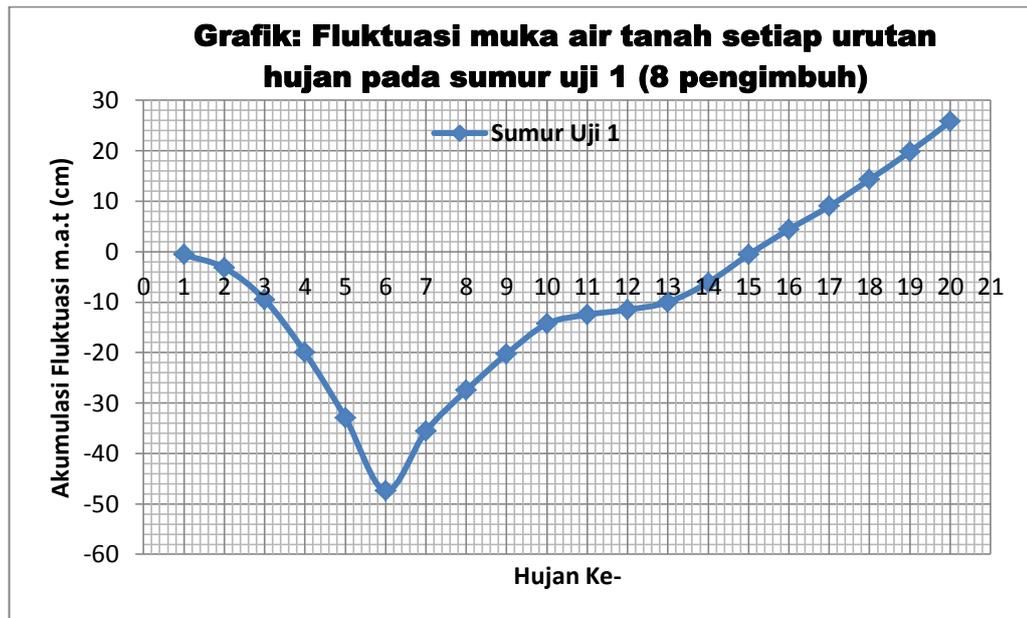
Gambar 14. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Kontrol (Tanpa Pengimbuah).

Gambar 14 menunjukkan proses pengimbuhan air tanah di sumur kontrol tanpa pemasangan alat pengimbuhan, penurunan dan kenaikan muka air tanah berindikasi kecil karena lapisan tanah yang bersifat *semi-permeable* menyebabkan proses infiltrasi dan perkolasi secara alami berjalan lambat sehingga pengisian pori-pori tanah juga berlangsung lambat. Penurunan terendah terjadi pada periode hujan ke-7 dengan elevasi muka air tanah -42,1 cm dan kenaikan tertinggi terjadi pada periode hujan ke-20 dengan elevasi muka air tanah +11,8 cm.

Tabel 11. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 1 (8 pengimbuhan).

Sumur Uji 1			
Hujan ke-	Akumulasi	Hujan ke-	Akumulasi
1	-0,6	11	-12,5
2	-3,2	12	-11,5
3	-9,5	13	-10
4	-20,0	14	-6,1
5	-32,9	15	-0,6
6	-47,4	16	4,4
7	-35,6	17	9
8	-27,5	18	14,3
9	-20,3	19	19,8
10	-14,3	20	25,8

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



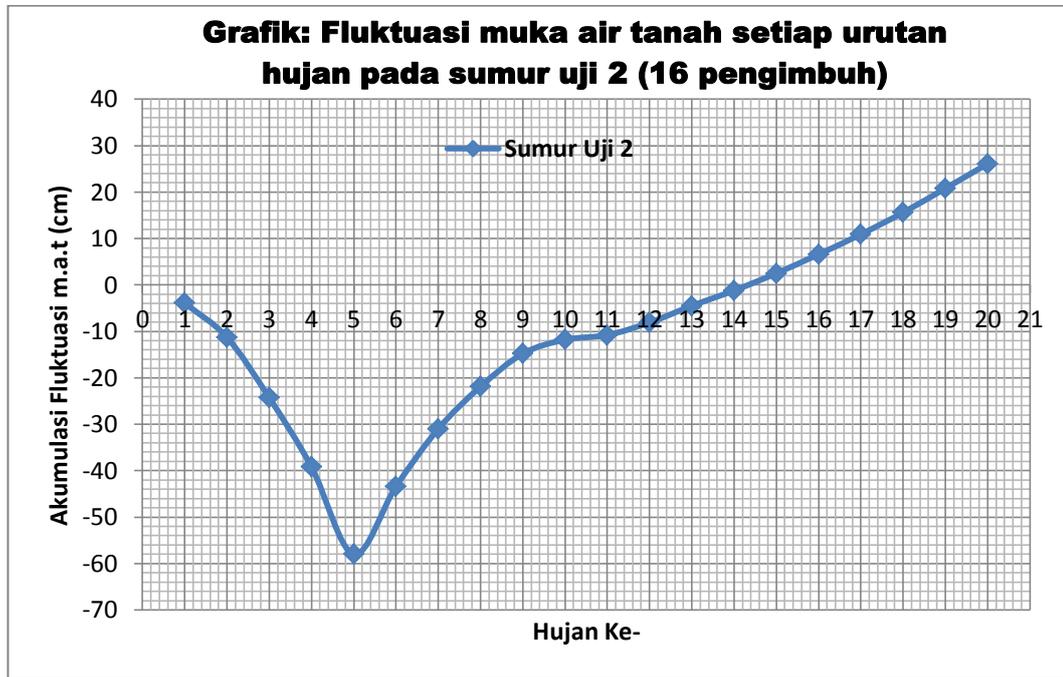
Gambar 15. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 1 (8 Pengimbu).

Gambar 15 menunjukkan proses pengimbuhan air tanah di sumur uji 1 dengan pemasangan 8 alat pengimbu, penurunan dan kenaikan muka air tanah berindikasi kecil. Penurunan terendah terjadi pada periode hujan ke-6 dengan elevasi muka air tanah -47,4 cm dan kenaikan tertinggi terjadi pada periode hujan ke-20 dengan elevasi muka air tanah +25,8 cm.

Tabel 12. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 2 (16 pengimbu).

Sumur Uji 2			
Hujan ke-	Akumulasi	Hujan ke-	Akumulasi
1	-3,9	11	-10,8
2	-11,3	12	-8,1
3	-24,3	13	-4,5
4	-39,2	14	-1,2
5	-58,0	15	2,5
6	-43,4	16	6,6
7	-31,0	17	10,9
8	-21,9	18	15,6
9	-14,8	19	20,8
10	-11,8	20	26,1

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



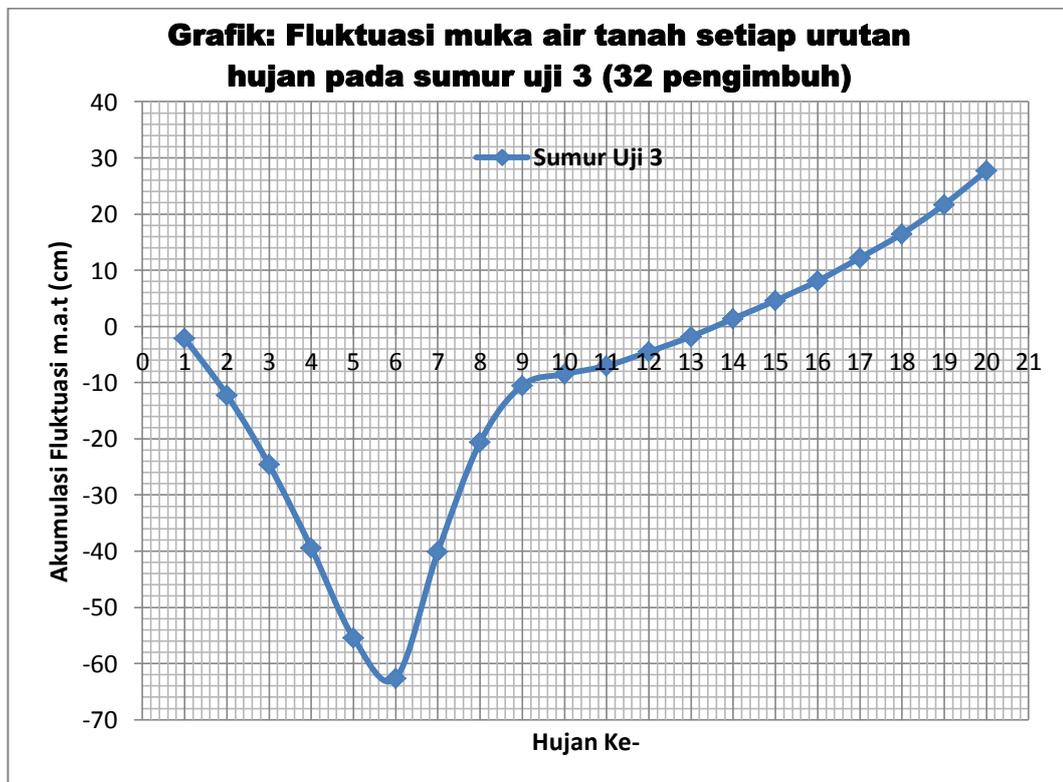
Gambar 16. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 2 (16 Pengimbuh).

Gambar 16 menunjukkan proses pengimbuhan air tanah di sumur uji 2 dengan pemasangan 16 alat pengimbuh, penurunan dan kenaikan muka air tanah berindikasi sedang karena lapisan tanah yang bersifat *semi-permeable* menyebabkan proses infiltrasi dan perkolasi secara alami berjalan lambat sehingga pengisian pori-pori tanah juga berlangsung lambat, namun dengan adanya pemasangan bambu rongga di sekeliling sumur membantu melampaui permukaan *semi-permeable*. Penurunan terendah terjadi pada periode hujan ke-5 dengan elevasi muka air tanah -58,0 cm sementara kenaikan tertinggi terjadi pada periode hujan ke-20 dengan elevasi muka air tanah +26,1 cm.

Tabel 13. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 3 (32 pengimbuah).

Sumur Uji 3			
Hujan ke-	Akumulasi	Hujan ke-	Akumulasi
1	-2,1	11	-7
2	-12,2	12	-4,5
3	-24,6	13	-1,8
4	-39,4	14	1,4
5	-55,4	15	4,6
6	-62,6	16	8,1
7	-40,1	17	12,2
8	-20,6	18	16,5
9	-10,5	19	21,7
10	-8,5	20	27,7

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 17. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 3 (32 Pengimbuah).

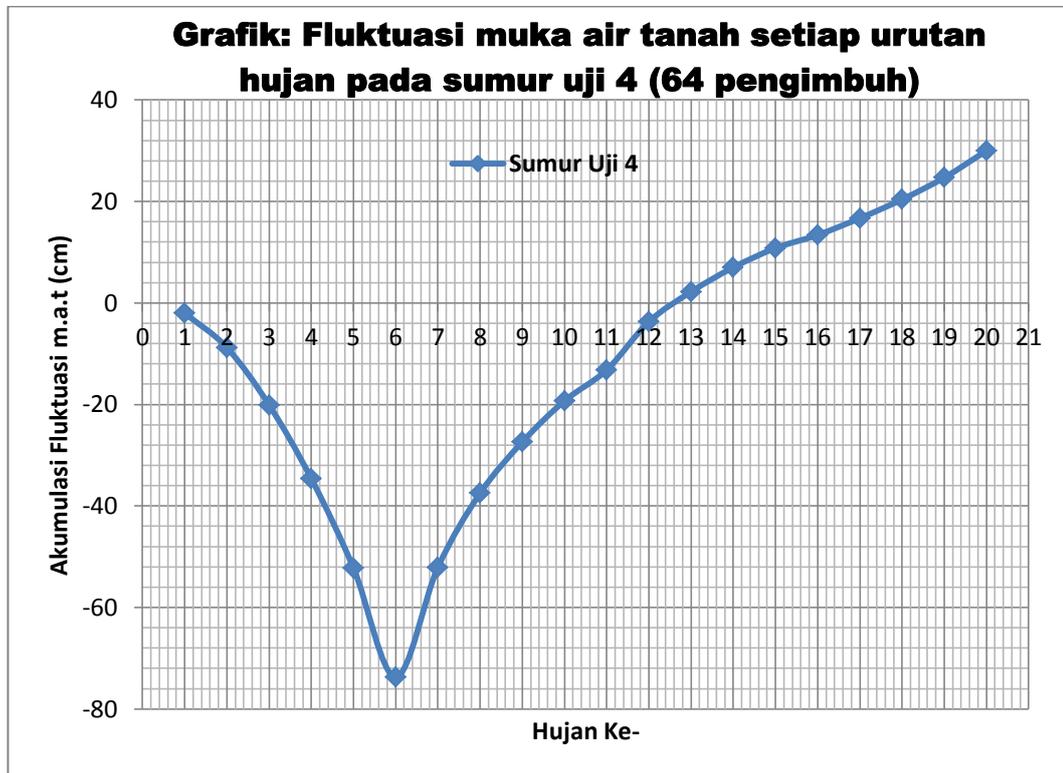
Gambar 17 menunjukkan proses pengimbuhan air tanah di sumur uji 3 dengan pemasangan 32 alat pengimbuh, penurunan dan kenaikan muka air tanah berindikasi sedang. Penurunan terendah terjadi pada periode hujan ke-6 dengan elevasi muka air tanah -62,6 cm dan kenaikan tertinggi terjadi pada periode hujan ke-20 dengan elevasi muka air tanah +27,7 cm.

Tabel 14. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 4 (64 pengimbuh).

Sumur Uji 4			
Hujan ke-	Akumulasi	Hujan ke-	Akumulasi
1	-2,0	11	-13,2
2	-8,8	12	-3,7
3	-20,1	13	2,2
4	-34,6	14	7
5	-52,2	15	10,8
6	-73,7	16	13,4
7	-52,1	17	16,7
8	-37,5	18	20,4
9	-27,4	19	24,7
10	-19,3	20	30

Gambar 18 menunjukkan proses pengimbuhan air tanah di sumur uji 4 dengan pemasangan 64 alat pengimbuh, penurunan dan kenaikan muka air tanah berindikasi besar karena lapisan tanah yang bersifat *semi-permeable* menyebabkan proses infiltrasi dan perkolasi secara alami berjalan lambat sehingga pengisian pori-pori tanah juga berlangsung lambat sehingga pengisian pori-pori tanah juga berlangsung lambat, namun dengan adanya pemasangan bambu rongga disekeliling sumur membantu melampaui permukaan *semi-permeable*. Penurunan terendah terjadi pada periode hujan ke-6 dengan elevasi muka air tanah -73,7 cm dan kenaikan tertinggi terjadi pada periode hujan ke-20 dengan elevasi muka air tanah +30,0 cm.

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

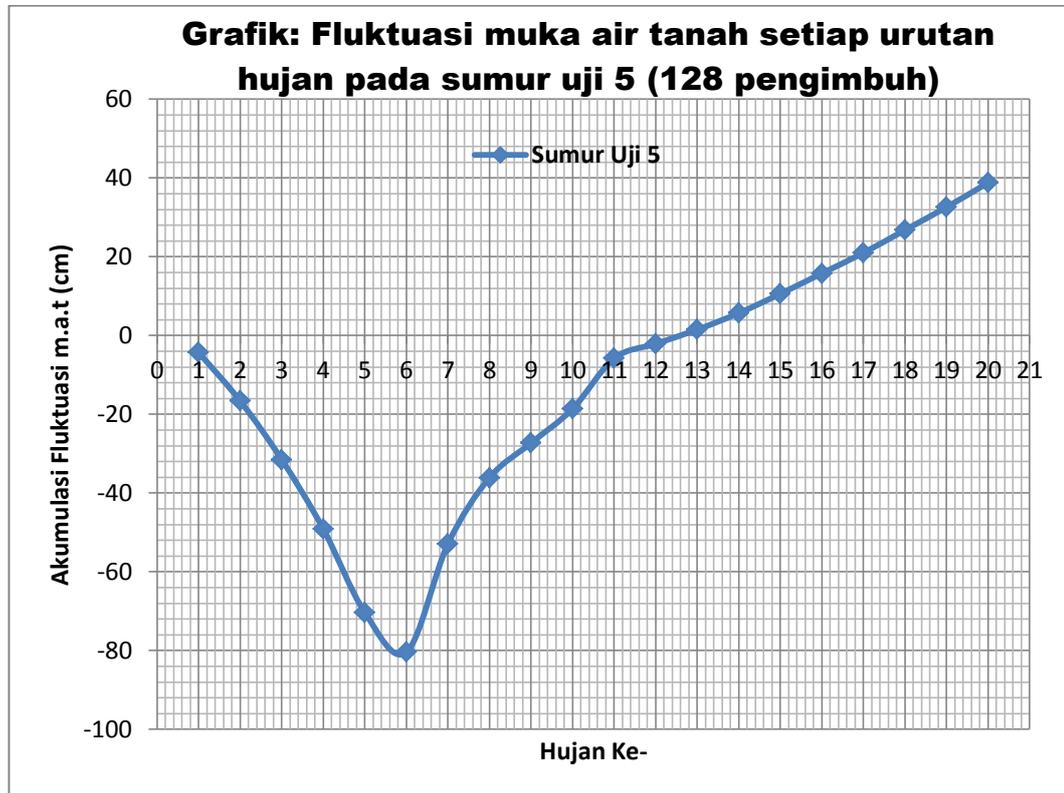


Gambar 18. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 4 (64 Pengimbuah).

Tabel 15. Akumulasi Muka Air Tanah pada Sumur Uji 5 (128 pengimbuah).

Sumur Uji 5			
Hujan ke-	Akumulasi	Hujan ke-	Akumulasi
1	-4,3	11	-5,8
2	-16,6	12	-2,1
3	-31,5	13	1,5
4	-49,1	14	5,7
5	-70,3	15	10,6
6	-80,4	16	15,8
7	-52,9	17	21,0
8	-36,1	18	26,8
9	-27,3	19	32,6
10	-18,6	20	38,8

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 19. Grafik Fluktuasi Muka Air Tanah Setiap Urutan Hujan pada Sumur Uji 5 (128 Pengimbu).

Gambar 19 menunjukkan proses pengimbuhan air tanah di sumur uji 5 dengan pemasangan 128 alat pengimbu, penurunan dan kenaikan muka air tanah berindikasi besar. Penurunan terendah terjadi pada periode hujan ke-6 dengan elevasi muka air tanah -80,4 cm dan kenaikan tertinggi terjadi pada periode hujan ke-20 dengan elevasi muka air tanah +38,8 cm.

Dari grafik hasil akumulasi fluktuasi muka air tanah (Gambar 13, 14, 15, 16, 17 dan 18), nampak jelas bahwa semakin banyak jumlah pengimbu yang dipasang mengelilingi sumur uji, maka penurunan elevasi muka air tanah akan semakin besar. Selain mempengaruhi penurunan muka air tanah, jumlah

pengimbuh yang dipasang juga mempengaruhi kenaikan muka air tanah. Semakin banyak jumlah pengimbuh yang dipasang mengelilingi sumur uji, maka kenaikan elevasi muka air tanah juga semakin besar. Dalam hal ini penurunan dan kenaikan muka air tanah pada sumur tanpa pemasangan pengimbuh (sumur kontrol) terjadi cukup lambat.

Ada dua fenomena yang dapat disintesa dari keenam grafik hasil akumulasi muka air tanah di atas, yakni:

- (a) Adanya gejala penurunan air tanah yang terjadi pada awal musim hujan. Hal ini terlihat di semua sumur yang diamati, baik sumur dengan pengimbuh maupun sumur tanpa pengimbuh (sumur kontrol). Hal ini mungkin diakibatkan oleh volume udara di dalam rongga pori tanah semakin mengecil akibat infiltrasi air permukaan ke dalam lapisan tanah yang mengakibatkan peningkatan tekanan kapiler sehingga air tanah terabsorpsi ke atas, dan mengakibatkan penurunan elevasi muka air tanah. Namun hal ini merupakan hipotesis, yang memerlukan penelitian lebih lanjut.
- (b) Kenaikan muka air tanah pada sumur uji 5 (128 pengimbuh) lebih besar dari sumur uji 4 (64 pengimbuh); lebih besar dari sumur uji 3 (32 pengimbuh); lebih besar dari sumur uji 2 (16 pengimbuh); lebih besar dari sumur uji 1 (8 pengimbuh); dan lebih besar dari sumur kontrol (tanpa pengimbuh). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah pengimbuhan mempunyai pengaruh terhadap efektivitas imbuhan pada setiap sumur uji. Hal ini disebabkan karena lapisan tanah yang bersifat *semi-permeable* sehingga proses infiltrasi dan perkolasi secara alami berjalan lambat sehingga pengisian pori-pori tanah juga

berlangsung lambat, namun dengan adanya pemasangan bambu rongga disekeliling sumur membantu melampaui permukaan *semi-permeable*. Semakin banyak bambu rongga yang dipasang menegelilingi sumur uji dapat mempercepat pengisian pori tanah.

3. Pengaruh Periode Hujan terhadap Waktu *Recovery* Muka Air Tanah

Periode *recovery* dapat juga dikatakan sebagai periode pemulihan, pada periode ini muka air tanah kembali pada posisi awal sebelum hujan (fluktuasi=0,0), setelah mengalami penurunan minimum. Dari hasil akumulasi fluktuasi muka air tanah terlihat bahwa periode *recovery* juga dipengaruhi oleh jumlah pengimbuhan. Semakin banyak pengimbuhan yang dipasang di sekeliling sumur uji maka periode pemulihan semakin cepat. Adapun uraian tentang periode *recovery* dari sumur kontrol dan sumur uji, secara berturut-turut dibahas sebagai berikut:

Dapat dilihat pada hasil akumulasi fluktuasi muka air tanah pada sumur kontrol (Gambar 13), periode *recovery* baru terjadi pada hujan ke 16. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemulihan pada sumur kontrol berjalan cukup lambat. Pada sumur uji 1 dengan pemasangan 8 pengimbuhan (Gambar 14), periode *recovery* justru berlangsung sedikit lebih cepat dari sumur kontrol yaitu pada hujan ke-15.

Terlihat juga hasil akumulasi fluktuasi muka air tanah pada sumur uji 2 dengan pemasangan 16 pengimbuhan (Gambar 15), periode *recovery* terjadi pada hujan ke-14. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemulihan pada sumur uji 2 berlangsung lebih cepat dari sumur kontrol dan sumur uji 1. Pada sumur uji 3

dengan pemasangan 32 pengimbuhan (Gambar 16), periode *recovery* berlangsung sedikit lebih cepat dari sumur uji 2 yaitu pada hujan ke-13.

Pada hasil akumulasi fluktuasi muka air tanah pada sumur uji 4 dengan pemasangan 64 pengimbuhan (Gambar 17), periode *recovery* terjadi pada hujan ke - 12. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemulihan pada sumur uji 4 berlangsung lebih cepat dari sumur kontrol; sumur uji 1; sumur uji 2; dan sumur uji 3. Sedangkan pada sumur uji 5 dengan pemasangan 128 pengimbuhan (Gambar 18), periode *recovery* berlangsung lebih cepat lagi dari sumur kontrol maupun sumur uji yang lain yaitu pada hujan ke-11.

Dari uraian di atas dapat dilihat bahwa periode *recovery* tanpa pengimbuhan buatan berlangsung lambat karena lapisan tanah *semi-permeable* sehingga pengisian air pada pori berlangsung cukup lambat. Sedangkan, pada sumur uji dengan pemasangan pengimbuhan berlangsung lebih cepat dikarenakan bambu membantu mempercepat pengisian air dalam pori tanah, semakin banyak bambu pengimbuhan yang dipasang pada sumur uji, maka periode *recovery* lebih cepat terjadi. Sebaliknya, semakin sedikit pengimbuhan yang dipasang pada sumur uji, maka periode *recovery* berlangsung lebih lambat.

4. Pengaruh Jumlah Pengimbuhan terhadap Akumulasi Penurunan dan Akumulasi Kenaikan Muka Air Tanah

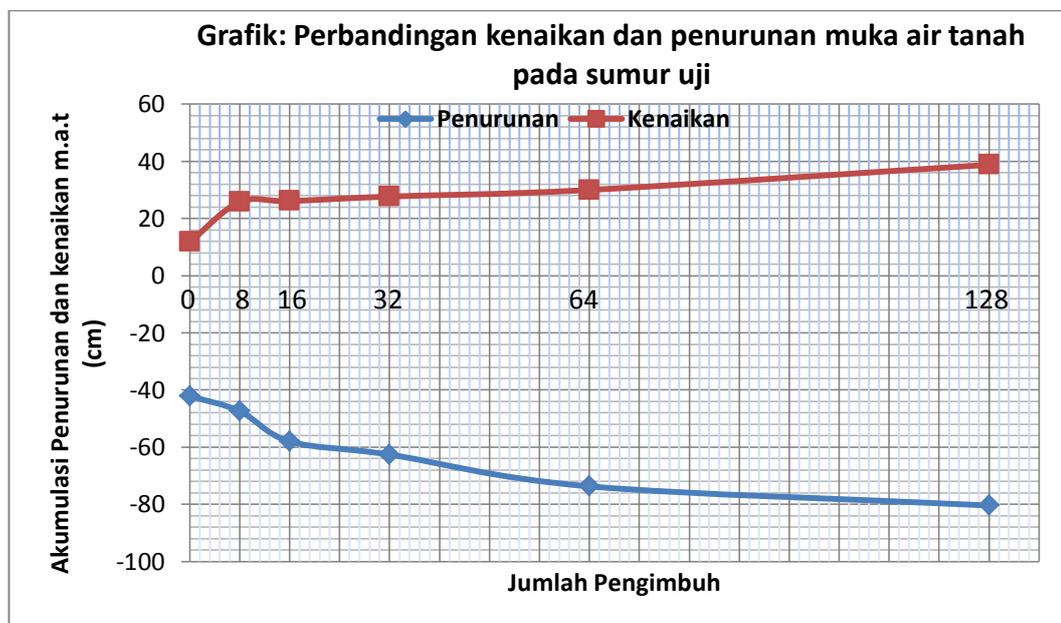
Di awal pembahasan, disimpulkan adanya fenomena yang terjadi di setiap sumur pada awal hujan yakni sama-sama mengalami penurunan muka air tanah. Seperti hipotesa awal, kemungkinan fenomena ini diakibatkan oleh volume udara

di dalam rongga pori tanah semakin kecil akibat infiltrasi air permukaan ke dalam lapisan tanah yang mengakibatkan peningkatan tekanan kapiler sehingga air tanah teabsorpsi ke atas dan mengakibatkan penurunan elevasi muka air tanah. Setelah fenomena penurunan muka air tanah berhenti (memasuki kondisi normal), akan terjadi kenaikan muka air tanah yang berbanding lurus dengan banyaknya jumlah pengimbu. Adapun gambaran mengenai penurunan dan kenaikan muka air tanah dapat dilihat pada Tabel 13 dan Gambar 18 berikut.

Tabel 16. Akumulasi Penurunan dan Kenaikan Muka Air Tanah Minimum.

Jumlah Pengimbu	0	8	16	32	64	128
Penurunan m.a.t	- 42,1	- 47,4	- 58,0	- 62,6	- 73,7	- 80,4
Kenaikan m.a.t	11,8	25,8	26,1	27,7	30,0	38,8

Dari hasil tabel akumulasi muka air tanah di atas kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 20. Grafik Akumulasi Penurunan Muka Air Tanah Minimum.

Dari tabel 16 dan gambar 20 dapat dilihat proses penurunan muka air tanah minimum yang terjadi pada setiap sumur secara berturut-turut; sumur kontrol tanpa perlakuan/pemasangan pengimbuah mengalami penurunan muka air tanah minimum sampai pada elevasi -42,1 cm dan kenaikan muka air tanah maksimum sampai pada elevasi +11,8 cm. Sumur uji 1 dengan pemasangan 8 pengimbuah mengalami penurunan muka air tanah sampai pada elevasi -47,4 cm dan kenaikan muka air tanah maksimum sampai pada elevasi +25,8 cm. Sumur uji 2 dengan pemasangan 16 pengimbuah mengalami penurunan muka air tanah minimum sampai pada elevasi -58,0 cm dan kenaikan muka air tanah maksimum sampai pada elevasi +26,1 cm. Sumur uji 3 dengan pemasangan 32 pengimbuah mengalami penurunan muka air tanah minimum sampai pada elevasi -62,6 cm dan kenaikan muka air tanah maksimum sampai pada elevasi +27,7 cm. Sumur uji 4 dengan pemasangan 64 pengimbuah mengalami penurunan muka air tanah minimum sampai pada elevasi -73,7 cm dan kenaikan muka air tanah maksimum sampai pada elevasi +30,0 cm. Sumur uji 5 dengan pemasangan 128 pengimbuah mengalami penurunan muka air tanah minimum sampai pada -80,4 cm dan kenaikan muka air tanah maksimum sampai pada +38,8 cm..

Dari hasil uraian di atas dapat dikatakan bahwa penurunan muka air tanah minimum dan kenaikan muka air tanah maksimum terjadi pada setiap sumur uji. Namun penurunan dan kenaikan muka air tanah terbesar terjadi pada sumur uji dengan pemasangan 128 pengimbuah (sumur uji 5).

Penurunan yang terjadi di awal hujan pada setiap sumur terjadi karena volume air yang berinfiltrasi belum melebihi kapasitas daya ikat tanah, sehingga

aliran air di dalam tanah belum memasuki proses perkolasi. Peningkatan kadar air tanah di lapisan permukaan memperkecil pori udara yang dapat mengakibatkan peningkatan daya ikat partikel tanah terhadap air pada lapisan tanah di bawahnya, sehingga tekanan kapiler dalam lapisan tanah meningkat. Penggunaan bambu rongga mampu mempercepat peningkatan kadar air lebih cepat.

5. Pengaruh Formasi Pengimbuhan terhadap Akumulasi Penurunan dan Akumulasi Kenaikan Muka Air Tanah

Formasi berbanding lurus dengan jumlah pengimbuhan yang dipasang mengelilingi sumur yang diuji. Dari hasil penelitian terdapat 4 formasi pengimbuhan, masing-masing formasi yaitu satu baris, dua baris, tiga baris dan empat baris pengimbuhan. Formasi pengimbuhan yang bervariasi dimaksudkan untuk melihat perubahan volume imbuhan yang diakibatkan oleh formasi pengimbuhan yang terpasang disetiap sumur uji.

Formasi pengimbuhan berpengaruh pada kenaikan dan penurunan muka air tanah, semakin banyak jumlah baris yang mengelilingi sumur uji maka penyebaran infiltrasi akan semakin luas dan mempercepat pengisian pori tanah. Sebaliknya formasi dengan jumlah satu baris justru memperlambat pengisian pori tanah karena baris pengimbuhan berbanding lurus dengan jumlah pengimbuhan.

Lapisan tanah yang *semi-permeable* dengan ukuran pori yang kecil sangat sulit meloloskan air melalui pori-pori tanah, sehingga apabila curah hujan besar turun maka akan terjadi aliran permukaan. Untuk mengatasi laju infiltrasi yang lambat pada tanah dilakukan pembuatan imbuhan buatan berupa penarapan bambu

rongga. Dengan pemasangan bambu rongga untuk membantu meloloskan air ke dalam tanah akan mempercepat laju infiltrasi, semakin banyak bambu yang dipasang maka laju infiltrasi semakin cepat. Selain itu formasi pengimbuhan juga mempengaruhi fluktuasi muka air tanah. Jumlah baris pengimbuhan berbanding lurus dengan jumlah titik imbuhan yang dipasang mengelilingi sumur uji, sehingga mampu meningkatkan penyebaran infiltrasi ke dalam tanah. Penyebaran infiltrasi akan mempercepat pengisian air dalam pori tanah, sehingga volume air dalam tanah akan semakin besar.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

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

- 1) Penggunaan bambu rongga sebagai bahan pengimbuah efektif digunakan untuk meningkatkan kapasitas air tanah. Semakin banyak bambu rongga yang digunakan maka nilai efektivitas sumur akan semakin tinggi.
- 2) Fluktuasi muka air tanah meningkat berbanding lurus dengan banyaknya jumlah pengimbuah yang dipasang pada setiap sumur yang diuji. Semakin banyak jumlah pengimbuah yang dipasang maka fluktuasi muka air tanah semakin besar, baik berupa penurunan muka air tanah pada awal musim hujan, maupun fluktuasi kenaikan muka air tanah pada saat puncak musim hujan.
- 3) Banyaknya jumlah dan formasi pengimbuah mempengaruhi periode *recovery*, semakin banyak jumlah pengimbuah yang dipasang maka periode *recovery* akan berlangsung lebih cepat. Periode *recovery* adalah waktu hujan yang diperlukan untuk mengembalikan muka air tanah ke level sebelum hujan, yang mengalami penurunan saat awal hujan.

B. Saran

Dengan menyadari keterbatasan penulis dalam melakukan penelitian ini, maka untuk penelitian selanjutnya perlu penulis menyarankan beberapa hal, antara lain:

- 1) Perlu dilakukan penelitian dengan jumlah dan formasi titik imbuhan yang lebih bervariasi dan lebih banyak.
- 2) Perlu dilakukan penelitian pada lahan dengan kondisi tanah yang berbeda dengan yang penulis telah lakukan.
- 3) Dalam pelaksanaan penelitian sangat dibutuhkan ketelitian, ketekunan, kesabaran dan komitmen dalam usaha mengumpulkan data yang akurat, valid dan akuntabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chow *et al.* 1988. *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company. New York.
- Danaryanto *et al.* 2005. *Air Tanah di Indonesia dan Pengelolaannya*. Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta, 2005.
- Danaryanto *et al.* 2007. *Kumpulan Panduan Teknis Pengelolaan Air Tanah*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung, 2007.
- Darwis. 2015. *Konservasi Air Tanah Berbasis Pemberdayaan Petani Pemakai Irigasi Air Tanah (Suatu Studi Eksperimen di Kab. Takalar)*. Disertasi: Doktor.
- Darwis *et al.* 2012. *Pemodelan Formasi Sumur Resapan untuk Recovery Air Tanah dan Pencegahan Intrusi Air Laut ke Lapisan Tanah pada Lahan Pertanian di Kabupaten Takalar*, Laporan Hasil Penelitian Hibah Bersaing Depdikbud, Desember 2012.
- Darwis *et al.*, 2014. *Groundwater Level and Salinity Degradasi in From Land Through Groundwater Pumping Irrigation System Coastal Area in Takalar Regency modern applied science, vol 8. No 4, Published by Canadian Center of Science and Education*. Juli, 29. 2014
- Darwis *et al.* 2015. *Shallow Groundwater Conservator Based Empowerment and its Influemen Factor by Groundwater User Farmers in Takalar Regency. Hidrology Current Researcel*. January, 14. 2015
- Darwis *et al.* 2017. *Extension About the Groundwater Conservation and its Influemen on Farmers Knowledge and Attitude in Takalar regency. International Journal of Civil and Enviromental Engineering*, October 2017.
- Darwis *et al.* 2017. *Pengaruh Jumlah Bambu-Rongga sebagai Alat Pengimbuah terhadap Durasi Kejut Kapiler dan Waktu Pemulihan muka air tanah pada Periode Awal Musim Penghujan*. Prosiding Seminar Hasil Teknologi; Green Konstruksi, Universitas Bosowa, 4 Desember 2017

- Darwis et al. 2017. *Teknologi Bambu-Rongga, sebuah Inovasi dalam Pengembangan Teknologi Konservasi Air Tanah*. Jurnal Kokol. Prodi Teknik Sipil UNIBOS, Vol. 18 no.3, Edisi Desember 2017.
- Das, Braja M. 1994. *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis, Mekanika Tanah*. Jakarta, 13740: Penerbit Erlangga.
- Davie Tim. 2008. *Fundamentals of Hydrology, 2nd edition*. Routledge Taylor & Francis Group Publisher. New York, NY 10016. 2008.
- Effendi, S. 1989. *Metode Penelitian Survey*. LP3ES. Jakarta
- Fathurrohman Muhammad. 2013. Definisi Konservasi Lingkungan, (<https://muhfathurrohman.wordpress.com/2013/01/23/definisi-konservasi-lingkungan>, diakses tanggal 06 Maret 2016).
- Hansbo, S. (1975), *Jordmateriallara*. Almqvist & Wiksell Forlag AB. Stockholm, pp.218.
- Hardiyatmo, HC. 2012. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardjowigeno. 1992. *Ilmu Tanah*. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- H.A.S Moenir. 1992. *Manajemen Pelayanan Umum di Indonesai*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Holtz and Kovacs. "An Introduction to Geotechnical Engineering", Printice Hall, 1981.
- Koduatie, RJ., dan Roestam, S. 2005. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Mahmudi. (2005). *Manejemen Kinerja Sektor Publik*. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- Sophocleous et al. 2010. Groundwater Recharge. *Groundwater Journal* Vol.1. 2010 : 1-8.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Suharta, N., dan B.H. Prasetyo. 2008. *Susunan Material dan Sifat Fisika-kimia Tanah*. Jurnal Tanah dan Iklim 28: 1-14.
- Susanto, Astrid S. (1975). *Pendapat Umum*. Bandung: Bina Cipta.

Sutandi, MC. 2012. *Air Tanah*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha.

Terzaghi, K. And Peck, R.B. (1948; 1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice, 2 nd*. Ed. John Wiley and Sons, New York.

Triadmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.

-----, 1974. Undang undang RI No. 11 Tahun 1974 tentang pengairan.

-----, 2012. Peraturan Menteri ESDM No. 15 Tahun 2012 tentang Penghematan Penggunaan Air Tanah.

-----, 2014. Undang undang RI No. 37 Tahun 2014, tentang Konservasi Air Tanah.