

DISERTASI

**MODEL SALURAN DRAINASEBERPORI
UNTUK MEREDUKSI GENANGAN BANJIR PERKOTAAN**

Porous Drainage Channel Model to Reduced Flood
in Urban Area

FENTI DAUD. S/ P0800310001



**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2015**

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji dan Syukur kehadirat Allah SWT penulis panjatkan atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis mampu menyusun dan menyelesaikan disertasi ini.

Selama menjalani pendidikan S3, penulis menghadapi begitu banyak kendala, terutama pada saat penelitian serta penulisan disertasi, tetapi berkat dukungan maupun bantuan dari berbagai pihak semua kendala dapat teratasi. Karenanya, perkenankanlah penulis menyampaikan ungkapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis selama pendidikan, penelitian sampai penulisan disertasi.

Kepada Prof.Dr.Ir. Mary Selintung, M.Sc sebagai ketua komisi penasehat(promotor), Prof.Dr.Ir. H. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng dan Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, MT. sebagai anggota komisi penasehat (kopromotor) penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas kesediaan meluangkan waktu untuk memberikan bantuan, arahan serta bimbingan mulai dari penelusuran topik, pelaksanaan penelitian sampai dengan selesainya disertasi ini. Semoga Allah SWT membalas amal kebbaikannya dengan berlipat ganda. Selanjutnya kepada Prof. Dr. Ir. Sobriyah Kauman, M.S sebagai penguji eksternal, Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng, Prof. Dr. Ir. H. Ahmad Munir, M.Sc, Dr. Eng. Ir. Farouk

Maricar, M.T, Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT sebagai penguji internal atas segala saran, masukan dan koreksi untuk perbaikan disertasi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada suami tercinta Prof. Dr. Ir. H. Aris Baso, MS., yang memberikan perhatian yang luar biasa serta senantiasa membantu dengan penuh cinta kasih, juga kepada anak-anakku ku Indah Chaerunnisa dan Muh. Aji Ismail atas pengertian dan keikhlasannya selama penulis mengikuti pendidikan.

Ucapan terima kasih setulus-tulusnya penulis haturkan kepada kedua orang tua terkasih, Ayahanda almarhum H.M.R. Amin Daud dan Ibunda almarhumah Hj. Rosmani Amin yang telah membesarkan dan mendidik penulis, juga kepada mertua terkasih, Bp. H.M.Andi Baso Amin dan Ibu Hj. Andi Tenri, juga kepada seluruh keluarga yang telah membantu dan mendoakan, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini. Pada kesempatan ini saya juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kemenakan tersayang Siti Fuadillah, ST, MT, Siti Nurul Maghfirah, Nunik Widiyani, kakak-kakakku tersayang Ir. Yusni Mustari, MS, Prof. Dr. Ir. Itji Diana Daud, MS, yang selalu siap membantu penulis apapun juga. Terima kasih juga kepada Rektor Universitas Hasanuddin, Direktur Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, para dosen S3 Teknik Sipil serta staf administrasi Pascasarjana

dan Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang membantu penulis selama proses perkuliahan, penelitian dan penyelesaian administrasi akademik. Selanjutnya kepada Kepala dan staf pada Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin Kepala dan staf pada Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin yang bersedia untuk membantu selama pengujian pada penelitian ini.

Penulis juga menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar, Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar yang memberikan izin dan bantuan kepada penulis melanjutkan studi pada Program S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tidak terlupakan terima kasih kepada sesama mahasiswa Program S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin, khususnya angkatan 2010 dan rekan dosen, laboran, staf administrasi Universitas Muhammadiyah Makassar yang telah memberikan dukungan, doa dan motivasi selama penulis mengikuti perkuliahan, penelitian serta penyusunan disertasi ini. Penyusunan disertasi ini tentunya belum sempurna dan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki, untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mohon masukan dan kritik yang membangun demi sempurnanya disertasi ini. Semoga dapat bermanfaat. Amin.

Makassar, Januari 2015
Fenti Daud Sindagamanik

ABSTRAK

FENTI DAUD, Model Saluran Drainase Berpori Untuk Mereduksi Genangan Banjir Perkotaan (dibimbing oleh Mary Selintung, Muh. Saleh Pallu, Arsyad Thaha).

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Melakukakan analisis pengaruh tinggi muka air, kedalaman lubang pori, diameter lubang pori, tinggi tekanan dan koefisien permeabilitas tanah terhadap debit infiltrasi; (2) Menemukan model persamaan yang digunakan secara general dalam perencanaan saluran drainase berpori.

Jenis Penelitian ini adalah penelitian eksperimental laboratorium dengan skala model 1:1. Penelitian ini menggunakan sampel tanah sebagai media infiltrasi. Sampel tanah diambil berdasarkan tekstur tanah pada 3 titik pengamatan di Kota Makassar. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Hasil penelitian ini menunjukkan parameter tinggi muka air, diameter lubang, kedalaman lubang, koefisien permeabilitas tanah berbanding lurus terhadap debit infiltrasi, dimana berdasarkan analisa dimensi diperoleh persamaan model empiris debit infiltrasi saluran drainase berpori $q_{DP} = K_f q_{darcy}$ dimana $K_f = 0,7302 \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \right] \left[\frac{dhD}{(T-d)^3} \right] + 5,1945$.

Kata Kunci :Infiltrasi, Saluran drainase berpori

ABSTRACT

FENTI DAUD, Porous Drainage Channel Model to Reduced Flood in Urban Area (supervised by Mary Selintung, Muh. Saleh Pallu, and Arsyad Thaha).

The study aims to describe the performance of porous drainage channel, observe the impact of the level of surface water, the depth of the pore hole, the hole diameter, the pressure height, and the soil permeability coefficient on the infiltration discharge, and seek for equation model is used in general to plan for porous drainage channel.

The study was laboratory experimental research with a model scale of 1:1 using oil sampel as infiltration media. Soil sampel were collected based on the soil texture from 3 observation spots in Makassar. The study was conducted in Hydraulic Laboratory of Civil Engineering Department of Faculty of Engineering, Hasanuddin University.

Result of the research showed the level of surface water, the depth of the pore hole, the hole diameter, the pressure height, and the soil permeability coefficient equivalent toward the infiltration discharge. The study indicates positive parameter influence on the infiltration debit. Based on non-dimensional analysis, an empirical equation of infiltration debit of porous drainage channel is $q_{DP} = K_f q_{darcy}$ in which

$$K_f = 0.7302 \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \right] \left[\frac{dhD}{(T-d)^3} \right] + 5.1945.$$

Key words : Infiltration, Pore drainage hole

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	i
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTARTABEL	viii
DAFTARGAMBAR	ix
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	7
D. Kegunaan Penelitian	7
E. Ruang Lingkup	8
F. Kebaruan Penelitian (Novelty)	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Banjir	10
B. Karakteristik Tanah	13
C. Teori Aliran Tanah	17
D. Sumur Resapan Air Hujan	19
E. Lubang Resapan Biopori (LRB)	21
F. Perencanaan Sistem Drainase Berkelanjutan	24
G. Kondisi Air Tanah	28

H. Resapan Air dan Porositas Tanah	30
I. Penambahan Imbuhan Air Tanah	34
J. Penelitian Terdahulu	35
III. METODE PENELITIAN	
A. Jenis, Lokasi dan Waktu Penelitian	39
B. Rancang Penelitian	40
1. Kerangka Pikir	40
2. Langkah Penelitian	41
3. Rancang Model Fisik	43
4. Bahan dan Alat	44
C. Desain Penelitian	46
D. Defenisi Operasional	50
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Karakteristik Tanah	51
1. Pengujian Tanah	51
2. Karakteristik Tanah	52
3. Kompaksi Tanah	53
B. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam debit Infiltrasi	55
1. Kondisi Hidrostatik	55
2. Kondisi Hidrodinamis	74
C. Analisa Dimensi	83
D. Uji Hubungan Antar Parameter	86
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	93
B. Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	101

DAFTAR TABEL

nomor halaman

1. Porositas dan Permeabilitas Beberapa Type Batuan	29
2. Nilai Laju Infiltrasi Beberapa Jenis Tanah	31
3. Simulasi Parameter pada Kondisi Hidrostatik	48
4. Variasi Parameter Pengujian Kondisi Hidrodinamis	49
5. Hasil Pemeriksaan Laboratorium Tanah Sampel	51
6. Karakteristik Tanah Sampel untuk Media Infiltrasi	52
7. Berat Jenis Tanah Sampel	53
8. Berat Tanah yang dibutuhkan untuk Kondisi Hidrostatik	54
9. Berat Tanah yang dibutuhkan untuk kondisi Hidrodinamis	54
10. Data Kondisi Hidrostatik	57
11. Data Debit Infiltrasi Pada Jenis Tanah	67
12. Tabel Debit Infiltrasi untuk Berbagai Gradient Hidraulik, Diameter Lubang, Kedalaman Lubang dan Tinggi Muka Air	73
13. Data Debit Infiltrasi Untuk Berbagai Jarak Lubang, Debit Pengaliran, Kedalaman Lubang dan Jenis Tanah	82

DAFTAR GAMBAR

nomor halaman

1. Kondisi banjir di kota Makassar	2
2. Segitiga struktur tanah	15
3. Sumur Resapan Air Hujan	20
4. Contoh Lubang Resapan Biopori	21
5. Saluran Drainase Konvensional	26
6. Contoh Sumur Resapan Air Hujan	27
7. Pengambilan Sampel dan hasil Sampel	39
8. Kerangka Pikir	40
9. Pembuatan tanah sampel	42
10. Hasil Pembuatan tanah sampel yang terdiri dari tanah, pasir dan liat	42
11. Model untuk Kondisi Hidrostatik	43
12. Model untuk Kondisi Hidrodinamis	44
13. Pengambilan Data di Laboratorium	46
14. Bagan Alir Penelitian	47
15. Model pada kondisi Hidrostatik	56
16.(a). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 2cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 15 cm	58
16.(b). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 2cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 20 cm	59
16.(c). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 2cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 25 cm	59

17.(a). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 5cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 15cm	61
17.(b). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 5cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 20cm	61
17.(c). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 5cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 25cm	62
18.(a). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 8cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 15 cm	63
18.(b). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 8cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 20 cm	63
18.(c). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah terhadap Debit Infiltrasi dengan Diameter Lubang Pori (d) 8cm Terhadap Berbagai Tinggi Muka Air (h) 25 cm	64
19.(a). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,017	67
19.(b).Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,006	67
19.(c).Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,003	68

20.(a). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,017	68
20.(b). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,006	69
20.(c). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,003	69
21.(a). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,017	70
21.(b). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,006	70
21.(c). Pengaruh Gradient Hidraulik (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,003	71
22. Model pada Kondisi Hidrodinamis	74
23.(a). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 15 cm Pada Debit Pengaliran 0,8 dm ³ /detik	77
23.(b). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 15 cm Pada Debit Pengaliran 1,5 dm ³ /detik	77
23.(c). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 15 cm Pada Debit Pengaliran 2,5 dm ³ /detik	78

24. (a). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 20 cm Pada Debit Pengaliran 0,8 dm ³ /detik	78
24.(b). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 20 cm Pada Debit Pengaliran 1,5 dm ³ /detik	79
24.(c). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 20 cm Pada Debit Pengaliran 2,5 dm ³ /detik	79
25. (a). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 25 cm Pada Debit Pengaliran 0,8 dm ³ /detik	80
25.(b). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 25 cm Pada Debit Pengaliran 1,5 dm ³ /detik	80
25.(c). Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi dengan Kedalaman Lubang 25 cm Pada Debit Pengaliran 2,5 dm ³ /detik	81
26. Grafik bilangan tak berdimensi	85
27. Flowchart Uji Parameter	86
28. Interaksi Plot debit infiltrasi Kondisi Hidrostatik	89
29. Interaksi Plot debit infiltrasi Kondisi Hidrodinamis	92

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kota Makassar merupakan Ibukota Provinsi Sulawesi Selatan. Kota Makassar kini telah menjadi salah satu kota besar di Indonesia, seiring dengan pertumbuhan penduduk, penambahan jumlah pembangunan dan peningkatan infrastruktur kota yang amat pesat terkadang melampaui kemampuan prasarana dan sarana perkotaan yang telah ada. Salah satu permasalahan yang dialami adalah permasalahan drainase perkotaan. Penanganan drainase di Kota Makassar masih bersifat spasial sehingga tidak menyelesaikan genangan dan banjir secara tuntas. Hal ini diakibatkan alih fungsi lahan berupa padatnya permukiman, drainase yang memburuk, dan air limpasan dari wilayah dataran tinggi (Maros dan Gowa).

Hampir setiap musim hujan terjadi banjir di Kota Makassar. Berdasarkan data yang dihimpun Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Makassar, tercatat tujuh puluh lima kawasan permukiman penduduk yang menjadi langganan banjir saat musim hujan datang. Di tujuh puluh lima kawasan tersebut, terdapat 16.324 jiwa dari 4.866 Kepala Keluarga (KK) yang bermukim di kawasan tersebut. Data mengenai

banjir antara lain banjir yang terjadi ditahun 2013, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) di kota ini sudah mengevakuasi sedikitnya 1.500 warga yang berdomisili di Kecamatan Manggala terutama di Perumnas Antang (Tempo, 2013).



Gambar 1. Kondisi Banjir di Makassar, 2013

Akibat banjir tersebut, beberapa jalan utama di Makassar digenangi air hingga beberapa hari. Jalan utama yang menjadi langganan banjir adalah

:Sungai Saddang Baru, Pelita Raya, Urip Sumoharjo, AP Pettarani, Boulevard, Abd Daeng Sirua, Toddopuli, Tidung, Tamalate, Rappocini, Jalan Landak Baru, dan kawasan lainnya. Menurut Kimpraswil, (2006), bahwa beberapa faktor penyebab banjir antara lain; 1). Faktor hujan, 2). Faktor rusaknya retensi daerah aliran sungai (DAS), 3).Faktor kesalahan perencanaan pembangunan sungai, 4).Faktor kedangkalan sungai, 5). Faktor kesalahan tata wilayah dan pembangunan sarana prasarana, serta 6). Faktor perilaku masyarakat.

Banjir dapat terjadi sebagai akibat drainase yang tidak memadai sehingga kurang mampu menampung debit air. Disamping itu, minimnya ruang terbuka hijau sebagai areal resapan air, sebagaimana Lapangan Karebosi, yang awalnya diperuntukkan sebagai kawasan resapan air, kini menjadi mall di bawah tanah. Penyebab lainnya adalah drainase dialih fungsikan warga sebagai tempat pembuangan sampah, sehingga saluran tersumbat. Hal ini sejalan dengan pernyataan Busro (1990) bahwa dari aspek fisik beberapa faktor penyebab banjir antara lain : a). berkurangnya kawasan hutan lindung sebagai lahan konservasi sebagai akibat dikonversi menjadi kawasan pengembangan pemukiman kota, b). berkurangnya luasan tangkapan air atau *catchment area*, c). berkurangnya daya serap air pada sebagian permukaan tanah akibat dipadatkan atau ditutupi aspal dan bahan perkerasan jalan lainnya, d). kondisi jaringan drainase yang kurang lancar

akibat pendangkalan sehingga tidak berfungsi secara optimal, dan e). terjadinya sedimentasi dan pendangkalan pantai maupun muara sungai.

Hal lain yang menyebabkan terjadinya banjir adalah pesatnya pertumbuhan properti perumahan di kantong-kantong air yang mengabaikan saluran pembuangan. Tidak sedikit volume air yang hilang akibat pembangunan kawasan perumahan dan sarana publik lainnya seperti jalan raya. Prinsip-prinsip dalam dunia konstruksi seringkali kontradiktif dengan kaidah konservasi air, misalnya, pada pembangunan jalan raya, lapisan permukaannya dibuat agar air dari permukaan langsung dialirkan ke saluran drainase di sisi kiri dan kanan jalan sehingga tidak masuk ke dalam struktur perkerasan jalan di bawah pavement. akibatnya pada musim hujan, air dalam volume yang besar tidak diresapkan ke dalam tanah, tetapi langsung dibuang ke daerah limpasan, yang berakibat terjadinya banjir. Sementara itu, pada musim kemarau, daerah tadahan menjadi kekurangan air karena air yang seharusnya disimpan sebagai cadangan pada musim hujan langsung dilimpaskan begitu saja.

Upaya penanganan banjir di Kota Makassar tidak akan dapat menuntaskan persoalan jika hanya berputar pada upaya periferal pembersihan dan penggalian sedimen di saluran dan kanal. Hal ini dikarenakan jaringan dan dimensi saluran drainase kota ini sudah tidak memadai untuk melayani perkembangan kota yang semakin pesat. Apalagi

sistem drainase kota yang dibuat tahun 1985 ini selama hampir 30 tahun tidak diperbaharui, meskipun pada tahun 2004 sempat dibuat masterplannya. Sistem drainase di Makassar sudah perlu dibenahi secara total karena selama ini kita menggunakan sistem drainase lama yang sudah tidak sesuai dengan perkembangan pembangunan. Konsep drainase konvensional yang mengalirkan air buangan secepatnya ke hilir perlu direvisi dengan mengalirkan secara alamiah (lambat), sehingga tidak menimbulkan banjir di hilir (Kimpraswil, 2006).

Beberapa usaha mengatasi masalah banjir secara menyeluruh: 1) Upaya Struktur, mencegah meluapnya banjir sampai ketinggian tertentu dengan tanggul, 2) Merendahkan elevasi muka air banjir dengan: normalisasi, sodetan, banjir kanal, interkoneksi, 3) Memperkecil debit banjir dengan; waduk, waduk retensi banjir, banjir kanal interkoneksi, serta 4) Mengurangi genangan dengan; polder, pompa, dan sistem drainase. (Kimpraswil, 2006).

Lubang resapan biopori adalah metode resapan air dengan cara meningkatkan daya resap air pada tanah. Biopori adalah pori-pori berbentuk lubang (terowongan kecil) yang dibuat oleh aktivitas fauna tanah atau akar tanaman. Lubang resapan biopori merupakan lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10-30 cm dan kedalaman sekitar 100 cm, atau dalam kasus tanah dengan permukaan air tanah dangkal, tidak sampai melebihi kedalaman muka air tanah (Dinoleft, 2010).

Perlu adanya desain saluran drainase efektif, berwawasan lingkungan, yang bukan hanya berfungsi menampung dan mengalirkan air dari badan jalan tetapi sekaligus berfungsi sebagai media penyerapan air ke lapisan tanah yang ada di bawahnya. Hal ini diperlukan sebagai salah satu langkah preventif untuk mencegah debit air yang mengalir ke dalam bangunan saluran drainase melebihi kapasitas maksimum yang telah direncanakan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk meresapkan air tersebut adalah dengan membuat lubang pori atau lubang resapan di sepanjang bagian dasar saluran. Olehnya itu direncanakan untuk mengadakan penelitian skala laboratorium untuk mengetahui; jumlah, dimensi, bahan, dan jarak lubang pori yang efektif untuk meresapkan air dari badan saluran drainase ke lapisan tanah di bawahnya.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan bagi Pemerintah Kota Makassar dan pemerintah di kota-kota lainnya di Indonesia yang setiap tahun dilanda genangan banjir.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas beberapa hal yang menjadi rumusan masalah penelitian sebagai berikut :

1. Faktor apa yang paling berpengaruh terhadap infiltrasi pada saluran drainase berpori?

2. Bagaimana persamaan pengaruh parameter lubang pori dan aliran saluran drainase terhadap debit infiltrasi?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Melakukan analisis pengaruh tinggi muka air, kedalaman lubang pori, diameter lubang pori, tinggi tekanan dan koefisien permeabilitas tanah terhadap debit infiltrasi.
2. Menemukan model persamaan yang digunakan secara general dalam perencanaan saluran drainase berpori.

D. Kegunaan Penelitian

Hasil dari penelitian ini akan disampaikan dalam bentuk laporan dan rekomendasi untuk dipertimbangkan baik secara teknis, sosial-ekonomi, maupun lingkungan. Rekomendasi ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk pihak terkait atau relevan khususnya oleh pemerintah Kota Makassar.

Melalui teknologi drainase berpori ini, beberapa kegunaan yang diharapkan dapat diperoleh antara lain:

1. Mengurangi limpasan permukaan (*runoff*) dan erosi tanah.

2. Mereduksi dimensi jaringan drainase.
3. Ikut membantu melestarikan sumber daya air tanah, perbaikan kualitas lingkungan dan membudayakan kesadaran lingkungan.
4. Membantu menanggulangi kekurangan air bersih, sebab dengan lubang pori di dasar saluran akan menambah jumlah air yang masuk ke dalam tanah.
5. Menjaga keseimbangan air di dalam tanah
6. Mempertahankan tinggi muka air tanah dan mencegah penurunan tanah.

E. Ruang Lingkup

1. Pada Uji Model data debit infiltrasi diperoleh dari pengukuran air yang keluar pada bagian bawah model dan air yang terkandung pada media tanah.
2. Laju Peresapan dalam Penelitian ini dianggap mengarah kebawah karena lapisan tanah telah jenuh air.
3. Sampel tanah yang digunakan sebagai media infiltrasi diambil pada 3 lokasi sampel di Kota Makassar.

F. Kebaruan Penelitian (Novelty)

Kebaruan dari penelitian ini adalah inovasi sistim drainase berupa drainase berpori yang mampu meresapkan air kedalam tanah sehingga berpotensi mengurangi aliran permukaan. Melalui penelitian ini dihasilkan suatu formula empiris berupa koefisien spesifik infiltrasi (K_i) yang dipengaruhi oleh diameter lubang pori, kedalaman lubang pori, tinggi tekanan, koefisien permeabilitas tanah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Banjir

Dalam rangka otonomi daerah, Pemerintah pusat telah memberikan kesempatan dan keleluasaan kepada daerah untuk mengatur dan mengurus kepentingan masyarakat setempat menurut prakarsa sendiri berdasarkan aspirasi masyarakat (Situmorang 1999, dalam Sobriyah dan Wignyosukarto, 2001).

Pelaksanaan otonomi daerah dimaksudkan untuk pemberdayaan daerah, baik dalam mengelola PAD maupun penanggulangan permasalahan yang ada di daerah. Salah satu permasalahan yang sering timbul adalah banjir, baik di perkotaan, kawasan pemukiman, maupun di pedesaan (areal pertanian), hal mana memerlukan penanganan secara teknis dengan pendanaan besar, yang harus dilaksanakan oleh pemerintah dan peran serta masyarakat. Baik di pedesaan, perkotaan, di hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) maupun di hilir, kaya atau miskin, akademisi atau non akademisi, bahkan semua insan yang mempunyai hubungan dengan air (Sobriyah dan Wignyosukarto, 2001).

Luapan sungai berbeda dengan banjir dadakan karena banjir terjadi setelah proses yang cukup lama, sehingga terasa mendadak dan

mengejutkan. Selain itu banjir luapan sungai kebanyakan bersifat musiman atau tahunan dan bisa berlangsung selama berhari-hari atau berminggu-minggu tanpa berhenti. Penyebabnya adalah hutan gundul, kelongsoran pada daerah-daerah yang biasanya mampu menahan kelebihan air, ataupun perubahan suhu/musim, atau terkadang akibat kedua hal itu sekaligus. Faktor penyebab banjir antara lain: 1). Faktor hujan, 2). Faktor rusaknya retensi daerah aliran sungai (DAS), 3).Faktor kesalahan perencanaan pembangunan sungai, 4).Faktor kedangkalan sungai, 5). Faktor kesalahan tata wilayah dan pembangunan sarana dan prasarana, dan 6). Faktor perilaku masyarakat (Kimpraswil, 2006).

Dari aspek fisik, beberapa faktor penyebab banjir, antara lain: a). berkurangnya kawasan hutan lindung sebagai lahan "konservasi" sebagai akibat dikonversi menjadi kawasan pengembangan pemukiman kota, b). berkurangnya luasan tangkapan air atau catchment area, c). berkurangnya daya serap air sebagian permukaan tanah dikarenakan semakin banyaknya permukaan tanah yang dipadatkan atau tertutup aspal dan bahan perkerasan jalan lainnya, d). kondisi jaringan drainase yang kurang lancar akibat pendangkalan sehingga tidak berfungsi secara optimal, dan e). terjadinya sedimentasi dan pendangkalan pantai maupun muara sungai (Busro, 1990).

Banjir kiriman adalah banjir yang sepanjang sistem sungainya (yang meliputi induk sungai dan anak-anak sungai), mampu membanjiri wilayah

luas dan mendorong peluapan air di dataran rendah. Besarnya banjir tergantung kepada beberapa faktor, di antaranya; 1) kondisi tanah (kelembaban, vegetasi), 2) perubahan suhu/musim, 3) keadaan permukaan tanah yang tertutup rapat oleh bangunan; batu bata, blok-blok semen, beton, pemukiman/perumahan dan 4). hilangnya kawasan-kawasan tangkapan air/alih fungsi lahan (Asdak, 2004).

Metode pengendalian banjir yang sering digunakan adalah dengan membuat tanggul-tanggul agar dapat menahan banjir di dalam sungai, dan membuat waduk-waduk agar dapat menampung banjir untuk kemudian disalurkan dengan kecepatan aliran yang cukup lambat, sehingga dapat mencegah kerusakan akibat banjir di bagian hilir. Namun demikian, tanggul-tanggul pengendalian banjir seperti itu sebenarnya akan meningkatkan bahaya banjir, sebagai akibat volume air banjir tidak berkurang, bahkan sebaliknya meningkat (Goldsmith, 1993:162).

Dalam bencana apapun tiap kali ada kejadian baru data seputar bencana harus selalu ada untuk dipelajari terus menerus, sebagai bahan kajian perbandingan dengan peristiwa-peristiwa banjir terdahulu dan sebagai dasar informasi peringatan yang akan disampaikan kepada masyarakat yang beresiko dilanda banjir. Data yang dimaksud meliputi; 1). Analisis kekerapan banjir, 2). Pemetaan tinggi rendahnya permukaan tanah (topografi), 3). Pemetaan bentangan daerah seputar sungai (kontur sekitar sungai)

lengkap dengan perkiraan kemampuan sungai itu untuk menampung lebih air, 4).Kemampuan tanah untuk menyerap air, 5).Catatan pasang surut gelombang laut (untuk kawasan pantai/pesisir), 6).Kekerapan badai, 7).Geografi pesisir/pantai, dan 8).Ciri-ciri banjir (Kodoati dan Sugiyanto, 2002).

B. Karakteristik Tanah

Tanah diartikan sebagai himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas, terletak diatas batuan dasar. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2010). Proses pembentukan tanah akan mempengaruhi dari karekteristik masing-masing tanah yang terbentuk. Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan (Akhmad Azis, 2013). Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001mm.

Struktur Partikel Tanah

Struktur tanah didefinisikan sebagai susunan geometrik butiran tanah. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah adalah bentuk, ukuran, dan komposisi mineral dan butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Bentuk dan ukuran partikel serta distribusinya dalam komposisi

tanah disebut tekstur tanah. Tekstur tanah adalah keadaan tingkat kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, debu dan liat yang terkandung pada tanah (Badan Pertanahan Nasional). dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besar yaitu 2 – 0,05 mm, debu dengan ukuran 0,05 – 0,002 mm dan liat dengan ukuran < 0,002 mm (penggolongan berdasarkan USDA).

Sistem klasifikasi ini dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) sistem ini berdasar pada ukuran batas dari butiran tanah yaitu:

Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm

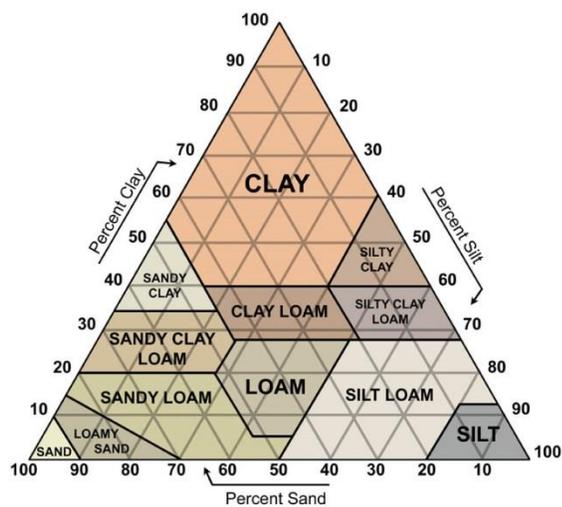
Debu : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm

Liat : butiran dengan diameter lebih kecil 0,002 mm

Keadaan tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap keadaan sifat-sifat tanah yang lain seperti struktur tanah, permeabilitas tanah, porositas dan lain-lain.

Segitiga tekstur merupakan suatu diagram untuk menentukan kelas-kelas tekstur tanah. ada 12 kelas tekstur tanah yang dibedakan oleh jumlah persentase ketiga fraksi tanah tersebut, misalkan hasil analisis lab

menyatakan bahwa persentase pasir (X) 32%, liat (Y) 42% dan debu (Z) 26%, berdasarkan diagram segitiga tekstur maka tanah tersebut masuk kedalam golongan tanah bertekstur pasir. Menurut Hardjowigeno (1992) tekstur tanah menunjukkan kasar halus nya tanah. Tekstur tanah merupakan perbandingan antara butir-butir pasir, debu dan liat. Tekstur tanah dikelompokkan dalam 12 klas tekstur. Kedua belas kelas tekstur dibedakan berdasarkan prosentase kandungan pasir, debu dan liat.



Gambar 2. Segitiga Tekstur tanah
(Sumber: Agroteknologi UMPAR. 2012)

Tanah bertekstur halus didominasi oleh tanah liat dengan tekstur yang lembut dan licin yang memiliki permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan tanah bertekstur kasar yang biasanya berbentuk pasir. Sehingga tanah-tanah yang bertekstur halus memiliki kapasitas dalam proses

penyerapan unsur-unsur hara yang lebih besar dibandingkan dengan tanah yang bertekstur kasar. Namun, pada tanah bertekstur lembut ini umumnya lebih subur dibandingkan dengan tanah bertekstur kasar. Karena banyak mengandung unsur hara dan bahan organik yang dibutuhkan oleh tanaman serta mudah dalam menyerap unsur hara.

Sedangkan pada tanah bertekstur kasar lebih porus dan laju infiltrasinya lebih cepat. Walaupun demikian tanah bertekstur halus memiliki kapasitas memegang air yang lebih besar daripada tanah pasir karena memiliki permukaan yang lebih banyak yang berfungsi dalam retensi air (water retention). Tanah-tanah bertekstur kasar memiliki makro porus yang lebih banyak, yang berfungsi dalam pergerakan udara dan air.

Semakin halus tekstur tanahnya maka kapasitas adsorpsi menahan unsur – unsur hara lebih besar, dan lebih banyak mengandung unsur hara dan bahan organik yang dibutuhkan tanaman, kapasitas memegang air juga lebih besar sebab memiliki permukaan yang lebih luas. Sedangkan tanah bertekstur kasar memiliki laju infiltrasi yang cepat dan lebih porus. Sehingga unsur hara akan ikut hanyut dan yang tertahan didalam tanah semakin sedikit.

1. Faktor yang Mempengaruhi tekstur dan yang Dipengaruhi Tekstur.

Faktor – Faktor yang mempengaruhi tekstur tanah yaitu :

- a. Iklim

- b. Bahan induk
- c. Topografi
- d. Waktu
- e. Organisme

Faktor – faktor yang dipengaruhi tekstur tanah yaitu :

1. Kemampuan tanah memegang dan menyimpan air
2. Aerasi, serta permeabilitas
3. Kapasitas tukar kation
4. Kesuburan tanah.

C. Teori Aliran Air Tanah

Aliran air tanah memerlukan energi untuk dapat bergerak mengalir melalui ruang antar butiran yang bersumber dari energi potensial, ini dicerminkan dari tinggi muka air pada tempat bersangkutan. Air tanah mengalir dari titik berenergi potensial tinggi ke arah potensial lebih rendah, antara titik-titik berenergi potensial sama tidak terdapat pengaliran air tanah. Garis khayal yang menghubungkan titik-titik yang sama energi potensialnya disebut garis kontur muka air tanah atau garis isohypse.

Menurut Wasposito (2002) dalam Azis (2013) secara hidrologis air di bawah permukaan tanah dapat dibedakan menjadi :

- a. Air pada daerah yang tak jenuh

Daerah tak jenuh yang umumnya terdapat pada bagian teratas dari lapisan tanah dicirikan oleh gabungan antara material padatan, air dalam bentuk air kapiler dan air infiltrasi serta gas dan udara.

- b. Air pada daerah jenuh

Daerah ini dipisahkan dari daerah jenuh oleh jaringan kapiler. Air yang berada pada daerah jenuh disebut air tanah (*Groundwater*)

1. Jenis Aliran Air Tanah

Aliran air tanah dapat dibedakan menjadi :

- a. Aliran Laminer

Aliran yang partikel-partikel airnya bergerak sejajar dengan kecepatan relatif lambat. Pada umumnya air tanah yang bergerak dalam media berpori bergerak secara laminar.

- b. Aliran turbulen

Aliran yang partikel-partikelnya bergerak secara berputar, biasanya mempunyai kecepatan yang besar. Aliran turbulen terjadi pada air tanah yang mengalir lewat rongga- rongga batuan yang besar.

Aliran air tanah lebih sering ditemukan dalam bentuk aliran laminar.

Aliran air tanah secara laminar ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. Aliran tetap atau aliran tunak yaitu aliran yang tidak berubah karena waktu. Aliran ini terjadi apabila ada keseimbangan antara air yang keluar dan masuk dari ke akuifer. Keadaan ini dapat ditunjukkan jika tinggi piezometrik relatif tinggi tidak berubah terhadap pertambahan waktu hanya dapat diamati pada uji pemompaan sampai tahap stabil tercapai.
- b. Aliran tidak tetap atau aliran tidak tunak yaitu aliran yang akan berubah karena waktu. Aliran tidak tunak terjadi apabila keseimbangan antara air yang masuk dan keluar tidak pernah tercapai. Keadaan ini dapat diketahui dari tinggi piezometrik yang mengalami perubahan terhadap waktu (Hardian, 2006)

Parameter dasar yang berhubungan dengan pergerakan aliran air melalui media berpori diantaranya koefisien permeabilitas, konduktivitas hidraulik (Munir dkk, 2009).

2. Teori Resapan

Air tanah memerlukan energy untuk dapat bergerak mengalir melalui ruang antar butiran yang bersumber dari energy potensial ini dicerminkan.

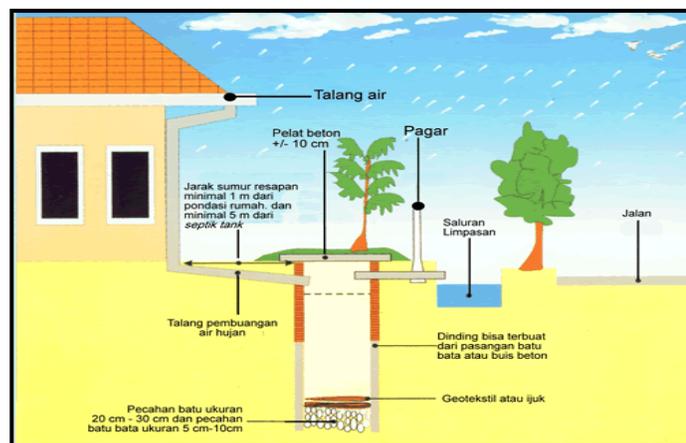
D. Sumur Resapan Air Hujan

Tidak sedikit volume air yang hilang akibat pembangunan kawasan perumahan dan sarana publik lainnya seperti jalan raya. Pada pembangunan jalan raya, lapisan permukaannya dibuat agar air dari permukaan langsung dialirkan ke saluran drainase di sisi kiri dan kanan jalan sehingga tidak masuk ke dalam struktur perkerasan jalan di bawah pavement. Akibatnya pada musim hujan, air dalam volume yang besar tidak diresapkan kedalam tanah, tetapi langsung dibuang ke daerah limpasan, yang berakibat terjadinya banjir di daerah-daerah limpasan. Sementara itu, pada musim kemarau, daerah tadahan menjadi kekurangan air karena air yg seharusnya disimpan sebagai cadangan pada musim hujan langsung dilimpaskan begitu saja.

Wasrif, et al, (2010) mengembangkan konsep pipa pori resapan (PPR) yang menggabungkan fungsi sumur resapan, lubang resapan biopori, dan pipa komposter resapan. PPR ini sangat memungkinkan untuk diterapkan di kawasan padat penduduk, sebab terbuat dari pipa pvc berdiameter 1-3 cm, yang pada bagian dasarnya mengadopsi konsep

resapan yang menggunakan kerikil sebagai pondasi, sehingga tidak menimbulkan ancaman ambrol di daerah sekitar pipa pori resapan. Selanjutnya pada badan pipa diberi lubang pori menggunakan prinsip pipa komposter yang diselimuti ijuk. Di ujung atas pipa mengaplikasi fungsi biopori dengan menambahkan kompos, sehingga dapat menampung air yang lebih banyak di banding dengan sumur resapan konvensional dengan rasio 15:1.

Sumur resapan juga berfungsi mencegah penurunan tanah, mengurangi genangan banjir dan aliran air di permukaan tanah, mengurangi meluasnya penyusupan/instruksi air laut ke arah daratan, dan menambah potensi air tanah (Suharta K, et all, 2008).



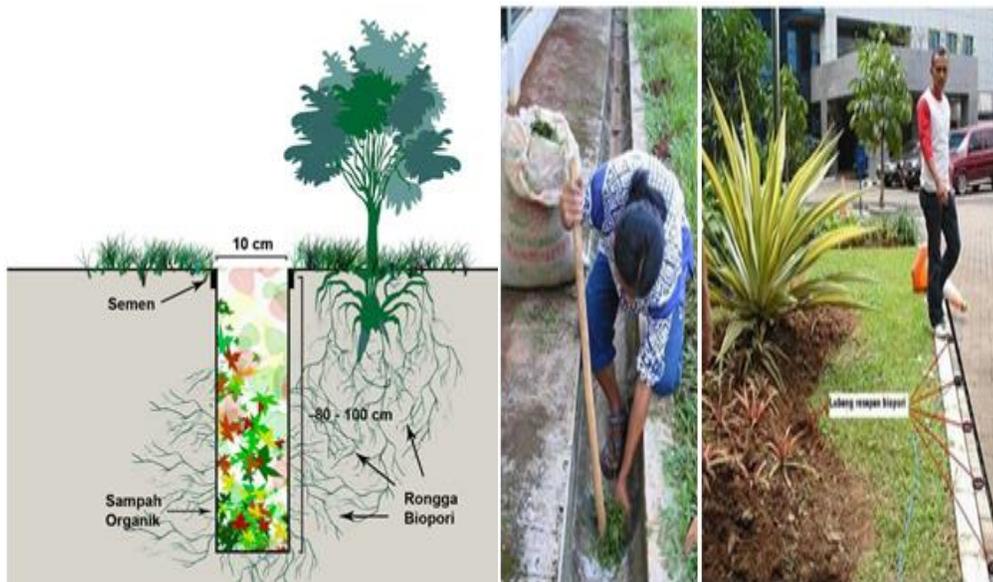
Gambar 3. Sumur Resapan Air Hujan
(Sumber: Suharta, K, et.all, 2008)

Sumur resapan merupakan sistem resapan buatan, yang dapat menampung air hujan yang sulit mengalir akibat adanya penutupan tanah oleh lantai bangunan maupun oleh halaman yang di-plester. Selain itu, sumur

resapan berfungsi untuk menampung, menyimpan dan menambah cadangan air tanah serta dapat mengurangi limpasan air hujan ke saluran pembuangan dan badan air lainnya sehingga dapat dimanfaatkan pada musim kemarau dan sekaligus mengurangi timbulnya banjir.

E. Lubang Resapan Biopori (LRB)

Lubang resapan biopori adalah metode resapan air dengan cara meningkatkan daya resap air pada tanah. Biopori adalah pori-pori berbentuk lubang (terowongan kecil) yang dibuat oleh aktivitas fauna tanah atau akar tanaman.



Gambar 4. Contoh Lubang Resapan Biopori (Dinolefty, 2010)

Lubang resapan biopori merupakan lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah dengan diameter 10-30 cm dan kedalaman sekitar 100 cm, atau dalam kasus tanah dengan permukaan air tanah dangkal, tidak sampai melebihi kedalaman muka air tanah, (Dinolefty, 2010). Untuk kasus permukaan air tanah yang dangkal, kedalaman lubang tidak sampai melebihi kedalaman muka air tanah. Lubang resapan kemudian diisi dengan sampah organik yang ditimbun pada lubang itu sehingga dapat menghidupi fauna tanah, yang seterusnya mampu menciptakan biopori (Dinolefty, 2010).

Manfaat Lubang Resapan Berpori:

1. Meningkatkan daya resapan air.
2. Membuat kompos alami dari sampah organik.
3. Mengurangi genangan air yang menimbulkan penyakit.
4. Mengurangi resiko banjir di musim hujan.
5. Memaksimalkan peran dan aktivitas flora dan fauna tanah.
6. Mencegah terjadinya erosi tanah dan bencana tanah longsor.

Ketersediaan air dan pengelolaan sampah ramah lingkungan dapat ditanggulangi bersama dengan teknologi Lubang Resapan Biopori (LRB). Teknologi LRB dianggap efektif dan ramah lingkungan karena menggunakan jasa hewan-hewan di dalam tanah seperti cacing dan rayap serta bantuan sampah organik untuk membentuk pori-pori alami dalam tanah sehingga air bisa terserap dan struktur tanah dapat diperbaiki (Wahyudi dkk, 2008).

Menurut Brata dan Nelistya (2008) biopori adalah ruang atau pori di dalam tanah yang dibentuk oleh makhluk hidup, seperti mikroorganisme tanah dan akar tanaman. Bentuk biopori menyerupai liang (terowongan kecil) di dalam tanah dan bercabang–cabang dan sangat efektif untuk menyalurkan air dan udara ke dalam tanah. Lubang pori terbentuk oleh adanya pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman, serta aktivitas fauna tanah seperti cacing tanah, rayap, dan semut di dalam tanah. Prinsip utama LRB adalah menghindari air hujan mengalir ke daerah yang lebih rendah dan membiarkannya terserap ke dalam tanah melalui lubang serapan tersebut.

Pori-pori yang terbentuk dapat meningkatkan kemampuan tanah menahan air dengan cara mensirkulasikan air dan oksigen ke dalam tanah. Jadi semakin banyak biopori di dalam tanah, semakin sehat tanah tersebut (Hakim, 2011).

Teknologi Biopori menggunakan lubang silindris vertikal dengan diameter relatif tidak terlalu besar namun efektif untuk meresapkan air tanah. Teknologi ini dianggap lebih efektif dan mudah untuk meresapkan air ke dalam tanah dibandingkan dengan sumur resapan. Sumur resapan memiliki ukuran cukup besar serta bahan pengisinya tidak dapat dimanfaatkan oleh biota tanah sebagai sumber energi dalam penciptaan biopori. Bahan-bahan halus yang terbawa air dan tersaring oleh bahan pengisi menyumbat rongga bahan pengisi sehingga menyebabkan laju resapan

menjadi lebih lamban. Selain itu, diameter lubang yang besar menyebabkan beban resapan meningkat dan menurunkan laju resapan (Alimaksum, 2010).

Efektifitas LRB mampu mengembalikan keseimbangan flora dan fauna di dalam tanah dengan pembentukan pori alami dan menunjukkan kemampuan resapan air ke dalam tanah semakin besar sehingga dapat mengurangi genangan air yang terdapat di permukaan (Rahmawati, 2011). Teknologi LRB juga cukup efektif dalam mengurangi debit limpasan permukaan pada daerah aliran sungai sehingga dapat menjadi alternatif mengatasi masalah drainase yang ramah lingkungan (Prayitno, 2010).

Lubang resapan biopori merupakan teknologi tepat guna dan ramah lingkungan untuk mengatasi banjir dengan cara meningkatkan daya resapan air. Kehadirannya secara langsung akan menambah bidang resapan air, setidaknya sebesar luas kolom atau dinding lubang. Dengan aktivitas fauna tanah pada lubang resapan maka biopori akan terbentuk dan senantiasa terpelihara keberadaannya. Karena itu bidang resapan ini akan selalu terjaga kemampuannya dalam meresap air. Dengan demikian kombinasi antara luas bidang resapan dengan kehadiran biopori secara bersama-sama akan meningkatkan kemampuan dalam meresapkan air (Suripin, 2004).

Melalui proses itu maka lubang resapan biopori selain berfungsi sebagai bidang peresap air juga sekaligus sebagai "pabrik" pembuat kompos. Kompos dapat dipanen pada setiap periode tertentu dan dapat dimanfaatkan

sebagai pupuk organik pada berbagai jenis tanaman, seperti tanaman hias, sayuran, dan jenis tanaman lainnya.

F. Perencanaan Sistem Drainase Berkelanjutan

Hingga saat ini perancangan drainase didasarkan pada filosofi bahwa air secepatnya mengalir dan seminimal mungkin menggenangi daerah layanan. Tapi dengan semakin timpangnya perimbangan air (pemakaian dan ketersediaan) maka diperlukan perancangan drainase yang berfilosofi bukan saja aman terhadap genangan tapi juga sekaligus berasas pada konservasi air (Sunjoto, 1987 dalam Muttaqin 2007).

Menurut Sucipto dan Agung Sutarto (2007), bahwa dalam perencanaan sistem drainase berkelanjutan, setidaknya dibutuhkan data yang meliputi:

1. Keadaan Topografi. Topografi adalah uraian ataupun keterangan terperinci (dengan peta) tentang daerah atau tempat, mengenai gunung-gunung, lembah-lembah, jalan-jalan dataran tinggi, dataran rendah dan sebagainya. Kondisi elevasi dan gradien dari daerah pengaliran mempunyai pengaruh terhadap sungai dan hidrologi daerah tersebut.
2. Data Debit Aliran Sungai. debit sungai yang didapat dari pengamatan digambarkan sebagai ordinat pada suatu grafik dan waktu

pengamatan sebagai absis, sehingga diperoleh suatu hidrograf aliran atau hidrograf muka air. Bentuk dari lengkung hidrografnya tergantung pada karakteristik hujan yang mengakibatkan aliran.

3. Analisa Data Hidrologi. Faktor hidrologi yang sangat berpengaruh dalam pengendalian banjir adalah curah hujan dan intensitasnya. Curah hujan merupakan salah satu faktor yang menentukan debit banjir bagi daerah tersebut. Semakin besar curah hujan yang terjadi maka semakin besar pula banjir yang akan diterima oleh dataran rendah akibat kiriman dari daerah atas maupun akibat hujan lokal.

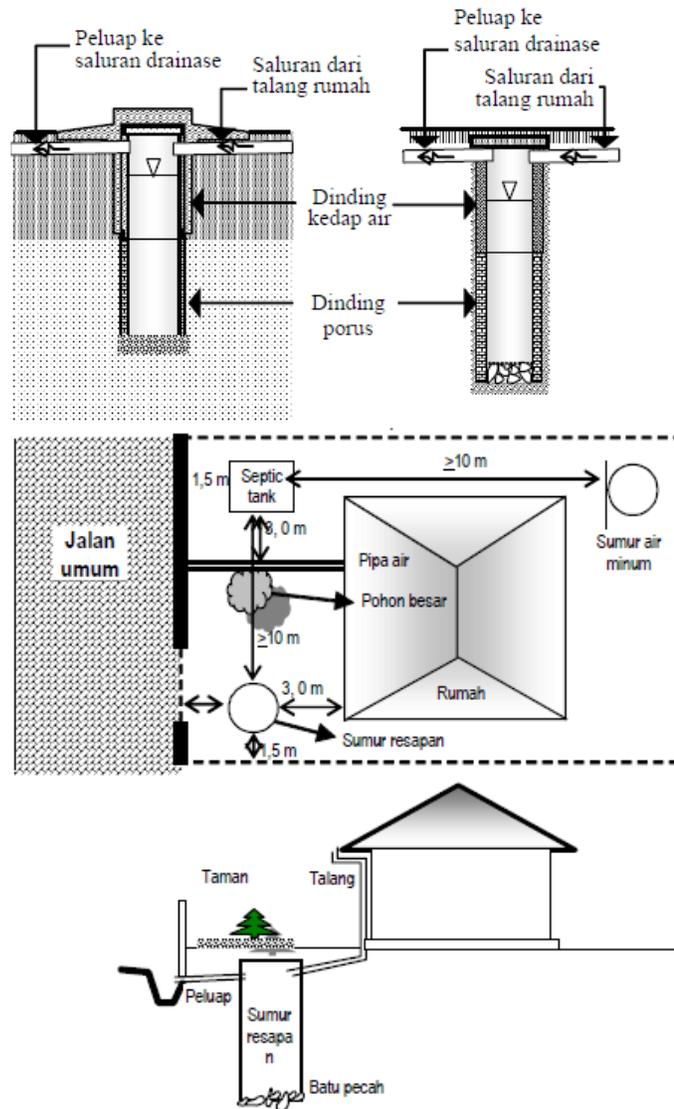


Gambar 5. Saluran Drainase Konvensional

Konsep drainase konvensional yang mengalirkan air buangan secepatnya ke hilir perlu direvisi dgn mengalirkan secara alamiah (lambat),

sehingga tdk menimbulkan banjir di hilir.(Kimpraswil, 2006).Merujuk pada konsep drainase yang berkelanjutan, struktur yang dapat dipilih adalah dengan pembuatan Sumur Resapan Air Hujan (SRAH), yang merupakan konsepsi perancangan drainase air hujan yang berasaskan pada konsevasi air tanah. Sistem drainase berkelanjutan haruslah dijadikan sebagai prioritas kegiatan. Hal ini dilakukan melalui pengelolaan limpasan permukaan dengan cara mengembangkan fasilitas penahan hujan.

Berdasarkan fungsinya, fasilitas penahan air hujan dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu tipe penyimpanan dan tipe peresapan (Suripin, 2004).



Gambar 6. Contoh Sumur Resapan Air Hujan
 (Sumber: Adi Yusuf Muttaqin, 2007)

Konsepsi perancangan drainase air hujan yang berasaskan pada konservasi air tanah pada hakekatnya adalah perancangan sistem drainase yang hanya menampung air dari halaman bukan dari atap. Air hujan yang jatuh di atap, ditampung pada suatu sistem resapan air.

G. Kondisi Air Tanah

Air hujan jatuh, meresap ke dalam tanah, melalui dua tahapan yaitu infiltrasi, dan perkolasi. Infiltrasi merupakan proses meresapnya air ke lapisan tanah, dan dalam perjalanannya (perkolasi) ada yang sebagian menyimpang kearah samping menjadi air rembesan, sedangkan lainnya menuju ke arah air bawah tanah (*ground water*).

Menurut Herlambang (1996), air tanah adalah air yang bergerak di dalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer. Lapisan yang mudah dilalui oleh air tanah disebut lapisan permeable, seperti lapisan yang terdapat pada pasir atau kerikil, sedangkan lapisan yang sulit dilalui air tanah disebut lapisan impermeable, seperti lapisan lempung atau geluh.

Air tanah adalah semua air yang terdapat di bawah permukaan tanah pada lajur/zona jenuh air (*zone of saturation*). Air tanah terbentuk dari air hujan

dan air permukaan, yang meresap (*infiltrate*) mula-mula ke zona tak jenuh (*zone of aeration*) dan kemudian meresap makin dalam (*percolate*) hingga mencapai zona jenuh air dan menjadi air tanah. Air tanah dan air permukaan saling berkaitan dan berinteraksi. Setiap aksi (pemompaan, pencemaran dan perlakuan lainnya) terhadap air tanah akan memberikan reaksi terhadap air permukaan, demikian sebaliknya (M. Khairul Rizal, 2009).

Menurut Todd (1980), permeabilitas merupakan suatu ukuran kemudahan aliran air melalui suatu media porous.

Tabel 1. Porositas dan Permeabilitas Beberapa Type Batuan

Type batuan	Porositas (%)	Permeabilitas (mm/hari)
Lempung	45	0,0004
Pasir	35	41
Kerikil	25	4100
Kerikil dan Pasir	20	410
Batu Pasir	15	4,1
Batu Kapur, Serpih	5	0,041
Kwarsit, granit	1	0,0004

Sumber : (Todd, 1980)

Kapasitas suatu formasi untuk menampung air diukur dengan porositas, yaitu perbandingan antara volume pori-pori terhadap volume total formasi tersebut (Todd, 1980). Pori-pori mempunyai ukuran yang beraneka ragam, dari yang berupa celah-celah submikroskopis pada lempung dan serpih, hingga yang berupa gua dan terowongan pada batu kapur dan lava (Linsley dan Franzini, 1991)

Apabila suatu daerah penyusunnya terdiri atas materi halus (liat/berdebu) , maka secara umum permeabilitasnya kecil, sedangkan jika tersusun atas pasir dan kerikil, maka permeabilitasnya besar.

Air tanah yang mengendap dibarengi dengan peresapan air susupan menyebabkan permukaan air tanah menjadi dangkal sehingga pengambilan air dapat dilakukan dengan sumur dangkal (Handoyo, 2008). Kandungan air oleh Fetter (1988) didefinisikan sebagai berat air dibagi dengan total berat tanah

H. Resapan Air dan Porositas Tanah

Penentuan besaran resapan air tanah dapat ditentukan berdasarkan beberapa faktor, antara lain; infiltrasi (*infiltration*), perkolasi (*percolation*), permeabilitas (*permeability*), kerapatan (*bulk density*), curah hujan (*precipitation*), tutupan lahan dan pengelolaan lahan (*land cover and land use*).

1. Faktor Infiltrasi (*Infiltration*)

Menurut Suharta, et al, 2008, bahwa infiltrasi adalah pergerakan air dari atas permukaan ke dalam permukaan air tanah (*water table*) yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan kapilaritas. Air yang menginfiltrasi mula-mula diserap untuk meningkatkan kelembaban, dan selebihnya akan turun ke

dalam tanah melalui proses perkolasi mengalir kesamping (secara horizontal). Faktor-faktor yang mempengaruhi infiltrasi pada suatu bentang alam adalah; 1).Dalamnya genangan air di atas permukaan tanah, 2).Kadar air dalam tanah, 3).Tebal lapisan yang jenuh, 4).Pemampatan oleh curah hujan, 5).Penyumbatan oleh bahan-bahan halus, 6).Pemampatan oleh manusia dan hewan, dan 7).Tumbuh-tumbuhan.

Nilai laju infiltrasi pada beberapa jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Laju Infiltrasi Beberapa Jenis Tanah

Jenis tanah	Laju Infiltrasi (mm/menit)
Tanah ringan (Sandy soils)	0,02
Tanah sedang (loam clay)	0,05
Tanah berat (clays, clay loam)	0,21

Sumber : (Horton, 1935)

2. Faktor Perkolasi (*Percolation*)

Perkolasi (*percolation*) adalah pergerakan air ke bawah dari profil tanah,

melalui lapisan air tanah (*groundwater*) dan masuk ke lapisan akuifer (M. Khairul Rizal, 2009). Dasar perhitungan besarnya resapan air ke dalam tanah ditentukan oleh angka perkolasi dengan menggunakan alat uji perkolasi. Waktu perkolasi adalah waktu dalam satuan menit yang diperlukan oleh air untuk turun sedalam 2,54 cm (1 inchi). Satuan waktu perkolasi

dinyatakan dalam menit (inchi), Hubungan waktu perkolasi dengan luas tanah absorpsi dinyatakan dengan dalil "makin lama waktu perkolasi makin luas tanah absorpsi yang diperlukan" (Hardjowigeno, 1995).

3. Faktor Permeabilitas (*Permeability*)

Permeabilitas adalah kemampuan butiran tanah untuk meloloskan air. Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori yang saling berhubungan antara satu sama lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan energi tinggi ke titik dengan energi yang lebih rendah (Akhmad Azis, 2013).

Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah (Hardiyatmo, 2010). Permeabilitas tanah merupakan salah satu karakteristik yang penting untuk memperkirakan volume air rembesan pada pekerjaan galian sedalam muka air tanah atau lebih dalam. Air yang merembes dalam tanah, biasa mengalir mengikuti aliran laminar.

Untuk aliran air satu dimensi pada lapisan tanah jenuh sempurna digunakan rumus empiris Darcy :

$$Q = Aki \quad \text{Atau} \quad V = \frac{q}{A} = ki \quad (1)$$

Dimana ; q = volume aliran air per satuan waktu, A = luas penampang tanah yang dilewati air, k = koefisien permeabilitas, I = gradien hidrolis,

V = kecepatan aliran (*discharge velocity*). satuan koefisien permeabilitas sama dengan satuan kecepatan, yaitu m/detik.

Koefisien permeabilitas tanah (k), digunakan untuk mengetahui besarnya rembesan pada permasalahan saluran irigasi ,dll. Koefisien permeabilitas terutama tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Koefisien permeabilitas juga bervariasi sesuai variasi suhu (viskositas air juga tergantung pada suhu) (Sosrodarsono dan Takeda, 1985). Kalau harga k diambil 100% pada suhu 20°C, maka nilainya pada 10°C dan 0°C berturut-turut adalah 77% dan 56%.

Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1985), koefisien permeabilitas dapat juga dinyatakan dengan rumus :

$$k = \frac{Y_w}{n} = K \quad (2)$$

Dimana ; Yw = berat isi air, n = viskositas air, K = koefisien absolut yang tergantung hanya pada karakteristik partikel tanah (satumannya m²).

Pori-pori dapat menentukan besar kecilnya porositas tanah. Pori-pori tanah adalah bagian yang tidak terisi bahan padat tanah (terisi oleh udara dan air). Pori-pori tanah dapat dibedakan menjadi pori-pori kasar (*macro pore*) dan pori-pori halus (*micro pore*). Pori-pori kasar berisi udara atau air atau air gravitasi (air yang mudah hilang karena gaya gravitasi), sedang pori-pori halus berisi air kapiler atau udara. Tanah-tanah pasir mempunyai pori-pori kasar lebih banyak dari pada tanah liat. Tanah dengan banyak pori-pori kasar sulit menahan air sehingga tanaman mudah kekeringan. Tanah-tanah liat mempunyai pori-pori total (jumlah pori-pori makro + mikro), lebih tinggi daripada tanah pasir (Hardjowigeno, 1995).

Porositas tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, struktur tanah dan tekstur tanah. Porositas tanah tinggi kalau bahan organik tinggi. Tanah-tanah dengan struktur granuler atau remah, mempunyai porositas yang lebih tinggi daripada tanah-tanah dengan struktur massive (pejal). Tanah dengan tekstur pasir banyak mempunyai pori-pori makro sehingga sulit menahan air

4. Faktor Curah Hujan (*Precipitation*)

Hujan (*precipitation*), merupakan salah satu masukan pada sistem tampungan. Hujan ini pertama kali akan mengisi tampungan interception canopy. Bila tampungan ini telah terisi, sisa air akan mengalami infiltrasi dan

perkolasi. Banyaknya air pada kedua peristiwa ini dapat diukur dengan perkiraan curah hujan bulanan dalam 10 tahun terakhir. Lokasi titik-titik pengukuran dipetakan dengan menggunakan alat GPS untuk diplot pada peta dasar yang dikutip dari Peta Rupa Bumi Indonesia (1998) skala 1:50.000 (M. Khairul Rizal, 2009).

I. Penambahan Imbuan Air Tanah

Dalam daur hidrologi, sumber utama air bawah tanah berasal dari air hujan. Di Indonesia, karena beriklim tropis basah, umumnya menerima curahan hujan yang relatif tinggi, lebih dari 1.000 mm/tahun, dengan hari hujan yang relatif panjang. Kondisi ini sangat menguntungkan dalam imbuan air bawah tanah secara alami, dimana pada saat musim hujan terjadi pengisian dan penggantian (*replishment*) dari defisit air bawah tanah yang terjadi pada musim kemarau. Dengan demikian akuifer akan mendapat penambahan cadangan air. Masalahnya, di daerah-daerah yang telah berkembang, terutama di kota-kota besar, peristiwa pengisian kembali air bawah tanah pada musim hujan terhambat karena adanya perubahan lingkungan. Daerah-daerah yang sebetulnya merupakan daerah imbuh air bawah tanah tertutup oleh bangunan, sehingga air hujan yang jatuh hanya sedikit yang berkesempatan meresap dan mengimbuh air bawah tanah.

Untuk daerah-daerah yang kondisinya demikian, perlu upaya menampung curah hujan yang jatuh untuk dimasukkan ke dalam sumur-sumur resapan. Sumur-sumur ini prinsipnya sama dengan sumur-sumur yang dibuat untuk penyadapan air bawah tanah, hanya fungsinya sebaiknya dirubah, yakni tempat untuk memasukkan air hujan ke dalam akuifer.

J. Penelitian Terdahulu

Horst H. Gerke (2012), melakukan penelitian terkait biopori pada tanah dengan kandungan pori yang besar. Informasi tentang biopori ini dibutuhkan sebagai salah satu input dalam pembuatan Model Makroskopik antara flow dan transport, disamping input lainnya berupa informasi seputar persentuhan antar areal permukaan tanah dengan volume agregat. Kedua jenis informasi tersebut diperoleh dari X-ray tomography, semacam alat khusus untuk melihat dengan jelas potongan melintang suatu objek, sehingga diperoleh hasil yang secara fisik dapat diterima oleh akal. Dari penelitian ini dapat difahami bahwa biopori merupakan wadah pengaliran air pada tanah berpori.

I Ketut Suharta, dalam penelitiannya ingin mengetahui kapasitas infiltrasi dan kapasitas perlokasi dan mengetahui potensi peresapan air hujan di wilayah Kota Denpasar. Dengan infiltrometer silinder ganda berukuran diameter silinder 30 cm dan 50 cm. Potensi peresapan air hujan dihitung

dengan perkalian curah hujan tahunan dan luas daerah tangkapan dengan koefisien resapan.

Joko Suparmanto 2009, mengevaluasi dan melakukan alternatif penanggulangan genangan berbasis konservasi air di Kota Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan cara melihat kemampuan sistem jaringan drainase terhadap debit yang harus ditampung, perlu dilakukan pembesaran dimensi saluran drainase atau perencanaan sumur resapan yang dapat mengkonversi air.

Mashiro Imbe dan Katumi Musiake (1998) dalam Sunjoto (2012) menyatakan besarnya air yang meresap kedalam tanah dapat diketahui melalui formula :

$$Q_{out} = C \cdot K_f \quad (3)$$

$$Q_f = K_o \cdot K_f \quad (4)$$

a. Parit resapan, dasar dan dinding porous :

$$K_f = 3,093H + 1,34W + 0,677$$

$$H = \frac{Q_{in} - K_o(1,0854W + 0,54837)}{\frac{WL}{\Delta t} + 2,50533 K_o} \quad (5)$$

b. Parit resapan, dasar porous dinding kedap :

$$K_f = 0,014H + 1,287.$$

$$H = \frac{Q_{in} - 1,04247K_o}{\frac{WL}{\Delta t} + 0,01134 K_o} \quad (6)$$

dimana :

C: faktor keamanan (C biasanya sebesar 0,8)

Q_f	: debit air meresap (m^3/jam)
Q_{in}	: debit air masuk (m^3/jam)
K_0	: koefisien permeabilitas tanah (m/jam)
K_f	: <i>specific infiltration</i> pada bangunan resapan (m^2)
H	: kedalaman parit (m)
W	: lebar parit resapan (m)
L	: lebar parit (m)
Δt	: durasi jam (jam)

Michal Sněhota et.al (2010) tidak menyebutkan secara spesifik tentang biopori dalam penelitiannya, namun ia melakukan hal yg sama pada fungsi biopori sebagai sarana penyerapan air. Ia melakukan penelitian mengenai infiltrasi air kolam yg diserapkan pada material tanah tidak terganggu dan yang terganggu dengan kondisi basah dan kering. Penelitian difokuskan pada perubahan arah distribusi udara yang tersekap pada sampel tidak terganggu serta bagaimana pengaruhnya pada kecepatan pengaliran steady. Dapat dikatakan bahwa proses infiltrasi air ke tanah tidak terganggu dipengaruhi oleh perubahan arah distribusi udara yang tersekap pada sampel tersebut saat air mulai dialirkan. Perubahan arah distribusi udara diyakini akan mempengaruhi kecepatan pengaliran steady.

Peter R Jørgensen (2004) melakukan penelitian terkait biopori dan retak pada *clay aquitards*. Menurutnya, kedua wadah pada *clay aquitards* tersebut dapat menjadi jalan-jalan kecil bagi aliran bahan pencemar yang bergerak hingga ke lapisan aquifer. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperkirakan kuantitas bahan pencemar yang ikut mengalir pada “air jenuh resolusi tinggi” yang dideteksi menggunakan “model numerik”. Dari penelitian

ini diketahui bahwa selain celah retak pada clay, maka biopori juga menjadi wadah peresapan dan pengaliran air ke lapisan tanah bagian bawah.

Salem Bouri, Hamed Ben Dhia, 2009. Memanfaatkan air Dam untuk pengisian kembali air tanah yang mulai menyusut. Metode ini berhasil meningkatkan kondisi hydrodynamic dan physicochemical air tanah dan peninggian kembali muka air Teboulba Aquifers Tunisia yang sebelumnya terdegradasi akibat tingginya pemakaian oleh penduduk yang semakin padat, kegiatan ekonomi dan dipersifikasi pertanian, serta kecenderungan peningkatan penggunaan di tingkat rumah tangga.

Střelcová, K et.al (2007), meneliti jaringan biopori di beberapa lokasi di Slovak Republik, dengan jalan menelusuri jejak pergerakan air. Caranya air kolam diresapkan ke tanah yang akan mengalir pada jaringan biopori tersebut. Untuk mengetahui Jejak pergerakan air tersebut digunakan model *numeric* yang didasari oleh "*dual continuum approach*" dan "*digital image analysis*". Jejak pergerakan air pada biopori ini digunakan untuk memprediksi kebutuhan air irigasi, dan besarnya runoff pada zone di atas muka air tanah. Dari penelitian ini dipahami bahwa jaringan biopori merupakan wadah untuk meresapkan air dari sumber tertentu ke lapisan tanah yang ada di bawahnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis, Lokasi dan Waktu Penelitian

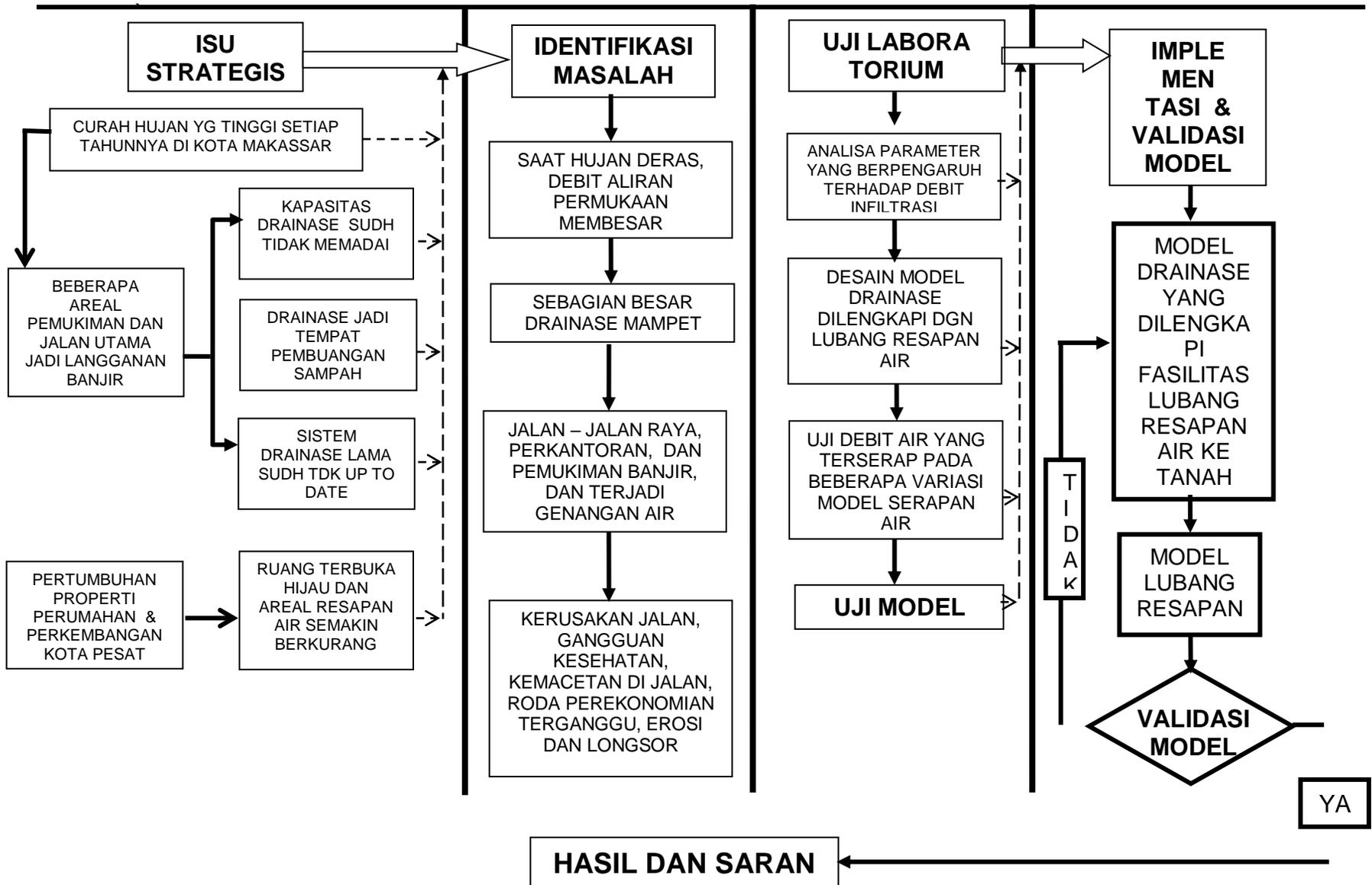
Jenis penelitian adalah penelitian eksperimental laboratorium dengan skala model 1:1 dengan menggunakan sampel tanah sebagai media infiltrasi. Sampel tanah di ambil berdasarkan tekstur tanah pada 3 titik pengamatan di jalan raya Kota Makassar, yaitu:Jalan Ahmad Yani, Jalan Hertasing dan Jalan Urip Sumoharjo. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada bulan Juni 2013 sampai bulan Januari 2014.



Gambar7. pengambilan sampel dan hasil sampel

B. Rancang Penelitian

1. Kerangka Pikir



-

|

|

2. Langkah Penelitian

Dalam rangka menghimpun data dasar, agar dapat dijadikan sebagai input dalam pembuatan drainase lubang pori, maka diperlukan tahapan kegiatan sebagai berikut:

- a. Pembuatan model drainase berpori untuk pengamatan pada laboratorium.
- b. Pembuatan Sampel 3 kondisi tanah yang sesuai dengan kondisi tanah lokasi sampel.

Gambar 9 menunjukkan proses pembuatan tanah sampel yang akan digunakan sebagai media infiltrasi dasar saluran drainase berpori pada percobaan eksperimental di laboratorium sebagai media infiltrasi yang diletakkan di bawah dasar saluran dan **Gambar 10** menunjukkan gambar dari hasil pembuatan tanah sampel yang terdiri dari tanah, pasir dan liat.



Gambar9.Pembuatan Tanah Sampel



Gambar10. Hasil Pembuatan tanah sampel yang terdiri dari debu, pasir dan liat

- c. Pembuatan Pintu Thomson.
- d. Melakukan uji model pengaliran untuk mengetahui debit infiltrasi dengan berbagai kondisi yang telah disebutkan diatas
- e. Pengambilan data dari uji model pengaliran pada kedua kondisi diatas.

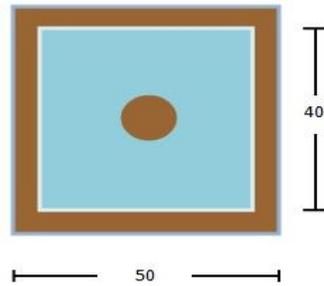
3. Rancang Model Fisik

Model drainase terdiri dari dua perangkat model yang digunakan untuk pengambilan data pada :

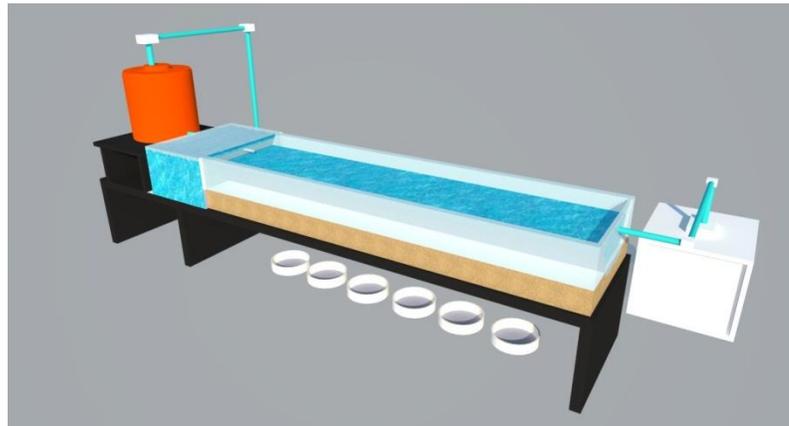
- Kondisi hidrostatis
- Kondisi hidrodinamis

Pada kondisi hidrostatis model yang digunakan terlihat pada Gambar 11 terdiri dari dua buah wadah yang terbuat dari acrylic dimana masing masing wadah 1 berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm serta wadah 2 berukuran 50 x 50

x 50 cm. Untuk kondisi hidrodinamis, model yang digunakan juga berupa wadah 2 buah masing masing berukuran 40 cm x 40 cm x 200 cm dan wadah 2 berukuran 50 cm x 50 cm x 250 cm seperti terlihat pada gambar 12



Gambar 11. Model Untuk Kondisi Hidrostatik



Gambar 12. Model Untuk Kondisi Hidrodinamis

4. Bahan dan Alat

1. Bahan
 - a. Tanah
 - b. Pasir
 - c. Air

d. Kertas resep

e. Spidol

f. Karung

2. Alat

a. Uji sifat fisik tanah :

- Oven
- Cawan
- Timbangan
- Piknometer
- Thermometer
- Satu set saringan beserta penggetar
- Tabung gelas
- Stop watch
- Spatula panjang 75 mm dan lebar 20mm

b. Uji permeabilitas berupa :

- Penyalur air
- Thermometer
- Tabung permieter
- Bak penampung rembesan
- Tabung silinder
- Klep pengatur udara dan air

c. Uji model resapan berupa :

- Gelas ukur 1000ml
- Pompa air
- Bak penampung
- Alat uji model untuk kondisi statis
- Alat uji model saluran untuk kondisi dinamis
- Bak penampung
- Pintu Thomson
- Soil moisturetes
- Current meter

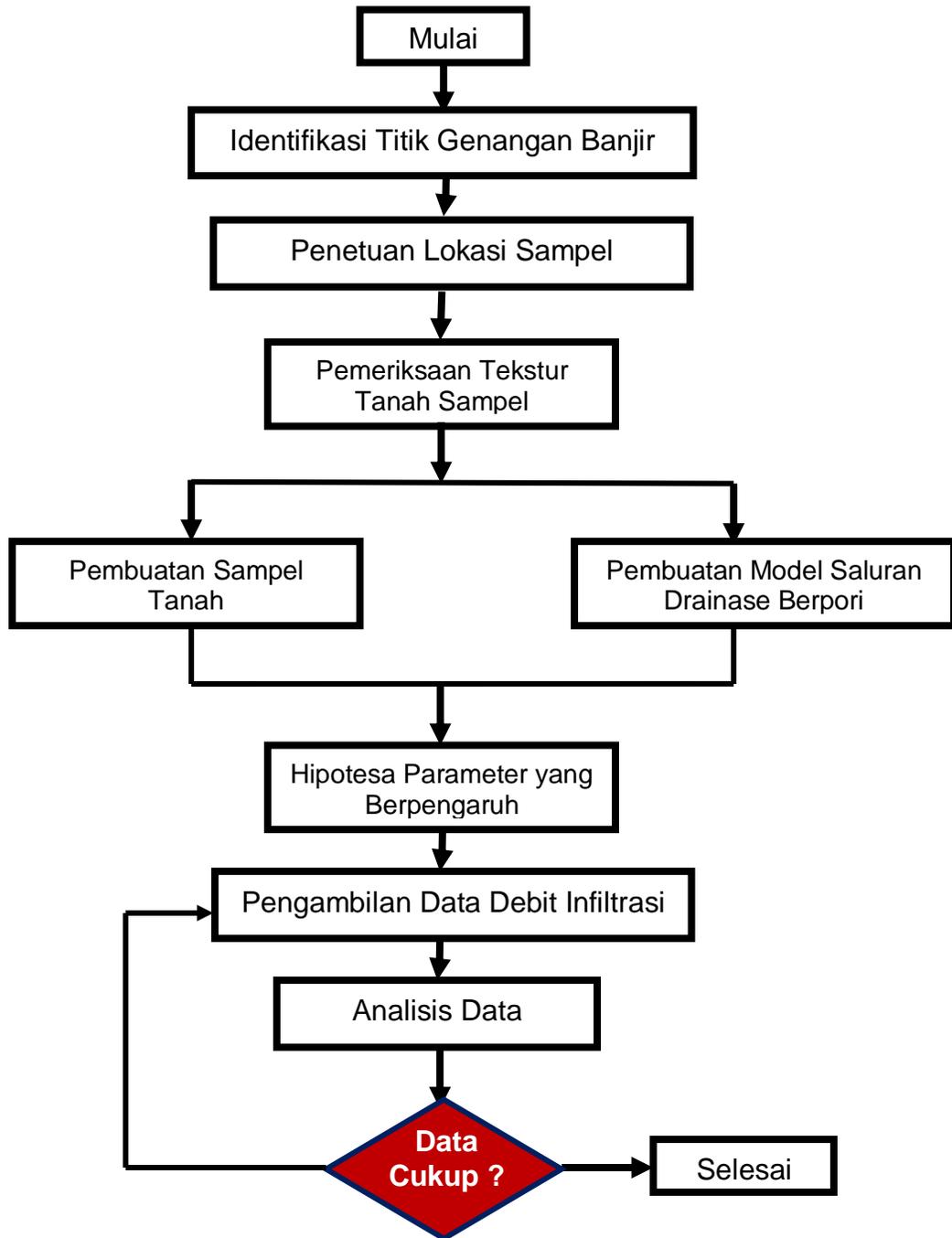
C. Desain Penelitian

Data debit infiltrasi diambil dalam dua kondisi yaitu kondisi hidrosatik dan kondisi hidrodinamis. Pada kondisi hidrotatis pengaruh parameter yang ditinjau adalah diameter lubang, kedalaman lubang, tinggi muka air, jenis tanah yang dinyatakan dengan koefisien permeabilitas, masing masing digunakan 3 variasi ukuran , dimana simulasi parameter seperti terlihat pada Tabel 3. Pada kondisi hidrodinamis, pengaruh parameter yang ditinjau antara lain jarak lubang, debit pengaliran, kedalaman lubang, jenis tanah dan semua parameter digunakan dalam 3 variasi ukuran, seperti terlihat pada Tabel 4



Gambar 13. Pengambilan Data di Laboratorium

Secara garis besar desain penelitian diilustrasikan lebih lanjut melalui bagan alir pada Gambar 14.



Gambar 14. Bagan Alir Penelitian

Tabel 3.Simulasi Parameter Pada Kondisi Hidrostatik

Kondisi Tanah I			Kondisi tanah II			Kondisi Tanah III		
Kedalaman Lubang (h)	Diameter lubang (d)	Tinggi Muka Air (z)	Kedalaman Lubang (h)	Diameter lubang (d)	Tinggi Muka Air (z)	Kedalaman Lubang (h)	Diameter lubang (d)	Tinggi Muka Air (z)
d ₁	D ₁	h ₁	d ₁	D ₁	h ₁	d ₁	D ₁	h ₁
		h ₂			h ₂			h ₂
		h ₃			h ₃			h ₃
	D ₂	h ₁		D ₂	h ₁		D ₂	h ₁
		h ₂			h ₂			
		h ₃			h ₃			
	D ₃	h ₁		D ₃	h ₁		D ₃	h ₁
		h ₂			h ₂			
		h ₃			h ₃			
d ₂	D ₁	h ₁	d ₂	D ₁	h ₁	d ₂	D ₁	h ₁
		h ₂			h ₂			h ₂
		h ₃			h ₃			h ₃
	D ₂	h ₁		D ₂	h ₁		D ₂	h ₁
		h ₂			h ₂			
		h ₃			h ₃			
	D ₃	h ₁		D ₃	h ₁		D ₃	h ₁
		h ₂			h ₂			
		h ₃			h ₃			
d ₃	D ₁	h ₁	d ₃	D ₁	h ₁	d ₃	D ₁	h ₁
		h ₂			h ₂			h ₂
		h ₃			h ₃			h ₃
	D ₂	h ₁		D ₂	h ₁		D ₂	h ₁
		h ₂			h ₂			
		h ₃			h ₃			

	D ₃	h ₁		D ₃	h ₁		D ₃	h ₁
		h ₂			h ₂			h ₂
		h ₃			h ₃			h ₃

Tabel 4. Variasi Parameter Pengujian Kondisi Hidrodinamis

<i>Kedalaman Lubang (cm)</i>	<i>Jarak Lubang (cm)</i>	<i>Debit Aliran (Q)</i>	<i>Debit Aliran (Q)</i>	<i>Debit Aliran (Q)</i>
d ₁	x ₁	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
	x ₂	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
	x ₃	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
d ₂	x ₁	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
	x ₂	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
	x ₃	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
d ₃	x ₁	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃
	x ₂	Q ₁	Q ₁	Q ₁
		Q ₂	Q ₂	Q ₂
		Q ₃	Q ₃	Q ₃

	X3	Q1	Q1	Q1
		Q2	Q2	Q2
		Q3	Q3	Q3

D. Definisi Operasional

1. Debit Infiltrasi adalah banyaknya air yang meresap ke dalam permukaan tanah yang dihitung berdasarkan volume air yang keluar ke wadah penampungan dan yang tertahan pada tanah ($q = \text{cm}^3/\text{detik}$)
2. Debit Pengaliran adalah debit **air yang mengalir pada model saluran setiap satuan waktu pada kondisi dinamis.**
3. Kedalaman lubang adalah kedalaman **lubang silindris yang dibuat secara vertikal ke dalam tanah pada saluran dengan satuan (d=cm)**
4. Koefisien permeabilitas adalah Permeabilitas material tanah yang digunakan sebagai media infiltrasi.
5. Kondisi hidrodinamis adalah pengujian yang dilakukan dengan menggunakan aliran air untuk melihat peresapan pada kondisi air mengalir.
6. Kondisi hidrostatik adalah pengujian yang dilakukan tanpa adanya pengaliran untuk melihat peresapan pada kondisi air diam .
7. Tinggi tekanan adalah perbandingan antara tinggi muka air dengan tebal tanah di bawah lubang pori, rumus tinggi tekanan adalah

$$\frac{(h + d)}{(T - d)} \quad (7)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Tanah

1. Pengujian tanah

Penelitian yang dilakukan untuk melihat kemampuan infiltrasi model saluran drainase yang dilakukan di laboratorium menggunakan tanah yang dibuat berdasarkan tekstur sampel tanah yang diambil pada tiga titik lokasi banjir di Kota Makassar yaitu Jalan Hertasning, Perintis Kemerdekaan dan Ahmad Yani. Pemeriksaan tekstur tanah sampel dilakukan pada Laboratorium Tanah Universitas Hasanuddin dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5. di bawah ini :

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Laboratorium Tanah Sampel

No	Lokasi Sampel Tanah	Tekstur Tanah Sampel		
		Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)
1.	Hertasning	71	20	9
2.	Perintis kemerdekaan	41	30	20
3.	Ahmad Yani	35	45	20

Pada Tabel 5 terlihat bahwa hasil pengujian laboratorium tanah lokasi sampel, menunjukkan bahwa tekstur tanah I yaitu tanah yang berasal dari lokasi di Jalan Hertasning terdiri dari 71% pasir, 20 % debu, dan 9% liat. Pada lokasi sampel tanah II di Jalan Perintis Kemerdekaan tekstur tanah sampel terdiri dari 41% pasir, 30% debu, 20% liat dan pada lokasi sampel tanah ke III tekstur tanah terdiri dari 35% pasir, 45% debu, dan 20% liat.

2. Karakteristik tanah

Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium tanah sampel, maka sebagai media infiltrasi dibuat tanah sampel dengan menggunakan tanah berdasarkan Karakteristik tanah lokasi sampel. Klasifikasi pasir, debu, dan liat ditentukan berdasarkan pembagian ukuran fraksi fraksi tanah menurut Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) Tahun 1938. Dari klasifikasi diatas didapatkan hasil karakteristik tanah untuk media infiltrasi seperti pada Tabel 6 dibawah ini :

Tabel 6. Karakteristik Tanah Sampel Untuk Media infiltrasi

Tekstur Tanah	Pasir (%)	Debu (%)	Liat(%)
I	75	15	10
II	50	30	20
III	45	20	35

Dari tabel 6 diatas hasil tekstur tanah sampel untuk media infiltrasi pada tekstur tanah I terdiri dari 75 pasir, 15 debu dan 10 liat. Pada tekstur tanah II terdiri dari 50 pasir, 30 debu, 20 liat dan pada tekstur tanah III terdiri dari 45 pasir, 20 debu, 35 liat.

3. Kompaksi tanah

Kompaksi Tanah adalah proses memadatkan dengan menggunakan udara dari dalam pori-pori tanah dengan cara mekanis (dipukul, digilas, dan sebagainya). Pemadatan/kompaksi dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah yaitu memperoleh keadaan tanah yang paling padat. Dari kompaksi tanah inilah kita dapat mengetahui berapa berat isi tanah yang digunakan sebagai media infiltrasi pada setiap model percobaan.

Tabel 7. Berat Isi Tanah Sampel

Berat Isi Sampel Tanah gr/cm ³		
I	II	III
1,84	1,544	1,60

Berat isi yang didapat setelah melakukan kompaksi tanah yaitu pada kondisi tanah sampel I 1,84gr/cm³, kondisi tanah sampel II 1,544 gr/cm³ dan kondisi tanah pada sampel III 1,60gr/cm³. Berdasarkan berat isi tanah sampel yang diperoleh dapat diketahui berat tanah yang dibutuhkan untuk kondisi statis dan dinamis dan dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9 dibawah ini.

Tabel 8. Berat Tanah yang Dibutuhkan untuk Kondisi Hidrostatis

Diameter (cm)	Kedalaman (cm)	Berat Tanah Yang Dibutuhkan (kg)		
		I	II	III
2	10	110,34	92,59	95,95
	15	110,31	92,57	95,92
	20	110,28	92,54	95,9
5	10	110,04	92,34	95,69
	15	109,86	92,19	95,53

	20	109,68	92,03	95,37
8	10	109,48	91,86	95,2
	15	109,02	91,48	94,79
	20	108,55	91,09	94,39

Tabel 9. Berat Tanah yang Dibutuhkan untuk Kondisi Hidrodinamis

Diameter (cm)	Kedalaman (cm)	Jarak Lubang (cm)	Berat Tanah Yang Dibutuhkan		
			I (kg)	II (kg)	III (kg)
8	10	30	346,27	290,56	301,1
		60	348,12	292,11	302,71
		90	348,12	292,11	302,71
	15	30	344,42	289,01	299,5
		60	347,19	291,33	301,91
		90	347,19	291,33	301,91
	20	30	342,57	287,45	297,89
		60	346,27	290,56	301,1
		90	346,27	290,56	301,1

B. Faktor Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Debit Infiltrasi

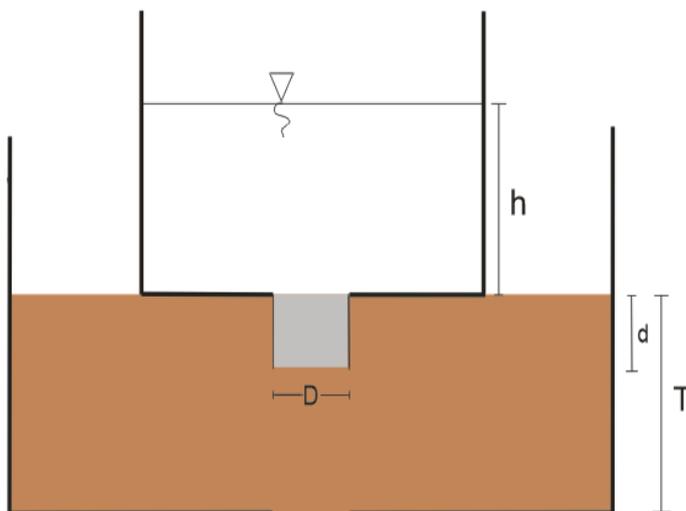
Berdasarkan hipotesa dan hukum Darcy, ada beberapa parameter yang mempengaruhi debit infiltrasi yaitu jenis tanah, kedalaman lubang pori, diameter lubang pori, dan tinggi tekanan.

1. Kondisi Hidrostatik

Pengamatan atau pengambilan data pada kondisi hidrostatik dilakukan untuk melihat pengaruh parameter diameter, kedalaman, tinggi tekanan dan jenis tanah terhadap debit infiltrasi dengan adanya 1 lubang

pada model. Data di bawah ini adalah data yang diperoleh dari hasil pengamatan dengan menggunakan variasi parameter berupa jenis tanah yang dinyatakan dengan koefisien permeabilitas (k) ada 3 variasi, diameter lubang 3 variasi, kedalaman lubang 3 variasi, serta tinggi muka air juga dengan 3 variasi. Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 10.

Data debit infiltrasi diperoleh dari pengukuran volume air yang keluar pada wadah penampung serta air yang tertahan di media infiltrasi atau tanah.



Ket.

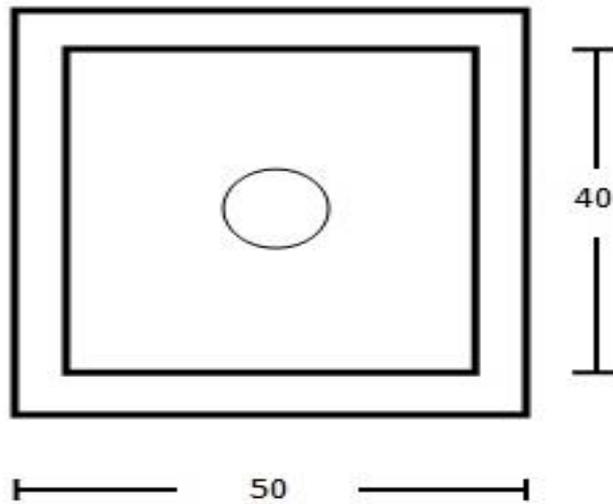
h = tinggi muka air

d = kedalaman lubang

D = diameter lubang

t = tinggi tanah





Gambar 15. Model pada Kondisi Hidrostatik

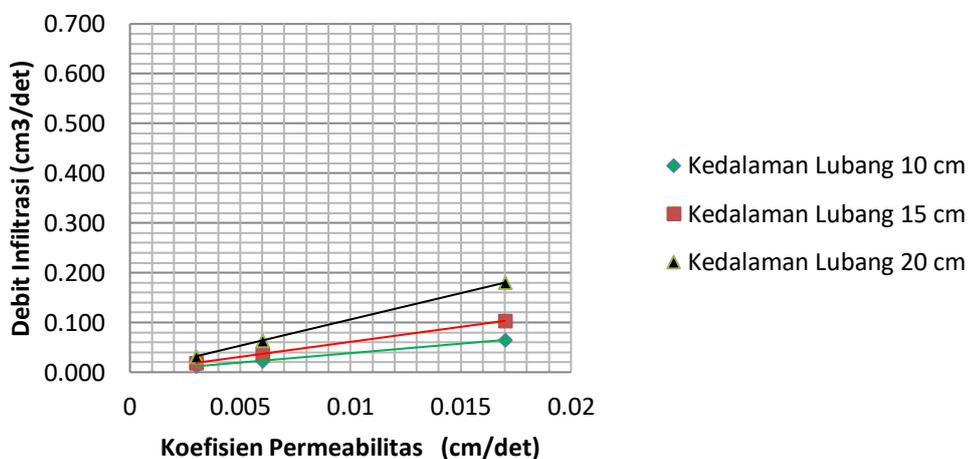
Tabel 10. Data Kondisi Hidrostatik

No.	Diameter Lubang (D=cm)	Tinggi Muka Air (h=cm)	Koef. Permeabel Pasir (k ₂)	Koef. Permeabel Pasir (k ₁)	Kedalaman Lubang (d=cm)	Tinggi Tanah (T=cm)	q' (cm ³ /det)
1	2	15	0,02	0,017	10	30	0,065
2	2	15	0,02	0,017	15	30	0,103
3	2	15	0,02	0,017	20	30	0,180
4	2	15	0,02	0,006	10	30	0,023
5	2	15	0,02	0,006	15	30	0,038
6	2	15	0,02	0,006	20	30	0,064
7	2	15	0,02	0,003	10	30	0,012
8	2	15	0,02	0,003	15	30	0,018
9	2	15	0,02	0,003	20	30	0,032
10	2	20	0,02	0,017	10	30	0,079
11	2	20	0,02	0,017	15	30	0,124
12	2	20	0,02	0,017	20	30	0,214
13	2	20	0,02	0,006	10	30	0,027
14	2	20	0,02	0,006	15	30	0,043
15	2	20	0,02	0,006	20	30	0,073
16	2	20	0,02	0,003	10	30	0,014

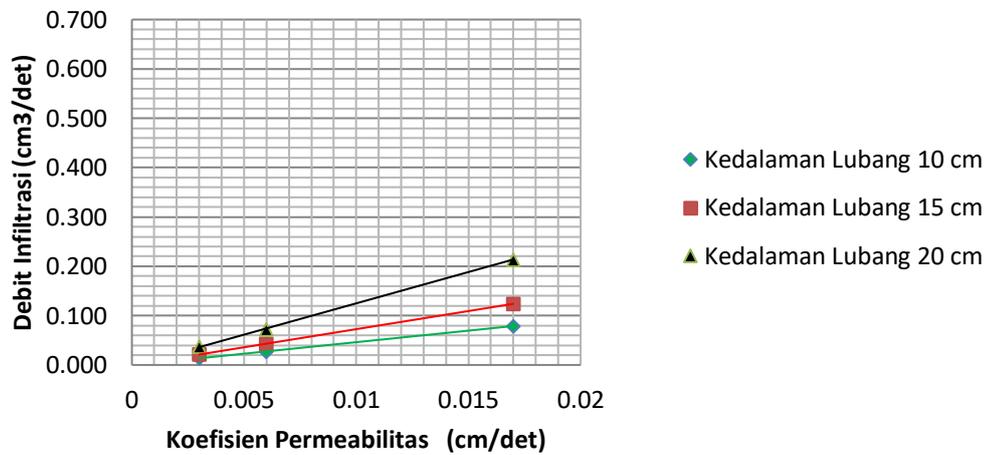
..... dst (Lihat di Lampiran

a. Pengaruh Koefisien Permeabilitas (k) Terhadap Debit Infiltrasi (q)

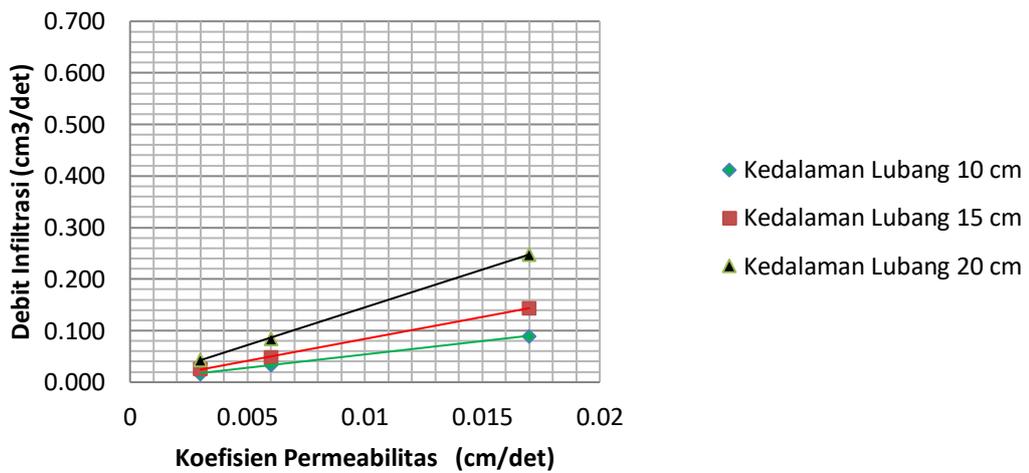
Salah satu aspek yang diverifikasi dalam penelitian ini adalah koefisien permeabilitas dari 3 macam tanah yang ditinjau terhadap debit infiltrasi. Pengaruh koefisien permeabilitas terhadap debit infiltrasi pada tinggi muka air 15 cm, 20 cm dan 25 cm dengan diameter lubang 2 cm disajikan melalui grafik pada Gambar 16 (a), Gambar 16 (b), dan Gambar 16(c). Menyajikan pengaruh koefisien permeabilitas terhadap debit infiltrasi pada tinggi muka air 15 cm, 20cm dan 25 cm dengan diameter lubang 5 cm, dan Gambar 18 (a), Gambar 18 (b), dan Gambar 18 (c) menyajikan pengaruh koefisien permeabilitas terhadap debit infiltrasi pada tinggi muka air 15 cm, 20 cm dan 25 cm dengan diameter 8 cm.



Gambar 16 (a). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 2 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm



Gambar 16 (b). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 2 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm

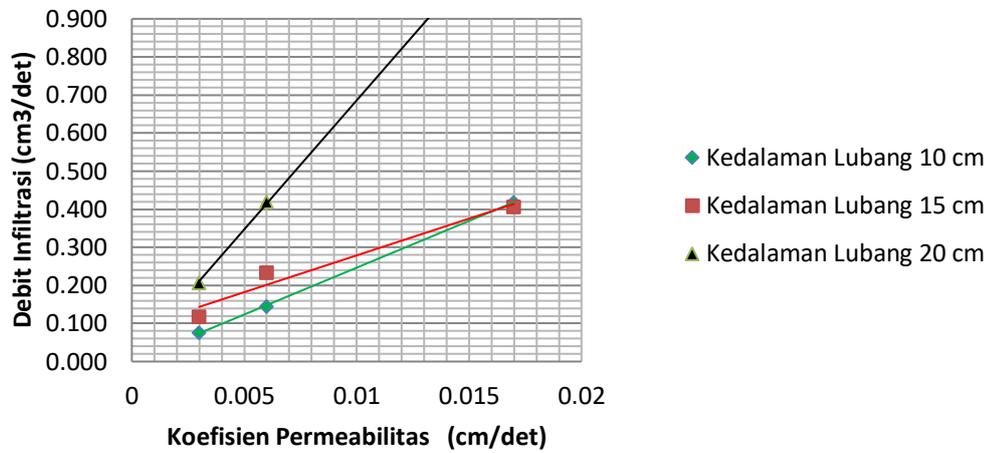


Gambar 16 (c). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 2 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm

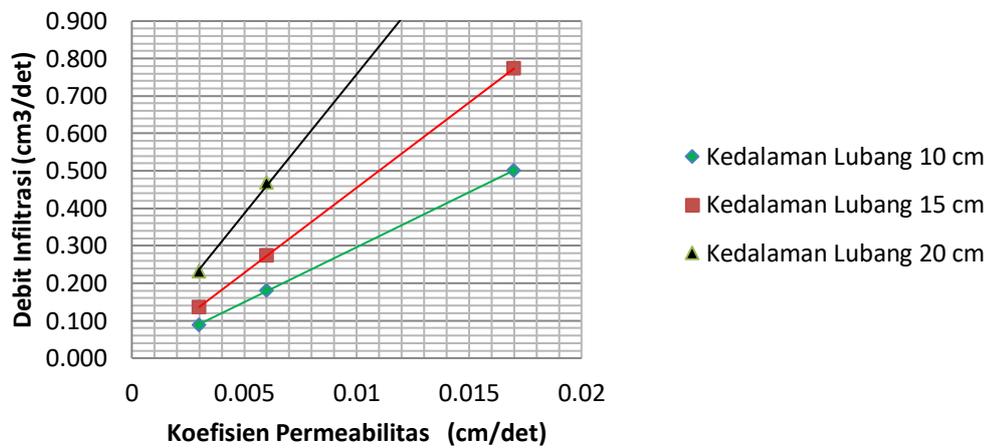
Gambar 16 (a), menunjukkan hubungan atau pengaruh koefisien permeabilitas tanah terhadap debit infiltrasi untuk lubang dengan diameter

(d) 2 cm pada tinggi muka air (h) 15 cm, Gambar 16 (b), menunjukkan hubungan atau pengaruh koefisien permeabilitas tanah terhadap debit infiltrasi untuk lubang dengan diameter (d) 2 cm pada tinggi muka air (h) 20 cm, Gambar 16 (c) menunjukkan hubungan atau pengaruh koefisien permeabilitas tanah terhadap debit infiltrasi untuk lubang dengan diameter (d) 2 cm pada tinggi muka air (h) 25 cm. Semakin meningkat nilai koefisien permeabilitas maka besar debit infiltrasi juga meningkat, pada tinggi muka air 15 cm, untuk nilai k 0,003 cm/det terjadi peresapan dengan debit infiltrasi 0,012 cm³/det, koefisien permeabilitas (k) 0,006 cm/det terjadi peresapan dengan debit infiltrasi 0,023 cm³/det dan untuk koefisien permeabilitas (k) 0,017 cm/det terjadi peresapan dengan debit infiltrasi 0,065 cm³/det.

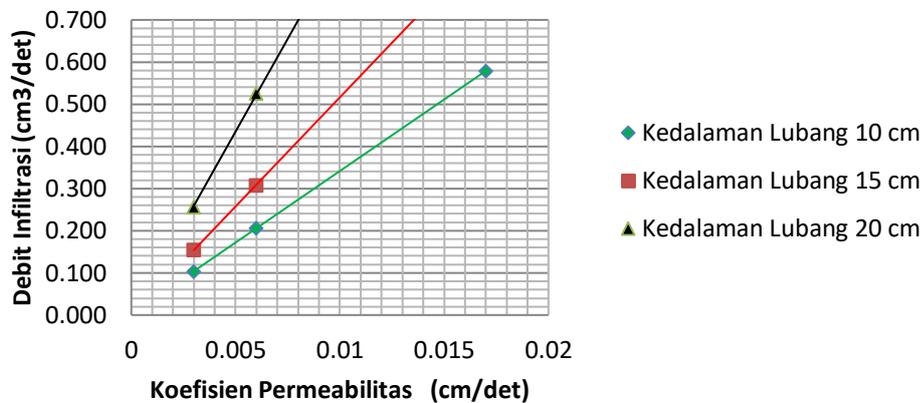
Kondisi yang sama terjadi untuk tinggi muka air 20 cm dan tinggi muka air 25 cm bahwa kenaikan nilai koefisien permeabilitas sangat mempengaruhi kenaikan debit infiltrasi. Pada Gambar 16 (a), Gambar 16 (b), Gambar 16 (c) juga terlihat pengaruh dari kedalaman lubang yaitu semakin besar ukuran kedalaman lubang maka debit infiltrasi semakin meningkat.



Gambar 17 (a). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 5 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm



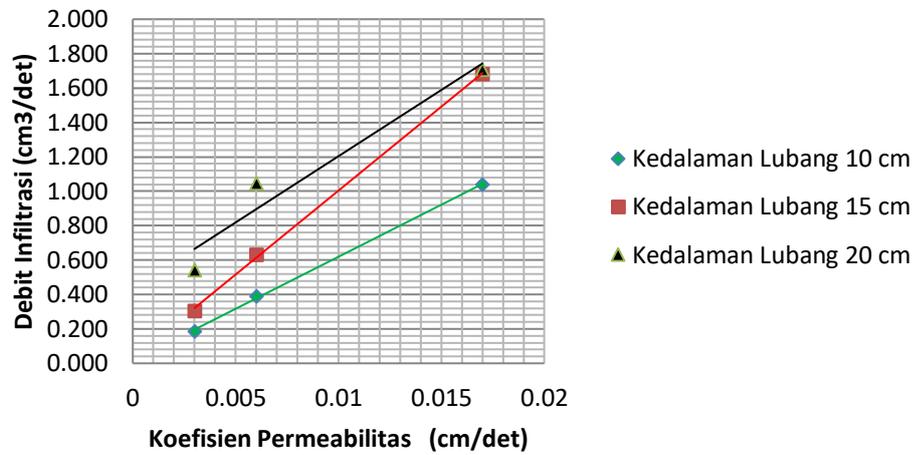
Gambar 17 (b). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 5 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm



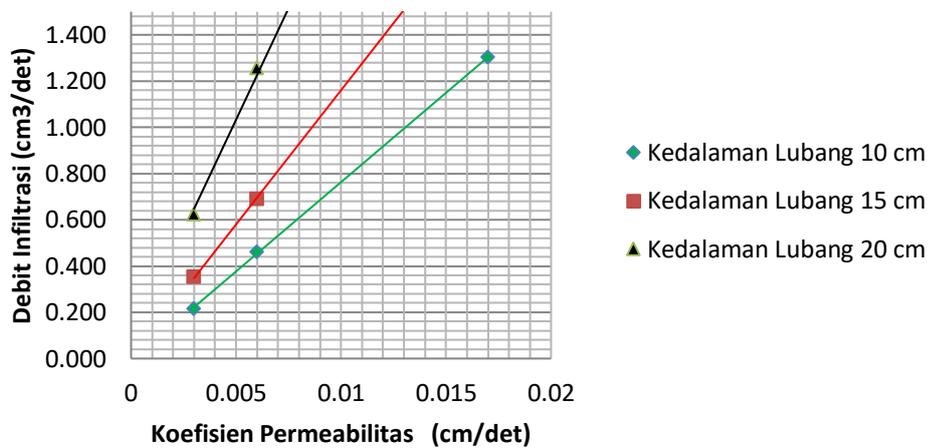
Gambar 17 (c). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 5 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm

Gambar 17 (a), Gambar 17 (b), dan Gambar 17 (c), menunjukkan hubungan atau pengaruh koefisien permeabilitas tanah terhadap debit infiltrasi untuk lubang dengan diameter (d) 5 cm pada berbagai tinggi muka air. Nilai debit infiltrasi pada lubang dengan diameter 5 cm terlihat lebih besar dibanding nilai debit infiltrasi dengan lubang berdiameter 2 cm, pada tinggi muka air 15 cm untuk nilai k 0,003 cm/det terjadi peresapan dengan debit infiltrasi 0,419 cm³/det, koefisien permeabilitas (k) 0,006 cm/det terjadi peresapan dengan debit infiltrasi 0,146 cm³/det dan untuk koefisien permeabilitas (k) 0,017 cm/det terjadi peresapan dengan debit infiltrasi 0,419 cm³/det.

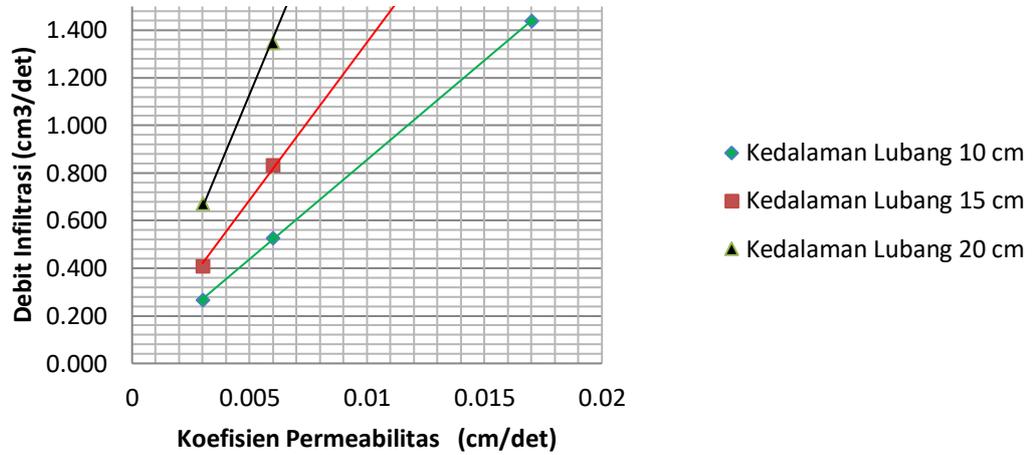
Kondisi yang sama terjadi untuk tinggi muka air 20 cm dan tinggi muka air 25 cm bahwa kenaikan nilai koefisien permeabilitas sangat mempengaruhi kenaikan debit infiltrasi.



Gambar 18 (a). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 8 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm



Gambar 18 (b). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 8 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm



Gambar 18 (c). Pengaruh Koefisien Permeabilitas Tanah Terhadap Debit Infiltrasi Dengan diameter Lubang Pori(d) 8 cm Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm

Pada Gambar 18 (a) terjadi penurunan besar debit infiltrasi yaitu pada lubang dengan kedalaman 20 cm dan tanah dengan koefisien permeabilitas (k) 0,017 cm/det. Gambar 18 (b) dan Gambar 18 (c) juga menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu peningkatan nilai debit infiltrasi berbanding lurus dengan peningkatan nilai koefisien permeabilitas, ukuran diameter lubang serta ukuran tinggi muka air. Data besar debit infiltrasi akibat pengaruh koefisien permeabilitas disajikan pada Tabel 11 Tabel Data Debit Infiltrasi Untuk Berbagai Jenis Tanah, Diameter Lubang, Kedalaman Lubang Dan Tinggi muka Air.

Tabel 11. Data Debit Infiltrasi Pada Jenis Tanah (k)

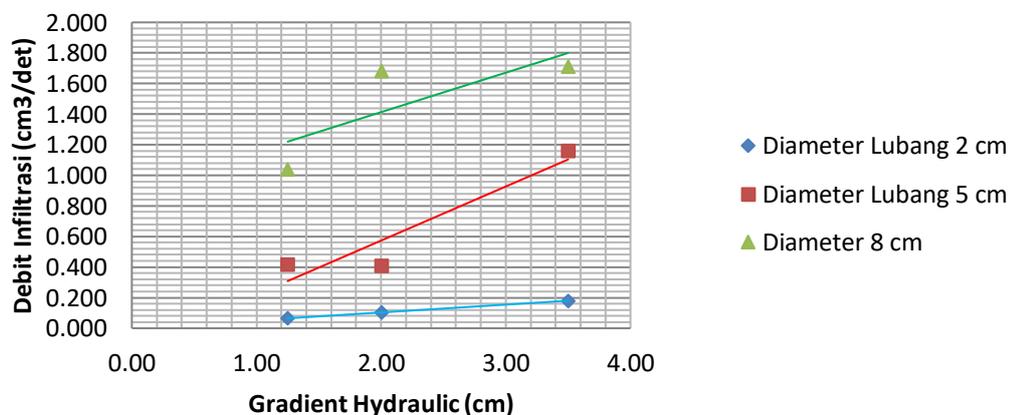
Tinggi Muka Air (h) (cm)	Kedalaman Lubang (h) (cm)	Jenis Tanah (k1)	Debit Infiltrasi (q) (cm³/det)		
			d = 2 cm	d = 5 cm	d = 8 cm

15	10	0,017	0,065	0,419	1,040
		0,006	0,023	0,146	0,390
		0,003	0,012	0,076	0,186
	15	0,017	0,103	0,407	1,683
		0,006	0,038	0,234	0,631
		0,003	0,018	0,118	0,307
	20	0,017	0,180	1,159	1,710
		0,006	0,064	0,420	1,048
		0,003	0,032	0,207	0,545
20	10	0,017	0,079	0,501	1,302
		0,006	0,027	0,181	0,462
		0,003	0,014	0,089	0,216
	15	0,017	0,124	0,773	1,974
		0,006	0,043	0,274	0,691
		0,003	0,021	0,136	0,352
	20	0,017	0,214	1,277	3,339
		0,006	0,073	0,468	1,257
		0,003	0,037	0,231	0,623
25	10	0,017	0,090	0,579	1,439
		0,006	0,034	0,206	0,528
		0,003	0,017	0,104	0,266
	15	0,017	0,144	0,879	2,274
		0,006	0,048	0,308	0,833
		0,003	0,026	0,155	0,410
	20	0,017	0,248	1,490	3,978
		0,006	0,085	0,526	1,348
		0,003	0,044	0,257	0,672

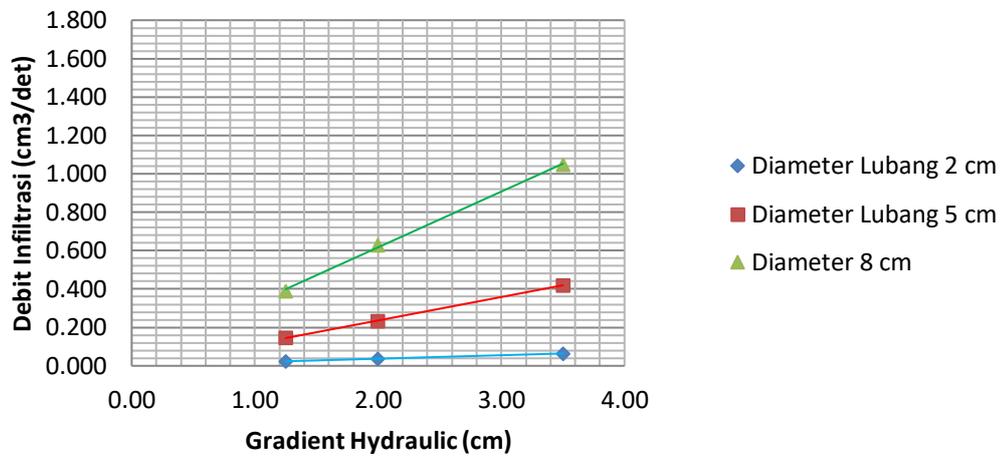
b. Pengaruh Gradient Hidraulik/Tinggi Tekanan (i) terhadap Debit Infiltrasi (q).

Selain koefisien permeabilitas, aspek lain yang diverifikasi dalam penelitian ini adalah gradient hidraulik/ tinggi tekanan, dimana tinggi tekanan dipengaruhi oleh tinggi muka air, kedalaman lubang serta tebal

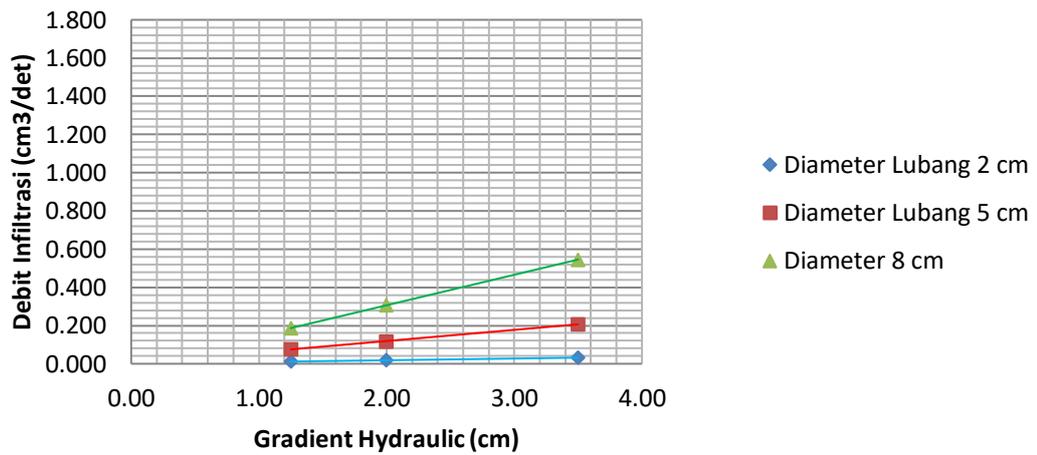
tanah. Tinggi muka air dalam penelitian ini digunakan 3 variasi yaitu tinggi muka air 15 cm, tinggi muka air 20 cm serta tinggi muka air 25 cm. Untuk kedalaman lubang juga digunakan 3 variasi yaitu kedalaman lubang 10 cm, kedalaman lubang 15 cm dan kedalaman lubang 20 cm. Tebal tanah digunakan setebal 30 cm. Hubungan atau pengaruh gradient hidraulik terhadap debit infiltrasi disajikan melalui grafik pada Gambar 19 (a), Gambar 19 (b), dan Gambar 19 (c), Gambar 20 (a), Gambar 20 (b), dan Gambar 20 (c), dan Gambar 21 (a), Gambar 21 (b), dan Gambar 21 (c).



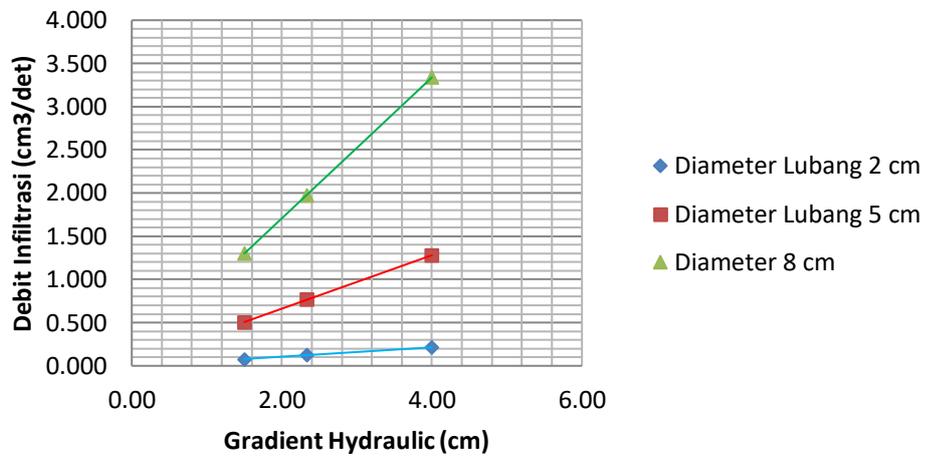
Gambar 19 (a). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,017 cm/det



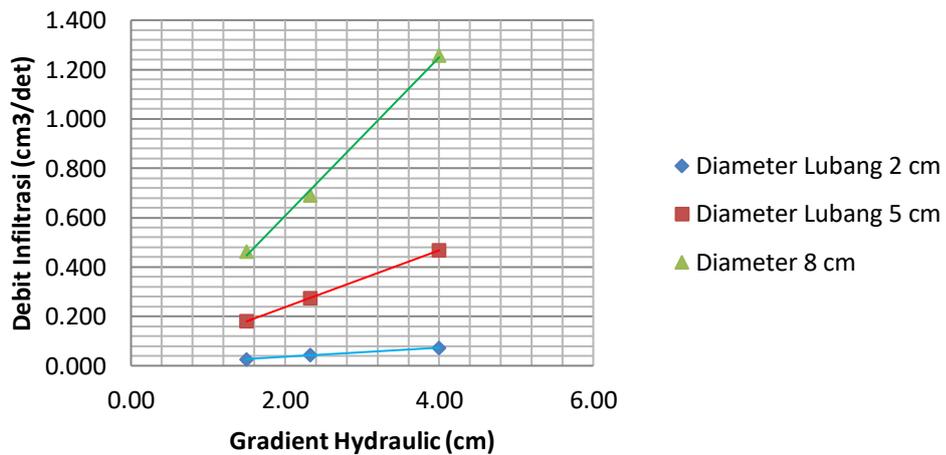
Gambar 19 (b). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,006 cm/det



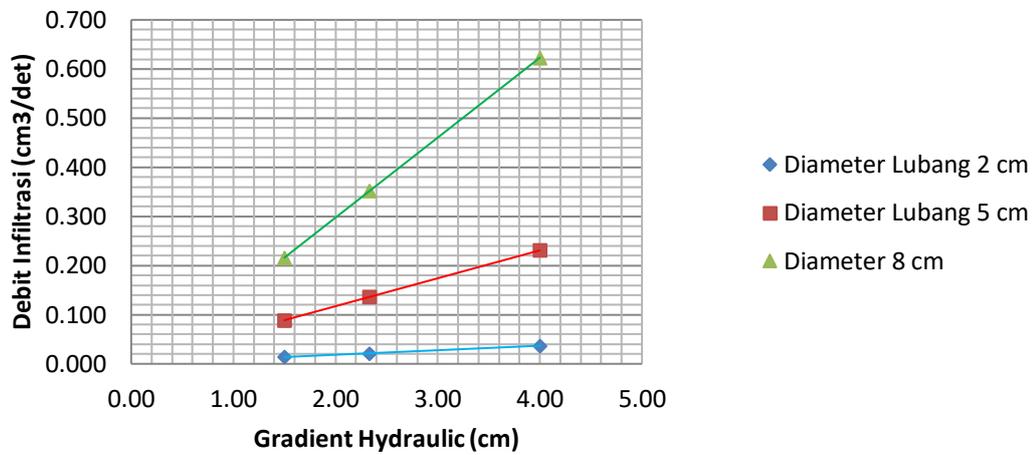
Gambar 19 (c). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 15 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,003 cm/det



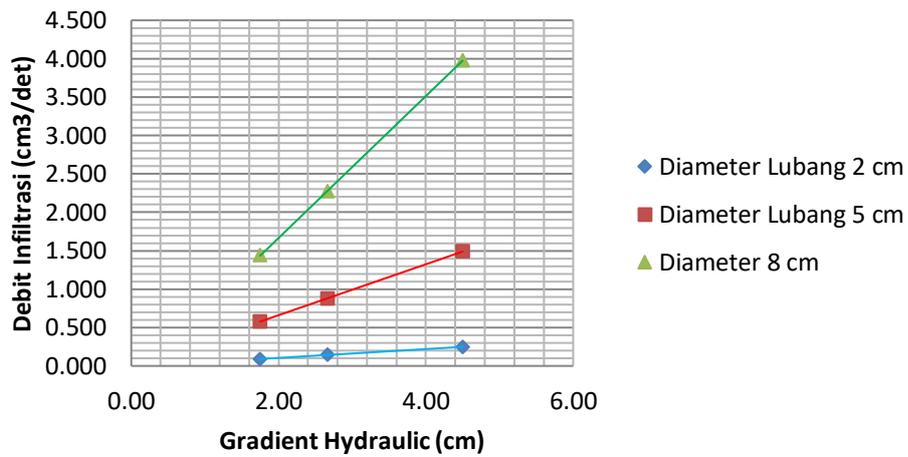
Gambar 20 (a). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,017 cm/det



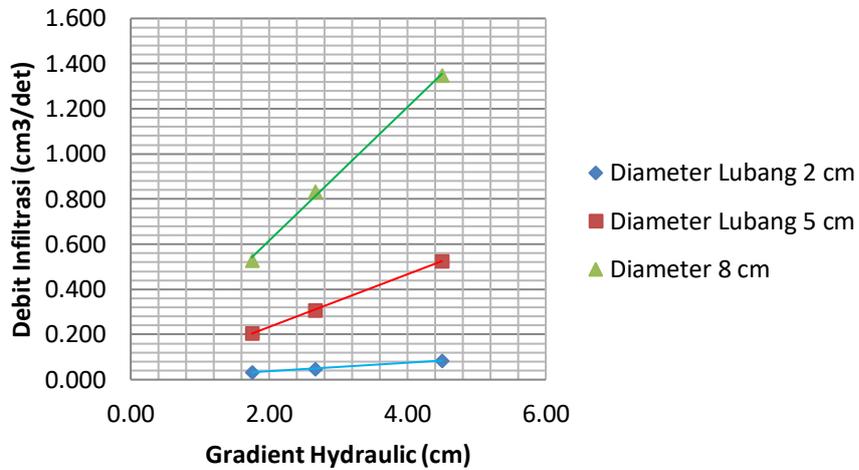
Gambar 20 (b). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,006 cm/det



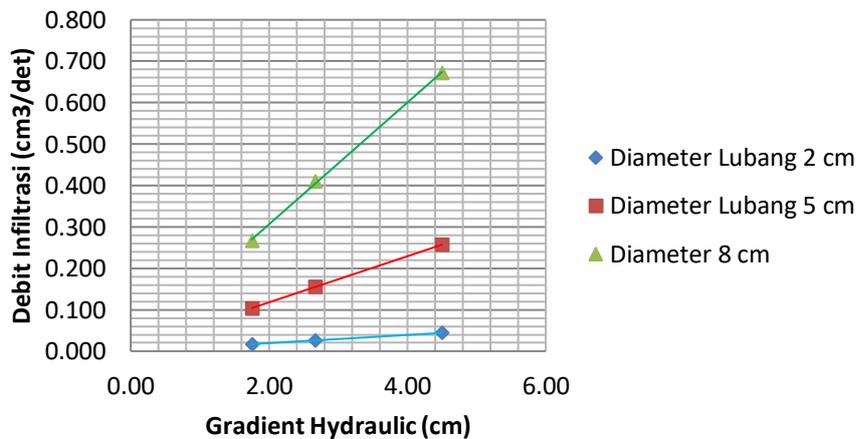
Gambar 20 (c). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 20 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,003 cm/det



Gambar 21 (a). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,017 cm/det



Gambar 21 (b). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi Pada Tinggi Muka Air (h) 25 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,006 cm/det



Gambar 21 (c). Pengaruh Gradient hydraulic (i) Terhadap Debit Infiltrasi ada Tinggi Muka Air (h) 25 cm Pada Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas (k) = 0,003 cm/det

Gradient hidraulik juga mempengaruhi debit infiltrasi, dimana pertambahan nilai gradient hidraulik menyebabkan bertambahnya debit infiltrasi secara umum, untuk berbagai kondisi tinggi muka air, kedalaman lubang, serta diameter lubang. Pada Gambar 19 (a), menunjukkan pertambahan gradient hydraulic akan menambah debit infiltrasi pada

model dengan lubang yang memiliki diameter 2 cm , 5 cm dan 8 cm. Gambar 20 (a), Gambar 20 (b), Gambar 20 (c) dan Gambar 21 (a), Gambar 21 (b), Gambar 21(c) terlihat bahwa debit infiltrasi terbesar terjadi pada koefisien permeabilitas tertinggi yaitu pada nilai $k = 0,017 \text{ cm/det}$, diameter lubang $d = 8 \text{ cm}$ serta gradient hidraulik tertinggi yaitu $i = 4,5 \text{ cm}$, yaitu $q = 3,978 \text{ cm}^3/\text{det}$.

Sebaliknya nilai debit infiltrasi terendah secara keseluruhan sebagaimana terlihat pada Gambar 19 (a), Gambar 19 (b), Gambar 19 (c), Gambar 20 (a), Gambar 20 (b), Gambar 20 (c) dan Gambar 21 (a), Gambar 21 (b), Gambar 21 (c) terjadi pada pada gradient hidraulik terendah, yaitu $i = 1,25 \text{ cm}$, diameter lubang $d = 2 \text{ cm}$. pada percobaan ini, tinggi rendahnya nilai gradient hidraulik ditentukan oleh perbandingan antara kedalaman lubang, tinggi muka air serta ketebalan tanah, dalam hal ini ketebalan tanah digunakan satu ukuran ketebalan yaitu 30 cm. Data mengenai besar debit infiltrasi yang terjadi pengaruh gradient hidraulik disajikan pada Tabel 12.

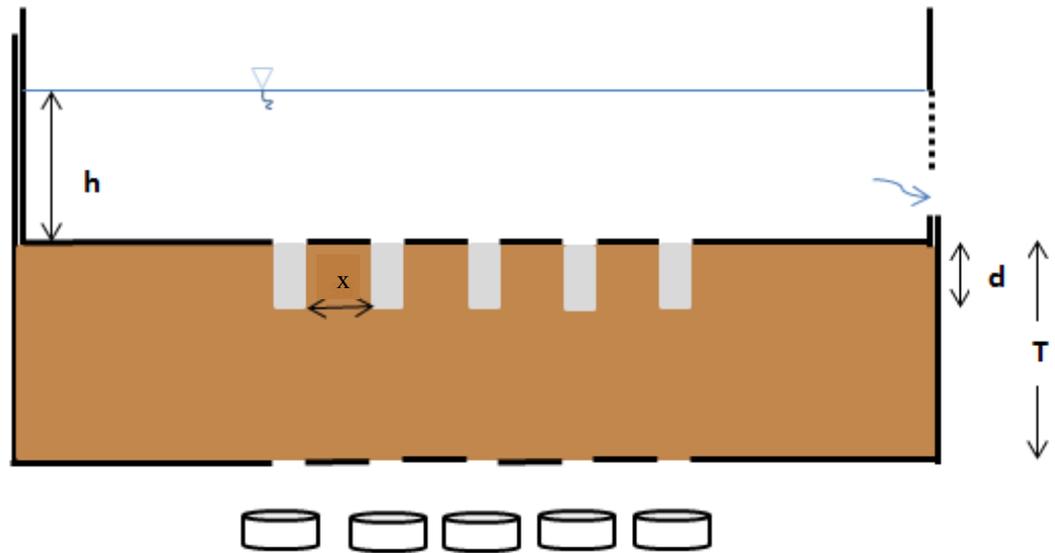
Tabel 12. Data Debit Infiltrasi Untuk Berbagai Gradient Hidraulik Diameter Lubang, Kedalaman Lubang Dan Tinggi muka Air

Jenis Tanah (k1)	Diameter lubang (D) (cm)	Debit Infiltrasi (q) (cm ³ /det)					
		Tinggi Muka Air (h) 15 cm		Tinggi Muka Air (h) 20 cm		Tinggi Muka Air (h) 25 cm	
		Tinggi Tekanan (i)	Debit infiltrasi (cm ³ /det)	Tinggi Tekanan (i)	Debit infiltrasi (cm ³ /det)	Tinggi Tekanan (i)	Debit infiltrasi (cm ³ /det)
0.017	2	1,25	0,065	1,5	0,079	1,75	0,09
		2	0,103	2,33	0,124	2,67	0,144
		3,5	0,18	4	0,214	4,5	0,248

	5	1,25	0,419	1,5	0,501	1,75	0,579	
		2	0,407	2,33	0,773	2,67	0,879	
		3,5	1,159	4	1,277	4,5	1,49	
	8	1,25	1,04	1,5	1,302	1,75	1,439	
		2	1,683	2,33	1,974	2,67	2,274	
		3,5	1,710	4	3,339	4,5	3,978	
	0.006	2	1,25	0,023	1,5	0,027	1,75	0,034
			2	0,038	2,33	0,043	2,67	0,048
			3,5	0,064	4	0,073	4,5	0,085
5		1,25	0,146	1,5	0,181	1,75	0,206	
		2	0,234	2,33	0,274	2,67	0,308	
		3,5	0,42	4	0,468	4,5	0,526	
8		1,25	0,39	1,5	0,462	1,75	0,528	
		2	0,631	2,33	0,691	2,67	0,833	
		3,5	1,048	4	1,257	4,5	1,348	
0.003	2	1,25	0,012	1,5	0,014	1,75	0,017	
		2	0,018	2,33	0,021	2,67	0,026	
		3,5	0,032	4	0,037	4,5	0,044	
	5	1,25	0,076	1,5	0,089	1,75	0,104	
		2	0,118	2,33	0,136	2,67	0,155	
		3,5	0,207	4	0,231	4,5	0,257	
	8	1,25	0,186	1,5	0,216	1,75	0,266	
		2	0,307	2,33	0,352	2,67	0,41	
		3,5	0,545	4	0,623	4,5	0,672	

2. Kondisi Hidrodinamis

Pengamatan atau pengambilan data pada kondisi hidrodinamis dilakukan untuk melihat fenomena yang mungkin terjadi pada saluran drainase berpori. Pada pengamatan ini data debit infiltrasi diperoleh melalui percobaan eksperimental pada model saluran seperti terlihat pada Gambar 22. Pada pengamatan dalam kondisi hidrodinamis, data debit infiltrasi diambil berdasarkan variasi debit aliran, jarak lubang, jenis tanah (koefisien permeabilitas) serta tinggi muka air.



Gambar 22. Model pada Kondisi Hidrodinamis

a. Pengaruh jarak lubang terhadap debit infiltrasi

Jarak lubang pori pada pengamatan ini diambil 3 kondisi yaitu jarak $x = 30$ cm, jarak $x = 60$ cm dan jarak $x = 90$ cm. Data debit infiltrasi akibat pengaruh jarak disajikan dalam tabel 13, pengaruh jarak terhadap debit infiltrasi pada model saluran drainase berpori dengan kedalaman 10 cm diperlihatkan melalui grafik pada Gambar 23 (a), Gambar 23 (b) dan Gambar 23 (c). Pengaruh jarak terhadap debit infiltrasi pada model saluran drainase berpori dengan kedalaman 15 cm diperlihatkan melalui grafik pada Gambar 24 (a), Gambar 24 (b) dan Gambar 24 (c). Sedangkan pada Gambar 25 (a), Gambar 25 (b) dan Gambar 25 (c) memperlihatkan pengaruh jarak terhadap debit infiltrasi pada model saluran drainase berpori dengan kedalaman lubang 20 cm.

Untuk pengambilan data guna melihat pengaruh jarak, untuk masing masing jarak divariasikan dengan 3 besaran debit yaitu debit $Q = 0,8 \text{ dm}^3/\text{det}$, debit $Q = 1,5 \text{ dm}^3/\text{det}$ serta debit $Q = 2,5 \text{ dm}^3/\text{det}$, 3 variasi kedalaman lubang yaitu $d = 10 \text{ cm}$, kedalaman lubang $d = 15 \text{ cm}$ dan kedalaman lubang $d = 20 \text{ cm}$. Untuk media peresapan diambil 3 variasi jenis tanah yaitu dengan koefisien permeabilitas $k = 0,017 \text{ cm}/\text{det}$, koefisien permeabilitas $k = 0,006 \text{ cm}/\text{det}$ serta koefisien permeabilitas $k = 0,003 \text{ cm}/\text{det}$.

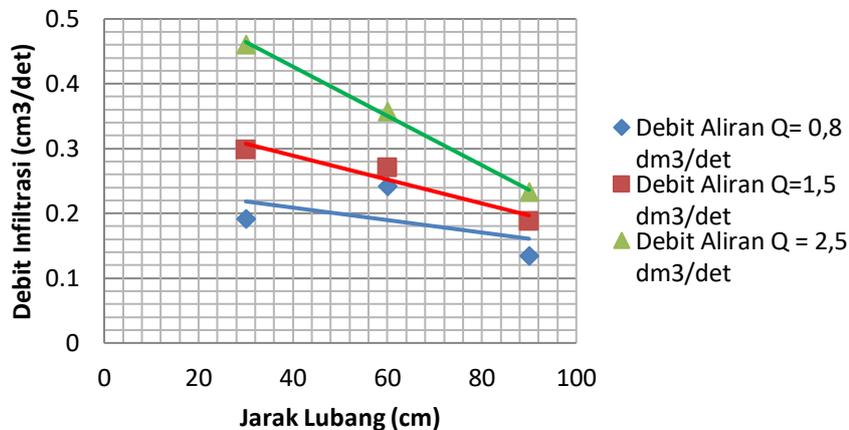
Dari Gambar 23 (a), Gambar 23 (b), Gambar 23 (c), Gambar 24 (a), Gambar 24 (b), Gambar 24 (c) dan Gambar 25 (a), Gambar 25 (b), Gambar 25 (c) terlihat bahwa jarak lubang pori berpengaruh terhadap debit infiltrasi dimana pada jenis tanah yang sama, debit yang sama terjadi pertambahan besar debit infiltrasi. Peningkatan debit aliran juga menyebabkan terjadinya peningkatan debit infiltrasi, tetapi lebih kecil dibanding peningkatan debit infiltrasi akibat perubahan jenis tanah dan kedalaman lubang. Untuk melihat pengaruh tiap parameter tersebut di atas dapat dilihat pada Tabel 13.

b. Pengaruh debit pengaliran terhadap debit infiltrasi

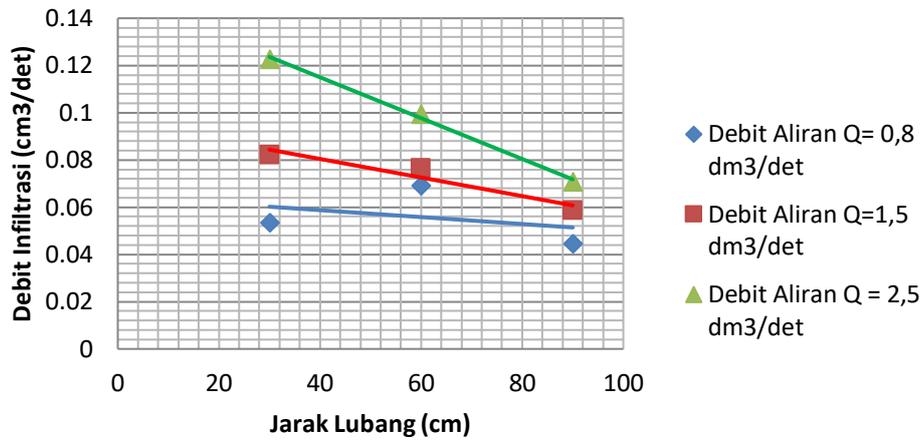
Debit pengaliran yang digunakan dalam penelitian ini pada kondisi hidrodinamis ada 3 variasi debit yaitu $Q_1 = 0,8 \text{ dm}^3/\text{det}$, $Q_2 = 1,5 \text{ dm}^3/\text{det}$, dan $Q_3 = 2,5 \text{ dm}^3/\text{det}$. Debit infiltrasi mempengaruhi tinggi muka air dimana bertambahnya debit infiltrasi menyebabkan pertambahan tinggi muka air. Untuk debit pengaliran $Q_1 = 0,8 \text{ dm}^3/\text{det}$ mengakibatkan tinggi

muka air $h = 1,13$ cm, untuk debit pengaliran $Q_2 = 1,5$ dm³/det mengakibatkan tinggi muka air $h = 1,63$ cm dan pada debit pengaliran $Q_3 = 2,5$ dm³/det terjadi tinggi muka air $h = 2,25$ cm.

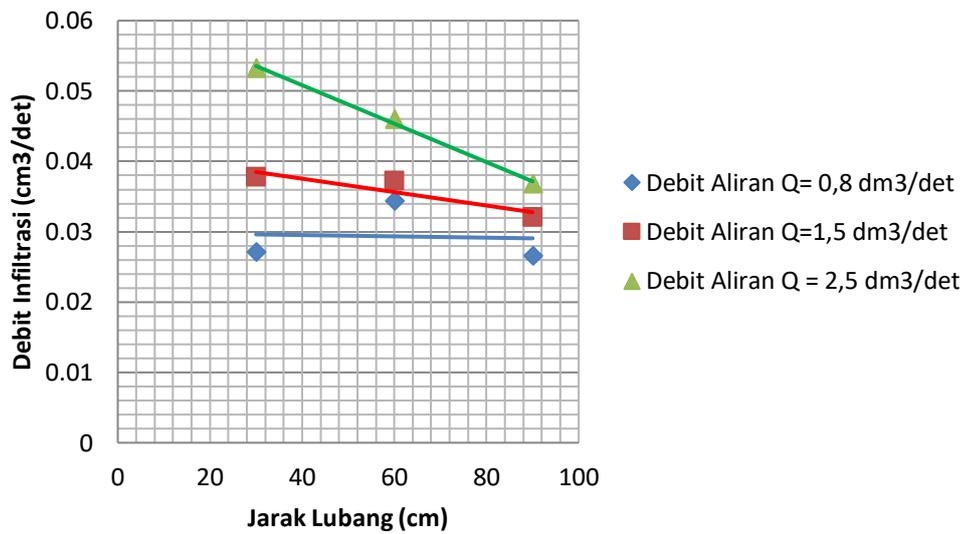
Variasi 3 debit pengaliran pada kondisi hidrodinamis yang menyebabkan tinggi muka air yang berbeda mengakibatkan debit infiltrasi yang beda pula yaitu pertambahan nilai Q mengakibatkan pertambahan nilai debit infiltrasi. Pengaruh debit pengaliran terhadap debit infiltrasi terlihat pada Gambar 23 (a), Gambar 23 (b), Gambar 23 (c), Gambar 24 (a), Gambar 24 (b), Gambar 24 (c) dan Gambar 25 (a), Gambar 25 (b), Gambar 25 (c). Data lengkap mengenai debit infiltrasi akibat debit pengaliran juga dapat dilihat pada tabel 13.



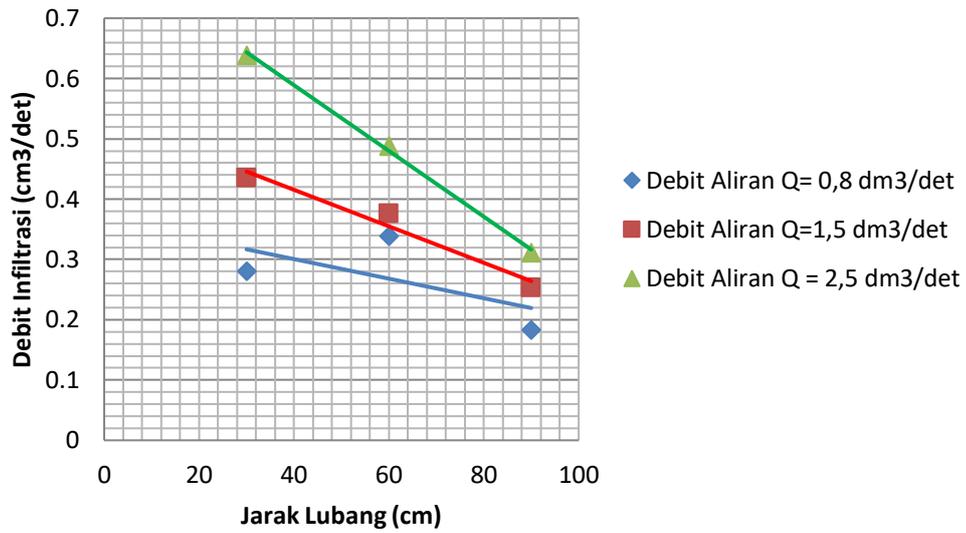
Gambar 23 (a).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 10$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k = 0,017$ cm/det



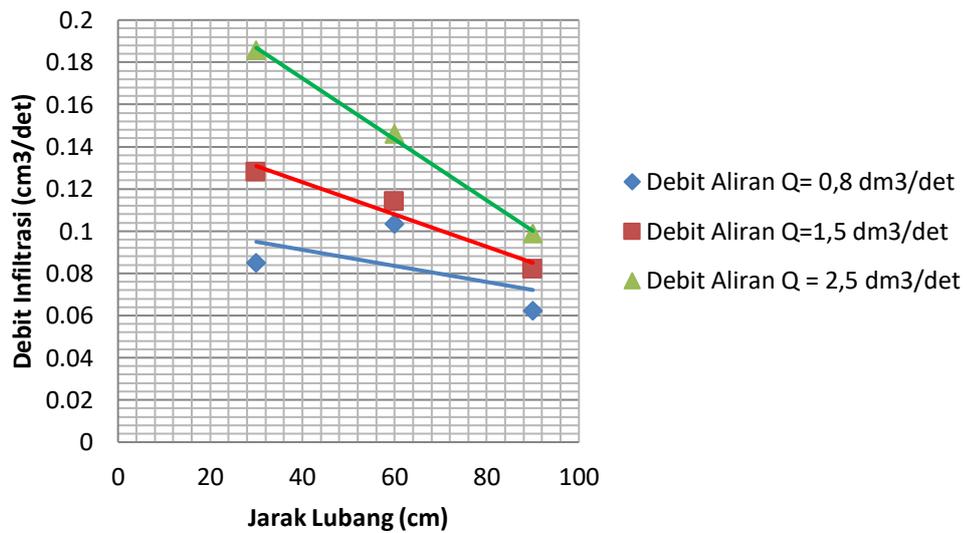
Gambar 23 (b).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 10$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k= 0,006$ cm/det



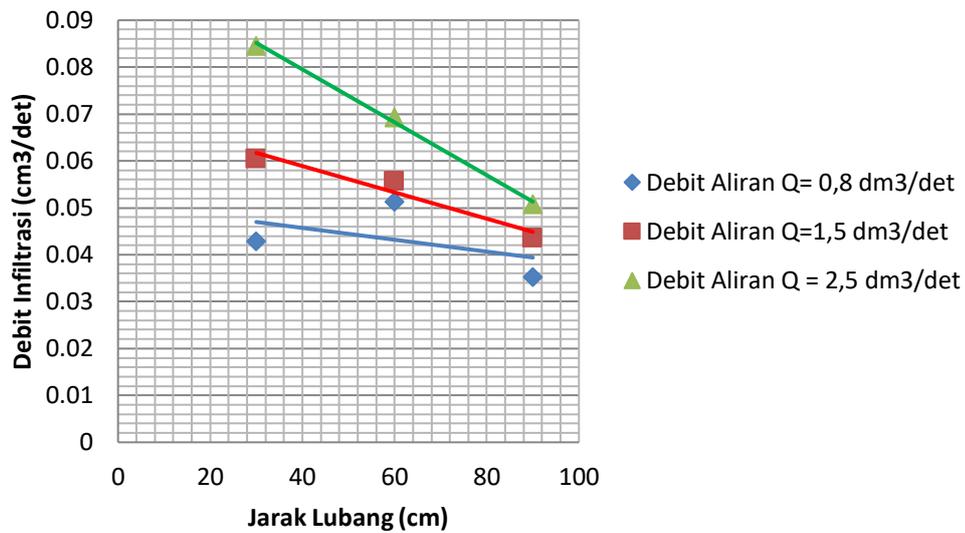
Gambar 23 (c).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 10$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k= 0,003$ cm/det



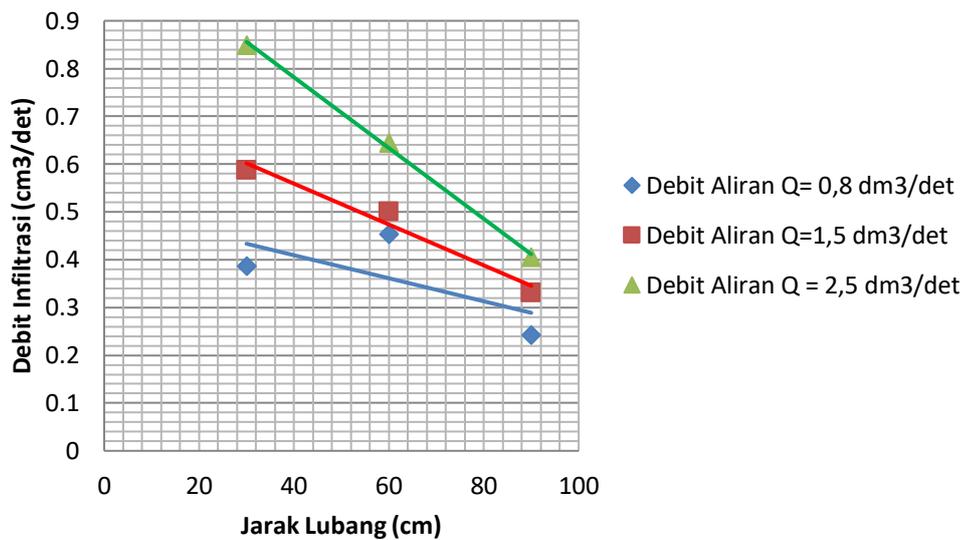
Gambar 24 (a).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 15$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k = 0,017$ cm/det



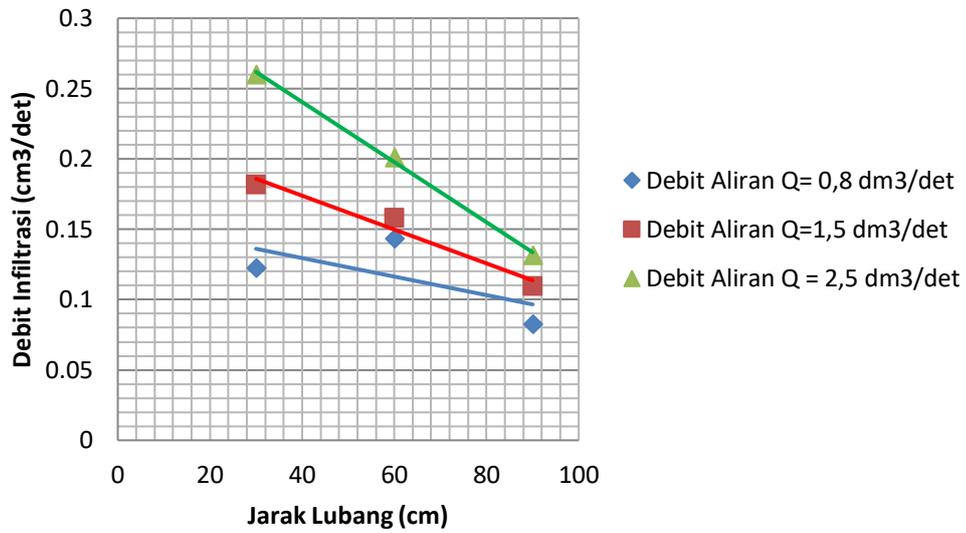
Gambar 24 (b).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 15$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k = 0,006$ cm/det



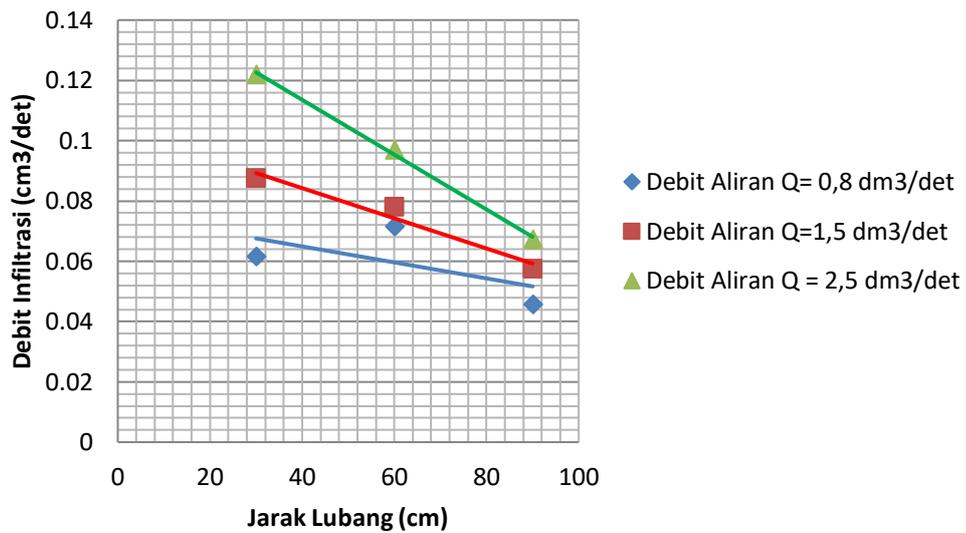
Gambar 24 (c).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 15$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k= 0,003$ cm/det



Gambar 25 (a).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 20$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k= 0,017$ cm/det



Gambar 25 (b).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 20$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k= 0,006$ cm/det



Gambar 25 (c).Pengaruh Jarak Lubang Terhadap Debit Infiltrasi Pada Kedalaman lubang $d = 20$ cm dan Tanah Dengan Koefisien Permeabilitas $k= 0,003$ cm/det

Tabel 13. Data Debit Infiltrasi Untuk Berbagai Jarak Lubang, Debit Pengaliran Kedalaman Lubang Dan Jenis Tanah.

Debit Pengaliran (Q) (dm ³ /det)	Jenis Tanah (K) (cm/det)	Jarak Lubang (x) (cm)	Debit infiltrasi (q) (cm ³ /det)		
			Kedalaman lubang (d = 10 cm)	Kedalaman lubang (d = 15 cm)	Kedalaman lubang (d = 20 cm)
0.8	0.017	30	0,191949	0,281343	0,38739
		60	0,24284	0,339	0,453438
		90	0,134362	0,18393	0,242721
	0.006	30	0,05349	0,085041	0,122451
		60	0,069262	0,103328	0,143716
		90	0,044704	0,062201	0,082948
	0.003	30	0,027126	0,0429	0,061605
		60	0,034324	0,051356	0,071552
		90	0,026571	0,03532	0,045693
1.5	0.017	30	0,298161	0,435111	0,588006
		60	0,270724	0,377006	0,501274
		90	0,18755	0,253475	0,331643
	0.006	30	0,082338	0,127851	0,181815
		60	0,076632	0,11386	0,158042
		90	0,058738	0,082006	0,109595
	0.003	30	0,037734	0,060492	0,087471
		60	0,037144	0,055758	0,07783
		90	0,032012	0,043646	0,05744
2.5	0.017	30	0,461001	0,639	0,850053
		60	0,3571	0,48895	0,645286
		90	0,23283	0,311941	0,405742
	0.006	30	0,122775	0,185598	0,260088
		60	0,099476	0,146012	0,20119
		90	0,070899	0,09882	0,131927
	0.003	30	0,053223	0,084636	0,121881
		60	0,046024	0,069292	0,09688
		90	0,03682	0,05078	0,067335

C. ANALISA DIMENSI

Agar hasil penelitian ini dapat digeneralisir untuk berbagai kondisi parameter maka perlu dibuat model persamaan bilangan tak berdimensi, yang diperoleh melalui grafik pengaruh perbandingan debit infiltrasi drainase dengan lubang pori yang dihasilkan melalui uji laboratorium dengan debit infiltrasi tanpa lubang pori terhadap bilangan tak berdimensi dimana untuk menghasilkan bilangan tak berdimensi dilakukan analisa bilangan tak berdimensi (Yuwono, 1996). Ada beberapa metode untuk menentukan bilangan tak berdimensi antara lain Metode Basic Echelon Matrikx, Metode Buckingham, Metode Rayleigh, Metode Stepwise dan Metode Langhaar.

Untuk kondisi penelitian ini, metode yang sesuai adalah metode, Buckingham dimana dalam teorema metode ini: jika suatu persamaan memiliki n variable dan m dimensi dasar, maka bilangan tak berdimensi yang terbentuk adalah (n-m), dimana untuk penelitian ini terdiri dari 6 variabel berpengaruh yaitu permeabilitas tanah (k_2), permeabilitas pasir (k_1), diameter lubang pori (D), kedalaman lubang pori (d), tinggi muka air (h), tebal lapisan tanah (T-d) serta 2 dimensi dasar yaitu (L) dan (T).

Berdasarkan parameter bebas yang ada maka bilangan tak berdimensi yang terbentuk ada 4 yaitu $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$.

$$\pi_1 = (k_1)^a (T - d)^b k_2$$

$$\left(\frac{L}{T}\right)^a (L)^b \frac{L}{T}$$

L..... $0 = a + b + 1$; T..... $0 = - a - 1$, sehingga diperoleh $a = -1$
 dan $b = 0$, maka, $\pi_1 = \frac{k_2}{k_1}$, selanjutnya $\pi_2 = (k_1)^a (T - d)^b d$

$$= \left(\frac{L}{T}\right)^a (L)^b L$$

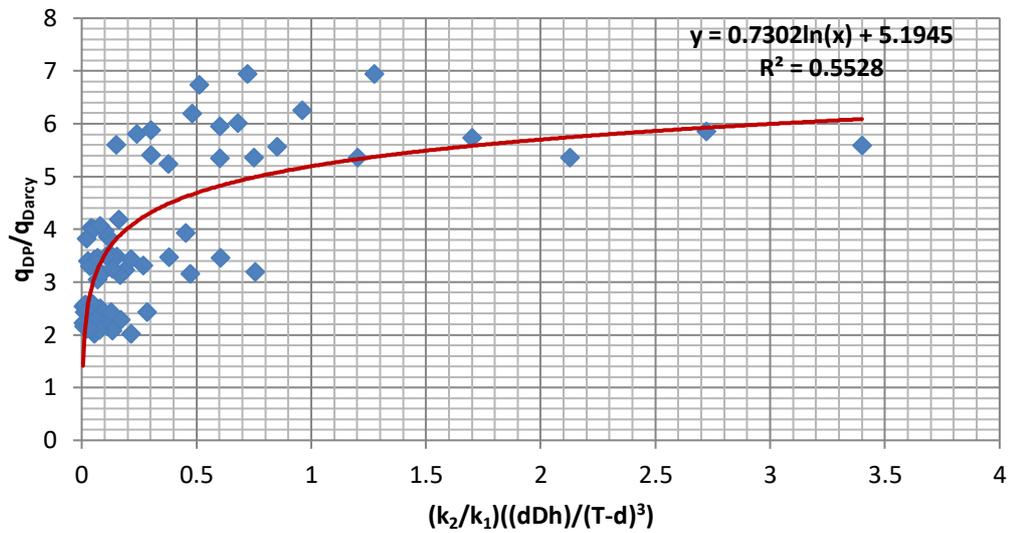
L..... $0 = a + b + 1$; T..... $0 = - a$, sehingga diperoleh $a = 0$
 dan $b = -1$, maka, $\pi_2 = \frac{d}{T-d}$, selanjutnya dengan cara yang sama
 diperoleh nilai bilangan tak berdimensi π_3 dan π_4 .

Berdasarkan teorema Buckingham terbentuk empat bilangan tak berdimensi yaitu $\left(\frac{k_2}{k_1}\right) \left(\frac{d}{T-d}\right) \left(\frac{D}{T-d}\right) \left(\frac{h}{T-d}\right)$ (10)

Dengan bilangan tak berdimensi yang terbentuk dapat dihasilkan suatu persamaan melalui grafik pada Gambar 26 yang memperlihatkan hubungan antara empat bilangan tak berdimensi dengan perbandingan antara q ukur dan q darcy.

Melalui grafik pada Gambar 26 dihasilkan persamaan bilangan tak berdimensi yaitu : $y = 0,7302 \ln(x) + 5,1945$ (11)

Dimana y adalah perbandingan antara q_{ukur} dan q_{darcy} , dan x adalah bilangan tak berdimensi yang dihasilkan melalui metode Buckingham.



Gambar 26. Grafik Bilangan tak berdimensi

Selanjutnya dilakukan substitusi nilai x dan y pada persamaan 12 dan 13

$$\frac{q_{DP}}{q_{Darcy}} = 0,7302 \ln \left[\left(\frac{k_2}{k_1} \right) \left(\frac{d h D}{(T-d)^3} \right) \right] + 5,1945 \quad (12)$$

$$q_{DP} = K_f q_{Darcy} \quad (13)$$

Dimana :

K_f = Koefisien spesifik infiltrasi drainase berpori

$$K_f = 0,7302 \ln \left[\frac{k_2}{k_1} \right] \left[\frac{d h D}{(T-d)^3} \right] + 5,1945$$

k_2 = Koefisien permeabilitas tanah

k_1 = koefisien permeabilitas pasir

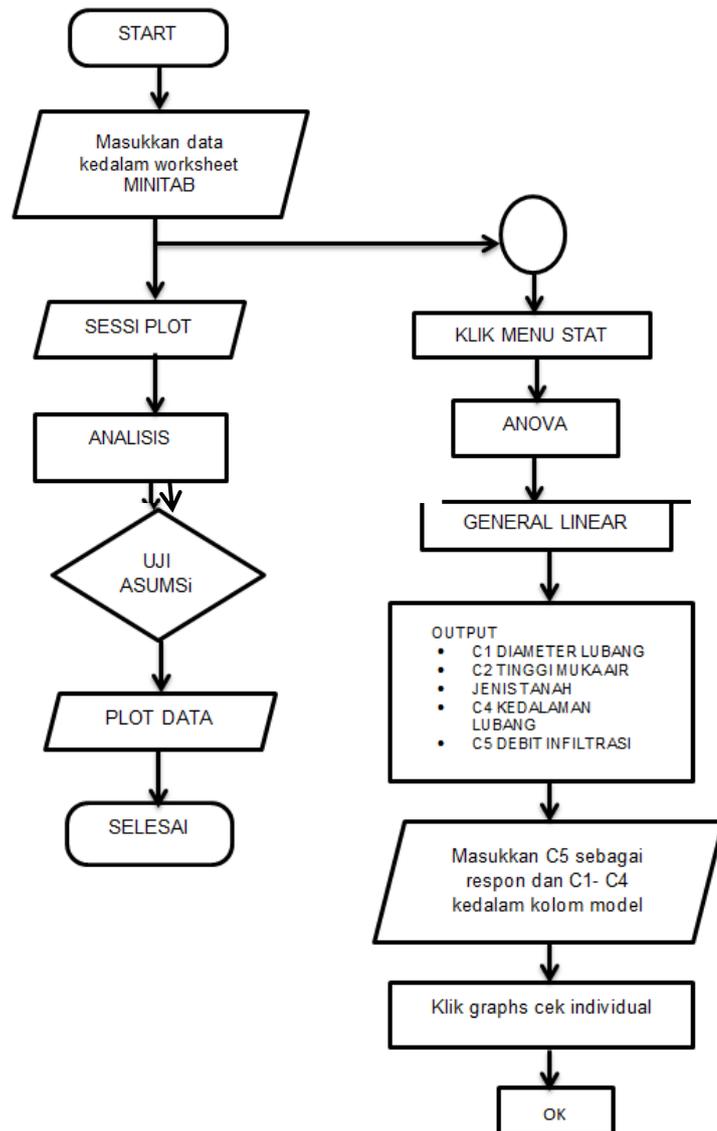
D = diameter lubang pori ; h = tinggi muka air

d = kedalaman lubang pori ; T = tebal lapisan tanah

q_{DP} = Debit Infiltrasi drainase berpori

D. UJI HUBUNGAN ANTAR PARAMETER

Untuk menguji hubungan antar parameter dilakukan analisa dengan menggunakan program Minitab



Gambar 27. Flowchart Uji Parameter`
Selanjutnya kita lakukan analisis dengan menggunakan MINITAB dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Kondisi Hidrostatik

a. Analisis

Berdasarkan output program minitab diperoleh hasil analisis

- Analisis faktor diameter lubang

Faktor diameter lubang (2 cm, 5 cm, 8 cm) yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan berbeda terhadap hasil debit infiltrasi

- Analisis faktor tinggi muka air

Faktor tinggi muka air (15 cm, 20 cm, 25 cm) yang berbeda tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil debit infiltrasi

- Analisis faktor jenis tanah

Faktor jenis tanah (0,017 cm/det; 0,006 cm/det ; 0,003 cm/det) yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan berbeda terhadap hasil debit infiltrasi

- Analisis faktor kedalaman lubang

Faktor kedalaman lubang (10 cm, 15 cm, 20 cm) yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan berbeda terhadap hasil debit infiltrasi

b. Uji Asumsi

- Uji Normalitas

Berdasarkan output minitab data berdistribusi normal.

- Uji Homogenitas

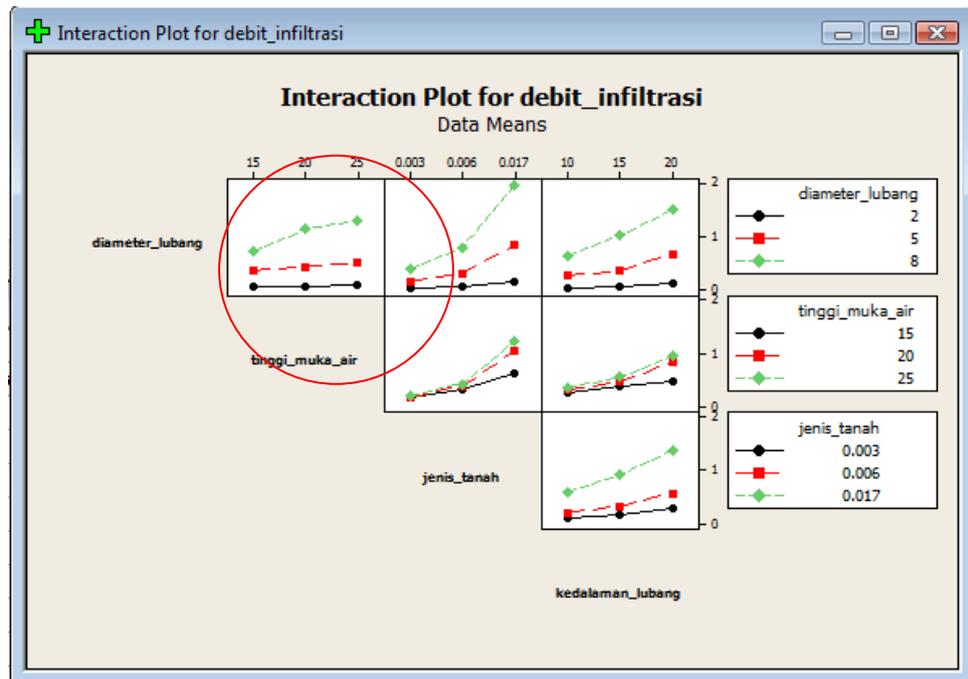
Berdasarkan output minitab semua data sudah memenuhi asumsi Homogenitas.

- Uji Independen

Berdasarkan output minitab semua data memenuhi asumsi independent.

c. Plot data

Berdasarkan plot data diatas diperlihatkan grafik interaksi antara beberapa faktor terhadap rata-rata hasil debit infiltrasi. Misalnya pada interaksi pertama yakni interaksi antara diameter lubang, tinggi muka air terhadap debit infiltrasi diperlihatkan pada (lingkaran merah), dimana titik hitam menandakan diameter lubang= 2 cm, kotak merah menandakan diameter lubang = 5 cm, dan kotak hijau menandakan diameter lubang=8 cm. Dan terlihat diameter lubang = 2 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling kecil. Sedangkan diameter lubang =8 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling besar. Selanjutnya apabila dibandingkan per diameter lubang 2 cm ,5 cm , dan 8 cm nampak bahwa tinggi muka air =15 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling kecil dan tinggi muka air =25 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling besar. Begitupun untuk interaksi kedua dan seterusnya.



Gambar 28. Interaksi Plot debit infiltrasi Kondisi Hidrostatik

2. Kondisi Hidrodinamis

a. Analisis

Berdasarkan output program minitab diperoleh hasil analisis

- Analisis faktor kedalaman lubang

Faktor kedalaman lubang (10 cm, 15 cm, 20 cm) yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan berbeda terhadap hasil debit infiltrasi

- Analisis faktor jarak lubang

Faktor jarak lubang (30 cm, 60 cm, 90 cm) yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan berbeda terhadap hasil debit infiltrasi.

- Analisis faktor jenis tanah

Faktor jenis tanah (0,017 cm/det ;0,006 cm/det ;0,003 cm/det) yang berbeda memberikan pengaruh yang signifikan berbeda terhadap hasil debit infiltrasi.

- Analisis faktor debit aliran

Faktor debit aliran (0,8 cm³/det; 1,5 cm³/det; 2,5 cm³/det) yang berbeda tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil debit infiltrasi.

b. Uji Asumsi

- Uji Normalitas

Berdasarkan output minitab data berdistribusi normal.

- Uji Homogenitas

Berdasarkan output minitab semua data sudah memenuhi asumsi Homogenitas

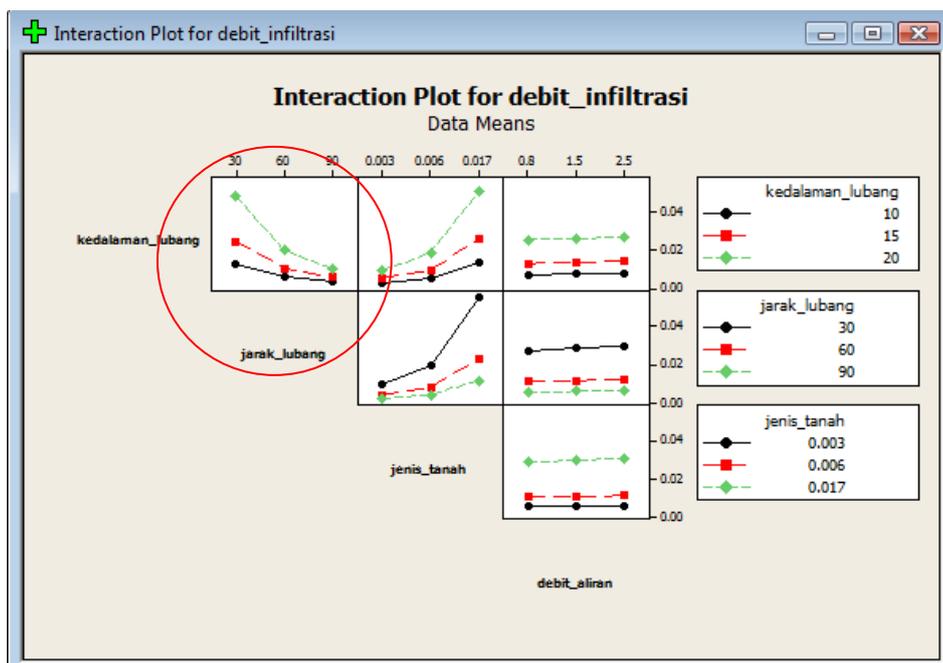
- Uji Independen

Berdasarkan output minitab semua data memenuhi asumsi independent.

c. Plot data

Berdasarkan plot data diatas diperlihatkan grafik interaksi antara beberapa faktor terhadap rata-rata hasil debit infiltrasi. Misalnya pada interaksi pertama yakni interaksi antara kedalamanlubang, jarak lubang terhadap debit infiltrasi diperlihatkan pada (lingkaran merah), dimana titik hitam menandakan kedalamanlubang = 10 cm, kotak merah menandakan

kedalamanlubang =15 cm, dan kotak hijau menandakan kedalamanlubang =20 cm. Dan terlihat kedalamanlubang = 10 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling kecil. Sedangkan kedalamanlubang = 20 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling besar. Selanjutnya apabila dibandingkan per kedalamanlubang 10 cm,15 cm, dan 20 cm nampak bahwa jarak lubang =30 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling besar dan jarak lubang =90 cm memiliki nilai mean (rata-rata) hasil debit infiltrasi yang paling kecil. Begitupun untuk interaksi kedua dan seterusnya.



Gambar 29. Interaksi Plot debit infiltrasi Kondisi Hidrodinamis

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

G. Kesimpulan

1. Debit Infiltrasi yang dihasilkan melalui penelitian ini lebih besar dari pada Debit Infiltrasi yang dihitung dengan menggunakan rumus Darcy, dimana hubungan kedua debit tersebut dinyatakan dalam persamaan :

$$q_{DP} = K_f q_{darcy}$$

2. Nilai K_f dipengaruhi oleh koefisien permeabilitas tanah, koefisien permeabilitas pasir, diameter lubang pori, kedalaman lubang pori, tinggi muka air, dan tebal lapisan tanah.
3. Hasil penelitian dapat digunakan secara general untuk berbagai kondisi tanah dan kondisi aliran.
4. Saluran drainase berpori dapat diterapkan pada lokasi genangan banjir di Kota Makassar.

H. Saran

1. Pada penerapan saluran drainase berpori di lapangan sebaiknya berupa saluran terpisah dari saluran air kotor.
2. Pada penerapan sistem saluran drainase berpori, pasir pada lubang pori harus selalu dikontrol.
3. Sistem saluran drainase berpori sebaiknya dilengkapi dengan bangunan pelengkap.
4. Operasional dan pemeliharaan saluran harus selalu menjadi perhatian masyarakat dan penentu kebijakan.

DAFTAR PUSTAKA

Adi Yusuf Muttaqin. 2007. *Kinerja Sistem Drainase Yang Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Masyarakat* (Studi Kasus di Perumahan Josroyo Indah Jatèn Kabupaten Karanganyar), Jurnal Media Teknik, Sipil, UNS, Surakarta

Agroteknologi. 2012. Segitiga Tekstur tanah UMPAR.

Alimaksum, N. M. 2010. *Evaluasi Hantaran Hidrolik Tanah Lubang Resapan Biopori pada Latosol Coklat Darmaga dan Latosol Merah Jakarta*. Skripsi. Program Studi Ilmu Tanah Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian. Bogor: Institut Pertanian Bogor

Arikunto, Suharsimi. 2006, *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*, PT. Rineka Cipta, Jakarta.

Asdak, C. 2001. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Asdak, 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. UGM Pres. Yogyakarta,

Azis, Akhmad. 2013. Studi Penggunaan Kolom Pasir pada Waduk Resapan Dalam Mengatasi Permasalahan Imbuhan Air Tanah.

Bidang Perencanaan Teknis dan Tata Bangunan Dinas Kimpraswil Kota Malang. Malang, April 2006, "*Upaya Pengendalian Banjir Dengan Peningkatan Peran Serta Masyarakat*"

Brata, K. R. Dan Nelistya, Anne, 2008. *Lubang Resapan Biopori*. Swadaya. Jakarta.

Brata, K. R. dan Nelistya. 2008. *Lubang Resapan Biopori*. Jakarta: Penebar Swadaya

Busro, 1990 dalam Sucipto dan Agung Sutarto, 2007. *Analisis Kapasitas Tampung Sistem Drainase Kali Beringin Untuk Pengendalian Banjir Wilayah Drainase Semarang Barat*,

-----, 2008. *Implementasi Sistem Peresapan Biopori Untuk Konservasi Sumber Daya Air*. Makalah.

-----, 2009. *Implementasi Lubang Resapan Biopori Untuk Perbaikan Lingkungan*, Makalah.

Fetter.C. W, 1988. Applied Hydrogeology Fourth Edition

Dinolefty, 2010. www.biopori.com , *Modul Sistem Resapan Air , Lubang Berpori*, Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, Nomor 1 Volume 9 – Januari 2007, hal 33 – 42

Gerke, H. H. 2012. The role of mass transfer in dual-permeability modeling of preferential flow in structured soils: Dresdner Wasserseminar an der TU Dresden; Dresden, Deutschland,

Goldsmith. 1993:162 dalam Sucipto dan Agung Sutarto, 2007, Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan, Nomor 1 Volume 9 – Januari 2007, hal 33 – 42.

Hakim, Z. A. R. 2011.*Biopori, Solusi Banjir di Perkotaan*. <http://zainalarif.wordpress.com/2010/05/21/biopori-solusi-banjir-di-perkotaan/>. Diakses 6 Februari 2012.

Hakim Duppa, Reduksi Aliran Permukaan Dengan Resapan Berpori Pada Daerah Genangan, Makassar. Indonesia.

Hakim, N. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung. Lampung.

Hammer, M. & Kichan, K. 1981. *Hydrology and Quality of Water Resources*.Permissions Departement, United States of Amerika.

Hanafiah, A.K. 2005.*Dasar-dasar Ilmu Tanah*.Raja Grafindo Persada.Jakarta.

Handoyo,B.2008.**[http://www.malang.ac.id/eLearning/FMI PA/BudiHandoyo/geografi.htm](http://www.malang.ac.id/eLearning/FMI_PA/BudiHandoyo/geografi.htm). tanggal 5 Mei 2008.**

Hardjowigeno, S. 1995. Ilmu Tanah. Akademika Pressindo, Jakarta

Haryono, Sukarto. 1999.*Drainase Perkotaan*, Penerbit PT. Mediatama Saptakarya, Jakarta.

Hasmar, Halim. 2002. *Drainase Perkotaan*. Yogyakarta: UII Press.

Herlambang, A. 1996.*Kualitas Air tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.

Horton, R.E. 1935. *Surface Runof Phenomena: Part I Analysis of the Hydrograph*. Horton Hydrol. Lab. Pub. 101. Ann Arbor, M.I; Edward Bros.

Suharta, I Ketut. 2000. mengetahui kapasitas infiltrasi dan kapasitas perlokasi dan mengetahui potensi peresapan air hujan di wilayah Kota Denpasar. Indonesia

Irianto, Gatot. 2003. *Banjir dan Kekeringan*, Penerbit CV. Universal Pustaka Media, Bogor.

Joko Suparmanto. 2009. *Evaluasi dan Alternatif Penanggulangan Genangan Berbasis Konservasi Air di Kota Kupang Das Dendeng – Merdeka Propinsi Nusa Tenggara Timur*

Khairul Rizal, M, USU Medan 2009. *Analisis Pemetaan Zonasi Resapan Air Untuk Kawasan Perlindungan Sumberdaya Air Tanah (Groundwater)* . PDAM Tirtanadi Sibolangi Kabupaten Deli Serdang Propinsi Sumatra Utara.

Kimpraswil, 2006. Penyebab banjir dan Konsep Drainase Konvensional

Kodoatie, Robert J. dan Sugiyanto, 2002. *Banjir, Beberapa penyebab dan metode pengendaliannya dalam perspektif Lingkungan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Kodoatie, Robert. 2003. *Manajemen dan Rekayasa Infrastruktur*, Penerbit Pustaka Pelajar, Jogjakarta.

Krussman, G.P. and Ridder, N.A.de. 1970. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.*

Kusmayadi dan Sugiarto, Endar, 2000. *Metodologi Penelitian dalam Bidang Kepariwisata*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Linsley, R.K. and Franzini, J.B. 1986. *Teknik Sumber Daya Air*. edisi ke dua, Erlangga.
CIFOR, 2002, Warta Kebijakan, Ford Foundation and ADB.

Maryono, Agus. 2000. *Renaturalisasi Sungai*, Penerbit Kompas, Jakarta.

Michal Sněhota et.al. 2010. *Preferential and Unstable Flow: From The Pore To The Catchment Scale*. Germany.

Muttaqin, Adi Yusuf. 2007. *Kinerja Sistem Drainase Yang Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Masyarakat (Studi Kasus di Perumahan Josroyo Indah Jaten Kabupaten Karanganyar)*, Media Teknik Sipil.

- Nasir, M. 1988. *Metoda Penelitian*. Darussalam: Ghalia Indonesia.
- Nazir, Moh. 2005. *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia. Ciawi, Bogor.
- Pascasarjan, Program 2006. *Pedoman Penulisan Tesis dan Disertasi Edisi 4*, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Peter R Jørgensen. 2004. **Monitoring well interception with fractures in clayey till**
- Prayitno, G. dkk. 2010. *Studi Efektifitas Biopori sebagai Alternatif Teknologi Ekodrainase dalam Mengendalikan Banjir di Kota Malang (Studi Kasus: Sub DAS Metro)*. Laporan Penelitian. Fakultas Teknik. Malang: Universitas Brawijaya
- Rauf, A. 2009. *Optimalisasi Pengelolaan Lahan Pertanian Hubungannya dengan Upaya Memitigasi Banjir. (Pidato Pengukuhan Guru Besar)*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Salem Bouri, Hamed Ben Dhia. 2009. A thirty-year artificial recharge experiment in a coastal aquifer in an arid zone: The Teboulba aquifer system (Tunisian Sahel), Laboratoire 3E, ENIS, BP W 3038, Sfax, Tunisia, Surface geosciences (Hydrology–Hydrogeology), Elsevier, Published by Elsevier Masson SAS.
- Sobriyah dan Wignyasukarto, Budi. 2001, "Peran Serta Masyarakat dalam Pengendalian Banjir untuk Mendukung Pelaksanaan Otonomi Daerah". Makalah pada Kongres VII dan PIT VIII Himpunan Ahli Teknik Hidraulik, Indonesia (HATHI), Malang 2001.
- Sosrodarsono, S. and Takeda, K. 1985. *Hidrologi Untuk Pengairan. Pradnya Paramita*, Cetakan ke lima, Jakarta.
- Sudjana. 2002. *Metoda Statistika*. P.T. Transito. Bandung.
- Sugiyono, 2004. *Statistika Untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- , 2009. *Statistika Untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- Suharta, K.; Merit, N. dan Sunarta, N. 2008. *Studi Peresapan Air Hujan di Kota Denpasar*. *Journal Ecotropic* 3 (2) : 49 - 54.
- Sumur resapan, solusi anti banjir. Post date icon Rabu, "Pikiran-rakyat.com & kompas.com", 21 Maret 2007.

Sunjoto. 1987. *Sistem Drainase Air Hujan yang Berwawasan Lingkungan, Makalah Seminar Pengkajian Sitem Hidrologi dan Hidrolika*, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada.

Sunarto. 1997. *Paleogeomorfologi dalam Analisis Perubahan Lingkungan Kompleks Gua Karst Maros*. Majalah Geogafi Indonesia, (11) 19,31-52.

Suripin.2001. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Andi.Yogyakarta.

Suripin.. 2004. *"Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan"*, Penerbit andi Jogjakarta.

Sunjoto.S. 2011. *Comparison of Recharge System Formulas from Point of View of Dimension Analysis, Mathematical Logic and Flow Condition*, Proceedings of the 4th ASEAN Civil Engineering Conference, Department of Civil & Environmental Engineering Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia

Sunjoto. 2012. *Teknik Drainase Pro Air*, Jurusan Sipil & Lingkungan Universitas Gajahmada, Yogyakarta.

Střelcová, K et.al. 2007. *Intraseasonal stem circumference oscillations: their connection to weather course*, Slovak Republik

Todd, D.K. 1980. *Ground Water Hydrology*. John Wiley and Sons Inc., New York.

Todd, D. K. 1980. *Ground Water Hydrology*. Mc Graw – Hill Book Company., New York.

[TriYari Kurniawan, 2013.](http://www.tempo.com) Banjir, 1.500 Warga Makassar Dievakuasi. <http://www.tempo.com>. 06 Januari 2013(09:18).

Wahyudi, A. F., R. Sembara, dan A. H. Nasution. 2008. *Lubang Resapan Biopori sebagai Teknologi untuk Mengurangi Sampah Organik dan Mengatasi Banjir*. Karya Tulis Ilmiah. Bogor: IPB

Waspodo. 2002 dalam Azis, Akhmad. 2013. *Studi Penggunaan Kolom Pasir pada Waduk Resapan Dalam Mengatasi Permasalahan Imbuhan Air Tanah*.

Wasrif, Taufan Kurniawan, dan Friski Cahya N. 2010. *Inovasi Pipa Pori Resapan Untuk Penanggulangan Banjir Di Kawasan Perkotaan Padat Penduduk'*, Jurusan Teknik Sipil UGM.

www.biopori.com

Yuwono, Nur. 1996. Perencanaan Model Hidraulik, Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

----- . 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Penerbit Andi, Yogyakarta.