

**TUGAS AKHIR**

**UJI LABORATORIUM RESAPAN BERPORI SEBAGAI KENDALI  
BANJIR DAERAH GENANGAN**



**DISUSUN OLEH :**

**LIN YUN FAT**

**D111 08 277**

**JURUSAN SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR**

**2014**

**TUGAS AKHIR**

**UJI LABORATORIUM RESAPAN BERPORI SEBAGAI  
KENDALI BANJIR DAERAH GENANGAN**



**DISUSUN OLEH :**

**LIN YUN FAT**

**D111 08 277**

**JURUSAN SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR**

**2014**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

KAMPUS TAMALANREA TELP. (0411) 587 636 FAX. (0411) 580 505 MAKASSAR 90245  
E-mail : sipil.unhas@yahoo.co.id

**LEMBAR PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : " *Uji Laboratorium Resapan Berpori Sebagai Kendali Banjir Daerah Genangan.*"

Disusun Oleh :

Nama : Lin Yun Fat


D111 08 277

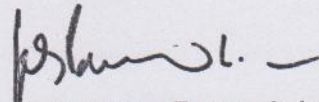
Telah diperiksa dan disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 29 Januari 2014

Pembimbing I


Pembimbing II

  
Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS.M.Eng.  
Nip. 19601231-198503 1 001

  
Dr. Ir. Johannes Patanduk, MS.  
Nip. 19481112 1977021001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil,



  
Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS.M.Eng.  
Nip. 19601231 198503 1 001

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “ **Uji Laboratorium Resapan Berpori Sebagai Kendali Banjir Daerah Genangan** “ dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ayahanda dan ibunda tercinta atas dukungan moril dan materil kepada ananda.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Ramli, MT., selaku Pembantu Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin .
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS. M. Eng. Selaku ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS. M. Eng, selaku dosen pembimbing I, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan ini.
5. Bapak Dr. Ir. Johannes Patanduk, M.S., selaku dosen pembimbing II, atas segala waktu yang telah diluangkannya untuk memberikan bimbingan dan

pengarahan.

6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin.
7. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada teman – teman angkatan 2008 dan adik-adik angkatan 2010 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan, mengingat adanya berbagai kendala dan keterbatasan yang ada. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Kuasa melimpahkan Rahmat dan Kasih-Nya kepada kita, dan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak - pihak yang berkepentingan.

Makassar, Januari 2014

Penulis

Lin Yun Fat

## ABSTRAK

### UJI LABORATORIUM RESAPAN BERPORI SEBAGAI KENDALI BANJIR DAERAH GENANGAN

### A LABORATORY TESTS OF POROUS ABSORPTION AS FLOOD AREA CONTROLLER

**Lin Yun Fat**  
**Lawalenna Samang**  
**Johannes Patanduk**

Daerah genangan di Kecamatan Antang kota Makassar, seperti yang terjadi di Jl. Antang Raya dan Perumnas Antang karena beberapa faktor, salah satu faktornya adalah kondisi tanah yang mempengaruhi penyerapan. Untuk meningkatkan daya atau kapasitas resapan lapisan tanah, dilakukan penggantian lapisan tanah genangan dengan menggunakan material berpori sebagai alternatif untuk meminimalisir terjadinya genangan, sehingga diadakan penelitian terhadap sampel tanah genangan dan material berpori tersebut di laboratorium. Dari hasil tes diperoleh permeabilitas tanah genangan pada rentang  $9,59 \times 10^{-5}$  -  $1,06 \times 10^{-4}$  cm/dtk, sedangkan permeabilitas material berpori sebesar  $2,74 \times 10^{-2}$  cm/dtk. Melalui pengujian Rainfall Simulator, material berpori mampu mereduksi 28,57 % dari genangan/limpasan yang terjadi pada sampel tanah Jl. Antang Raya. Sedangkan pada sampel tanah Perumnas Antang, material berpori mampu mereduksi sebanyak 21,43 %. Dari penelitian ini, disimpulkan bahwa material berpori yang digunakan dalam pengujian dapat menjadi alternatif pengganti tanah untuk meminimalisir terjadinya banjir.

*Kata kunci: Makassar , Kecamatan Antang, genangan, penyerapan, permeabilitas*

Flood area in Antang Sub-district of Makassar city, as happened in Antang Raya Street and Perumnas Antang due to several factors, one of the factors that affect the absorption is the soil condition. Replacing the original soil layers by using a porous material as alternatives to reduce inundation with a purpose to increase the power or capacity of subsoil absorption, so we make an research on original puddle soil samples and the porous material in the laboratory. From the test results obtained the permeability of the puddle soil on the range  $9,59 \times 10^{-5}$  -  $1,06 \times 10^{-4}$  cm/s, while the permeability of porous material as much as  $2,74 \times 10^{-2}$  cm/s. Through the testing of Rainfall Simulator, porous material able to reduce 28,57 % from a puddle / runoff that occurs on the soil samples in Antang Raya Street. While on soil samples in Perumnas Antang only able to reduce as much as 21,43%. From these research, concluded that the porous material used in testing can become an alternative soil replacement to minimize the occurrence of floods.

*Key words: Makassar, Antang Sub-district, Puddle, Absorption, Permeability*

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<b>BAB. I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	I - 1
1.2. Rumusan Masalah.....	I - 4
1.3. Tujuan Penelitian.....	I - 4
1.4. Batasan Masalah.....	I - 5
1.5. Sistematika Penulisan.....	I - 5
<b>BAB. II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Siklus Hidrologi.....	II - 1
2.2. Intensitas Curah Hujan.....	II - 4
2.3. Limpasan Permukaan dan Infiltrasi.....	II - 6
2.3.1. faktor Yang Mempengaruhi Limpasan Permukaan dan Infiltrasi.....	II - 7
2.4. Karakteristik Resapan Berpori.....	II - 13
2.5. Klasifikasi Material Berpori.....	II - 14
2.6. Tes Pemompaan Akuifer.....	II - 16
<b>BAB. III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Kerangka Penelitian.....	III - 1
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	III - 11
3.3. Metode Pengumpulan Data.....	III - 11

3.4. Desain Model Pengujian.....	III - 11
3.5. Analisa Data.....	III - 14
<b>BAB. IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Pengujian.....	IV - 1
4.2. Pembahasan.....	IV - 12
<b>BAB. V PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan.....	V - 1
5.2. Saran.....	V - 2

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**DOKUMENTASI**



## DAFTAR NOTASI

$k$  = Koefisien permeabilitas (cm/detik)

$I$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$t$  = Waktu (menit)

$R_t$  = Curah hujan selama  $t$  jam

$f$  = Laju infiltrasi

$f_p$  = Kapasitas infiltrasi

$E_k$  = Energi kinetik

$m$  = Massa (kg)

$A$  = Luas sampel (cm<sup>2</sup>)

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Siklus Pendek.....	II - 1
Gambar 2. Siklus Sedang.....	II - 2
Gambar 3. Siklus Panjang.....	II - 2
Gambar 4. Siklus Hidrologi.....	II - 4
Gambar 5. Intensitas curah hujan yang berpengaruh terhadap laju infiltrasi ( <b>Horton, 1935</b> ).....	II - 9
Gambar 6. Diagram model kerangka konseptual penelitian.....	III - 3
Gambar 7. Diagram alir penyiapan sampel pengujian.....	III - 4
Gambar 8. Diagram alir kalibrasi Rainfall Simulator.....	III - 6
Gambar 9. Diagram alir pelaksanaan pengujian.....	III - 8
Gambar 10. Grafik konversi intensitas hujan.....	III - 10
Gambar 11. Gambar Alat Rainfall Simulator Modifikasi.....	III - 14
Gambar 12. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO (Jl. Antang Raya).....	IV - 6
Gambar 13. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut Unified (Jl. Antang Raya).....	IV - 6
Gambar 14. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO (Perumnas Antang).....	IV - 7
Gambar 15. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut Unified (Perumnas Antang).....	IV - 7
Gambar 16. Kurva kompaksi Proctor standar untuk sampel tanah Jl. Antang Raya.....	IV - 8
Gambar 17. Kurva kompaksi Proctor standar untuk sampel tanah Perumnas Antang.....	IV - 8
Gambar 18. Grafik Rekapitulasi Laju Resapan.....	IV - 14
Gambar 19. Grafik Rekapitulasi Laju Limpasan.....	IV - 17

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Keadaan dan Intensitas Curah Hujan.....	II - 5
Tabel 2. Derajat dan Intensitas Curah Hujan.....	II - 5
Tabel 3. Nilai Tingkat Kerembesan ( <i>k</i> ).....	II - 14
Tabel 4. Porositas dan Permeabilitas Beberapa Tipe Batuan.....	II - 16
Tabel 5. Pengukuran Intensitas Hujan Buatan.....	III - 9
Tabel 6. Rekapitulasi Luas Permukaan Resapan Penelitian.....	III - 11
Tabel 7. Rekap Hasil Pengujian Tanah Pada Daerah Genangan.	IV - 2
Tabel 8. Hasil Perhitungan Laju Resapan Pada Pengujian Tanah.....	IV - 2
Tabel 9. Hasil Perhitungan Laju Limpasan Pada Pengujian Tanah.....	IV - 4
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Jl. Antang Raya.....	IV - 5
Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Perumnas Antang.....	IV - 5
Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas Material Berpori.....	IV - 9
Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tingkat Kepadatan Material Berpori.....	IV - 10
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Laju Resapan.....	IV - 13
Tabel 15. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Laju Limpasan.....	IV - 16
Tabel 16. Rekapitulasi Pengujian Limpasan.....	IV - 18

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Tabel Pengamatan Resapan
Lampiran A – 1	Tabel Pengamatan Resapan Pengujian Tanah Jl. Antang Raya
Lampiran A – 2	Tabel Pengamatan Resapan Pengujian Tanah Perumnas Antang
Lampiran A – 3	Tabel Pengamatan Resapan Pengujian Material Berpori
Lampiran B	Tabel Pengamatan Limpasan
Lampiran B – 1	Tabel Pengamatan Limpasan Pengujian Tanah Jl. Antang Raya
Lampiran B – 2	Tabel Pengamatan Limpasan Pengujian Tanah Perumnas Antang
Lampiran B – 3	Tabel Pengamatan Limpasan Pengujian Material Berpori
Lampiran C	Intensitas Curah Hujan Rencana
Lampiran D	Pengujian Curah Hujan Buatan
Lampiran E	Pengujian Permeabilitas Tanah Jl. Antang Raya
Lampiran F	Pengujian Permeabilitas Tanah Perumnas Antang

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Infiltrasi atau resapan adalah perpindahan air menuju ke dalam tanah melalui permukaan tanah (**Ir. Nadjadji Anwar MSC, 1986**). Resapan sangat dipengaruhi oleh keadaan tanah di permukaan dan jenis material yang terdapat baik di permukaan maupun di dalam tanah. Selain kondisi tanah, faktor presipitasi dan evatranspirasi juga menentukan jumlah resapan maupun limpasan permukaan. Tanah dapat diresapi air karena adanya pori tanah itu sendiri maupun rongga antar material yang terkandung di permukaan ataupun di dalam tanah.

Banyaknya air yang masuk ke dalam tanah ini akan mempengaruhi jumlah kandungan air tanah. Air hujan yang jatuh di permukaan juga akan menjadi aliran permukaan pada tanah yang sudah jenuh ataupun dengan kondisi lapisan permukaan tertentu. Limpasan permukaan ini dapat terjadi pada keadaan topografi dengan kemiringan tertentu. Apabila terdapat cekungan – cekungan tanah, maka air yang berada di permukaan tersebut akan menjadi genangan.

Menurut Dinas PU, daerah kawasan yang tergenang air diakibatkan karena tidak berfungsinya sistem drainase atau juga daerah alamiah yang tergenang hanya pada saat banjir. Genangan dalam bahasa pengairan dimaknai sebagai air yang terkumpul di suatu tempat yang tidak tersalurkan karena elevasi tempat tersebut lebih rendah dari daerah sekitarnya. Genangan adalah

luapan air yang bersifat setempat yang terjadi pada suatu wilayah pada musim hujan sebagai akibat dari bertambahnya volume air sehingga seluruh saluran penghubung yang ada tidak dapat lagi menampung kelebihan air serta memiliki ketinggian air kurang lebih 10 cm (**Sri Harto, 1993**).

Secara umum penyebab dari masalah genangan yang sering terjadi di Kota Makassar disebabkan oleh pengaruh pasang surut air laut, merupakan daerah relatif rendah dari muka air laut, kurangnya pemeliharaan (penyempitan penampang saluran / gorong - gorong) akibat endapan tanah/sampah, hambatan hidrolis (kemiringan atau hambatan di dalam penampang saluran, banyaknya belokan dll), kurang berfungsinya sistem street inlet, dan beban saluran yang terlalu besar.

Dengan keadaan yang demikian bila musim hujan tiba, ada beberapa wilayah yang tergenang banjir. Salah satunya adalah daerah Kelurahan Antang. Berbagai cara dilakukan oleh pemerintah dalam menangani masalah banjir, diantaranya pembangunan kanal dengan sistem drainase wilayah skala besar (masterplan drainase kawasan) maupun desain – desain aturan rencana tata ruang wilayah untuk mengurangi dampak perubahan tata guna lahan. Akan tetapi, perencanaan tersebut kurang mampu mengatasi permasalahan banjir yang terjadi.

Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian mendalam untuk menemukan alternatif pemecahan masalah yang lain. Dari daur hidrologi, dapat dipahami bahwa air tanah yang berinteraksi dengan air permukaan serta komponen – komponen lain yang terlibat dalam daur hidrologi termasuk

bentuk topografi, jenis batuan penutup, penggunaan lahan, tumbuhan penutup, serta manusia yang berada di permukaan (**Handoyo, 2008**). Salah satunya yaitu dengan memaksimalkan kandungan air tanah. Berikut faktor – faktor penentu potensi air tanah :

- a) Curah hujan
- b) Material batuan
- c) Geomorfologi / lereng
- d) Vegetasi

Seperti yang diuraikan diatas, untuk memaksimalkan kandungan air tanah dapat dilakukan dengan memberikan material batuan berpori dalam tanah untuk meningkatkan daya atau kapasitas resapan lapisan tanah, sehingga limpasan permukaan yang terjadi dapat diminimalisir karena air yang mengalir di permukaan akan dimungkinkan berinfiltrasi ke dalam tanah dalam jumlah yang lebih banyak dan dalam waktu yang lebih singkat. Pembuatannya dilakukan dengan cara mengganti lapisan tanah dengan menggunakan material berpori, seperti pasir batu (sirtu). Untuk itu, diadakan penelitian terhadap material berpori tersebut di laboratorium. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian dengan mengambil judul :

**"Uji Laboratorium Resapan Berpori Sebagai Kendali Banjir  
Daerah Genangan"**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

- a) Bagaimana menentukan karakteristik tanah dasar sebagai kapasitas resapan pada daerah Kecamatan Antang ?
- b) Berapa besar nilai koefisien permeabilitas ( $k$ ) pada suatu material tanah maupun pasir batu sebagai fungsi resapan berpori ?
- c) Apa pengaruh karakteristik material terhadap laju limpasan dan resapan?
- d) Bagaimana efektifitas resapan berpori dalam meningkatkan fungsi resapan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a) Mengkaji karakteristik tanah dasar dan parameter kapasitas resapan aliran permukaan, dengan membuat model resapan berpori.
- b) Mengetahui besar nilai koefisien permeabilitas ( $k$ ) pada suatu material tanah maupun pasir batu sebagai fungsi resapan berpori.
- c) Mengetahui pengaruh karakteristik material terhadap laju limpasan dan resapan.
- d) Mengkaji efektifitas resapan berpori dalam meningkatkan fungsi resapan dengan menghitung reduksi air permukaan.



#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk terarahnya penelitian ini, maka diberi batasan-batasan sebagai berikut:

- a) Pengujian karakteristik tanah mengacu pada standar ASTM dan SNI.
- b) Material tanah yang dipergunakan adalah tanah yang diambil dari 2 lokasi genangan di Kecamatan Antang yakni Jalan Antang Raya dan Perumnas Antang.
- c) Material berpori yang digunakan adalah Pasir Batu (sirtu)
- d) Sedimen transport pada air diabaikan.
- e) Kepadatan tanah yang digunakan adalah kepadatan laboratorium.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini berbentuk penelitian eksperimental. Dimana terdiri dari 5 bab yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN, merupakan bab yang berisi uraian latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA, merupakan bab yang memberikan uraian tentang siklus hidrologi, intensitas curah hujan, limpasan permukaan, infiltrasi, metode penentuan permeabilitas, perhitungan koefisien rembesan, klasifikasi material berpori dan beberapa penelitian terkait.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN, merupakan bab yang menjelaskan tentang sistematika penelitian, langkah – langkah atau prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN, merupakan bab yang menganalisa dan membahas hasil penelitian yang diperoleh dari analisis perhitungan yang dilakukan sebelumnya.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN, merupakan bab yang berisi kesimpulan penulisan dan penelitian disertai dengan saran-saran.

## BAB II

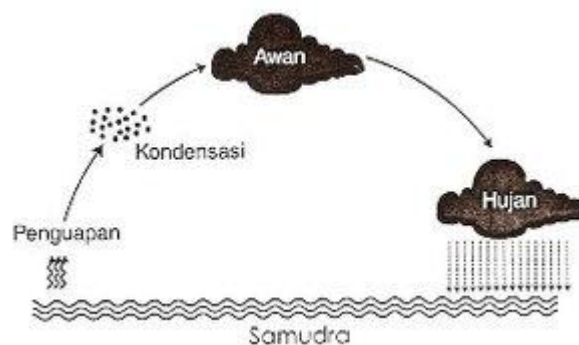
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai bentuk hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir kembali ke laut (Soemarto, 1987). Pemanasan air samudera oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi tersebut dapat berjalan secara kontinu.

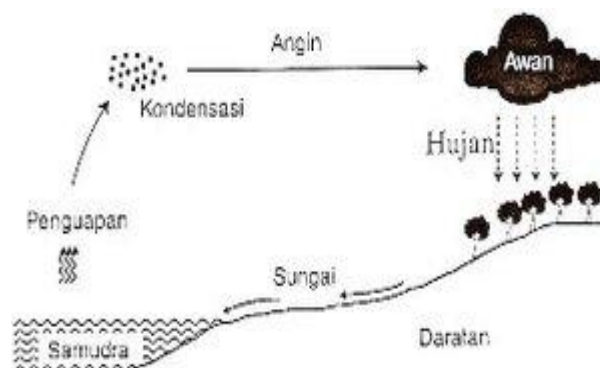
Siklus hidrologi dibedakan ke dalam tiga jenis yaitu :

- 1) Siklus Pendek : Air laut menguap kemudian melalui proses kondensasi berubah menjadi butir-butir air yang halus atau awan dan selanjutnya hujan langsung jatuh ke laut dan akan kembali berulang.



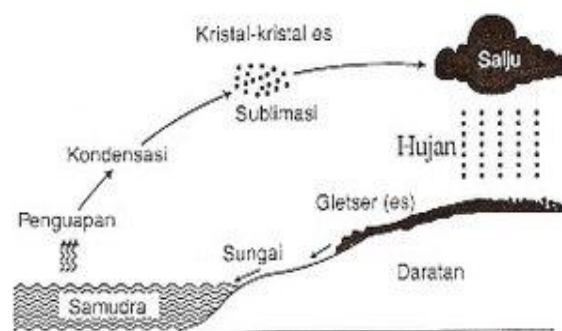
Gambar 1. Siklus Pendek

- 2) Siklus sedang : air laut menguap lalu dibawa oleh angin menuju daratan dan melalui proses kondensasi berubah menjadi awan lalu jatuh sebagai hujan di daratan dan selanjutnya meresap ke dalam tanah lalu kembali ke laut melalui sungai – sungai atau saluran – saluran air.



Gambar 2. Siklus sedang

- 3) Siklus panjang : air laut menguap, setelah menjadi awan melalui proses kondensasi, lalu terbawa oleh angin ke tempat yang paling tinggi di daratan dan terjadilah hujan salju atau es di pegunungan – pegunungan yang tinggi. Bongkah – bongkah es mengendap di puncak gunung dan karena gaya beratnya meluncur ke tempat yang lebih rendah , mencair terbentuk gletser lalu mengalir melalui sungai - sungai kembali ke laut.



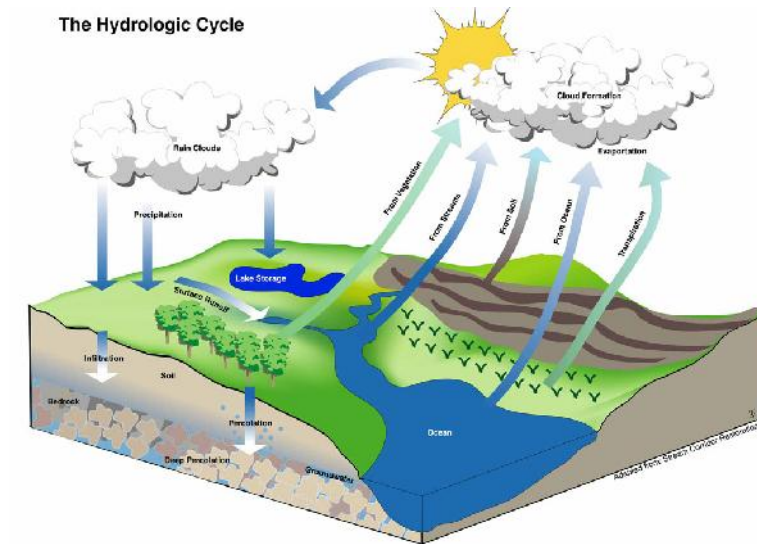
Gambar 3. Siklus panjang

Air yang terdapat di bumi mengalami sirkulasi secara terus – menerus. Jumlah air di bumi selalu tetap, hanya saja air tersebut tersimpan dalam bentuk yang berbeda. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti cahaya matahari, angin, maupun kondisi wilayah. Siklus hidrologi merupakan rangkaian proses berpindahnya air permukaan bumi dari suatu tempat ke tempat lainnya hingga kembali ke tempat asalnya. Air naik ke udara dari permukaan laut atau dari daratan melalui evaporasi. Air di atmosfer dalam bentuk uap air atau awan bergerak dalam massa yang besar di atas benua dan dipanaskan oleh radiasi tanah. Panas membuat uap air lebih naik lagi sehingga cukup tinggi/dingin untuk terjadi kondensasi. Uap air berubah jadi embun dan seterusnya jadi hujan atau salju.

Dalam perjalanannya dari atmosfer ke luar, air mengalami banyak interupsi. Sebagian dari air hujan yang turun dari awan menguap sebelum tiba di permukaan bumi, sebagian lagi jatuh di atas daun tumbuh-tumbuhan (*interception*) dan menguap dari permukaan daun-daun. Air yang tiba di tanah dapat mengalir terus ke laut, namun ada juga yang meresap dulu ke dalam tanah (*infiltration*) dan sampai ke lapisan batuan sebagai air tanah.

Sebagian dari air tanah dihisap oleh tumbuh-tumbuhan melalui daun-daunan lalu menguapkan airnya ke udara (*transpiration*). Air yang mengalir di atas permukaan menuju sungai kemungkinan tertahan di kolam, selokan, dan sebagainya (*surface detention*), ada juga yang sementara tersimpan di danau, tetapi kemudian menguap atau sebaliknya, sebagian air mengalir di atas permukaan tanah melalui parit, sungai, hingga menuju ke laut (*surface*

*run off*), sebagian lagi berinfiltrasi ke dasar danau-danau dan bergabung di dalam tanah sebagai air tanah yang pada akhirnya ke luar sebagai mata air.



Gambar 4. Siklus Hidrologi

## 2.2 Intensitas curah hujan

Hujan merupakan komponen yang penting dalam siklus hidrologi. Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas per jam yang disebut intensitas curah hujan (mm/jam). Intensitas curah hujan rata – rata dalam  $t$  jam ( $I_t$ ), dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$I_t = \frac{Rt}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana ;  $I_t$  = intensitas hujan (mm/jam)

$Rt$  = tinggi curah hujan (mm)

$t$  = lama / durasi curah hujan (jam)

Keadaan dan intensitas curah hujan dapat dilihat pada Tabel 1 serta derajat dan intensitas curah hujan dalam Tabel 2. Untuk penelitian ini, intensitas curah hujan yang digunakan adalah intensitas curah hujan yang diperoleh dari alat simulasi hujan (*Rainfall Simulator*).

Tabel 1. Keadaan dan Intensitas Curah Hujan

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	
	1 Jam	24 Jam
Hujan sangat ringan	<1	<5
Hujan ringan	1 - 5	5 - 20
Hujan normal	5 - 10	20 – 50
Hujan lebat	10 - 20	50 – 100
Hujan sangat lebat	>20	>100

Sumber : Suyono Sosrodarsono,1999

Tabel 2. Derajat dan Intensitas Curah hujan

Derajat Hujan	Intensitas curah hujan (mm/menit)	Kondisi
Hujan sangat lemah	< 0,02	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan lemah	0,02 – 0,05	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddle
Hujan normal	0,05 – 0,25	Dapat dibuat puddle dan bunyi curah hujannya kedengaran.
Hujan deras	0,25 – 1,00	Air yang tergenang di seluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan kedengaran dari genangan
Hujan sangat deras	> 1,00	Hujan seperti ditumpahkan, saluran dan drainase meluap

Rumus yang digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan pada hujan buatan dari alat simulasi hujan (**Dyah Indira Kusumastuti dkk, 1994**) adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{V}{A.t} \times 600 \dots \dots \dots (2)$$

Dimana ; I = intensitas curah hujan (mm/jam)

V= volume air dalam kontainer (ml)

A= luas penampang kontainer (cm<sup>3</sup>)

t= waktu (menit)

### 2.3 Limpasan Permukaan dan Infiltrasi

Secara umum, infiltrasi dan perkolasi biasanya disamakan dengan rembesan (permeabilitas) yaitu proses meresapnya air ke dalam tanah. Tetapi secara khusus berdasarkan kedalamannya rembesan ke dalam tanah dapat dibedakan menjadi infiltrasi dan perkolasi. Infiltrasi adalah pergerakan air dari atas permukaan tanah ke dalam permukaan air tanah (*water table*) yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan kapilaritas, air yang menginfiltrasi itu mula-mula diserap untuk meningkatkan kelembaban tanah, dan selebihnya akan turun ke dalam tanah melalui proses perkolasi mengalir ke samping (secara horizontal). Setelah lapisan tanah bagian atas jenuh, kelebihan air tersebut mengalir ke tanah yang lebih dalam sebagai akibat dari gaya gravitasi bumi dan dikenal sebagai proses perkolasi. Laju maksimal gerakan air masuk



ke dalam tanah dinamakan kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi terjadi ketika intensitas hujan melebihi kemampuan tanah dalam menyerap kelembaban tanah. Sebaliknya, apabila intensitas curah hujan lebih kecil dari kapasitas curah hujan, maka laju infiltrasi sama dengan laju curah hujan. Laju infiltrasi umumnya dinyatakan dalam satuan yang sama dengan satuan intensitas curah hujan, yaitu millimeter per jam (mm/jam).

Sedangkan air larian atau limpasan permukaan merupakan aliran air di atas permukaan tanah. Limpasan permukaan sangat dipengaruhi oleh presipitasi, infiltrasi, evatranspirasi, dan kandungan air tanah. Aliran permukaan berlangsung ketika jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi air ke dalam tanah. Setelah laju infiltrasi terpenuhi, air mulai mengisi cekungan – cekungan pada permukaan tanah. Setelah pengisian air pada cekungan tersebut selesai, air kemudian dapat mengalir di atas permukaan tanah dengan bebas. Ada bagian air larian yang berlangsung agak cepat untuk selanjutnya membentuk aliran debit. Bagian air larian yang lain, karena melewati cekungan – cekungan permukaan tanah sehingga memerlukan waktu beberapa hari atau bahkan beberapa minggu sebelum akhirnya menjadi aliran debit /aliran sungai (Asdak, 1995).

### **2.3.1 Faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dan infiltrasi**

Penentuan besaran resapan air tanah dapat ditentukan berdasarkan faktor – faktor infiltrasi (*infiltration*), perkolasi (*Percolation*), permeabilitas (*Permeability*), kerapatan lindak (*bulk density*), curah hujan (*presipitation*), tutupan lahan dan pengolahan lahan (*land over and land*

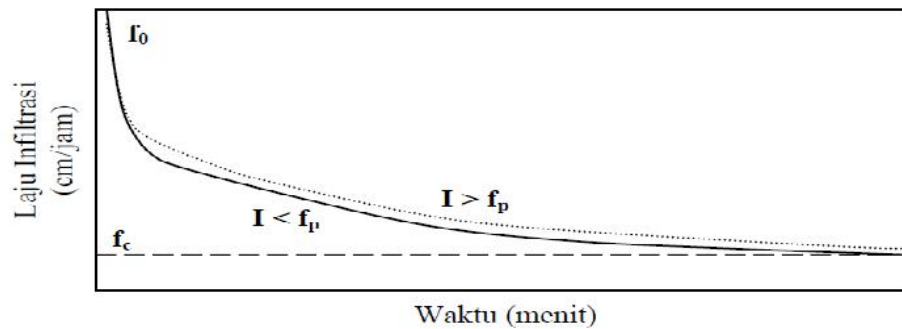
use), intensitas curah hujan, lama waktu hujan, penyebaran hujan, dan kondisi tanah yang juga merupakan variabel yang berpengaruh terhadap limpasan permukaan dan infiltrasi.

Faktor – faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dan infiltrasi dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Intensitas curah hujan

Pada hujan dengan intensitas tinggi, kapasitas infiltrasi akan terlampaui dengan beda yang cukup besar dibandingkan dengan hujan yang kurang intensif. Dengan demikian, total volume limpasan permukaan akan lebih besar pada hujan intensif dibandingkan dengan hujan yang kurang intensif meskipun curah hujan total untuk kedua hujan tersebut sama besarnya. Namun demikian, hujan dengan intensitas tinggi dapat menurunkan infiltrasi akibat kerusakan struktur permukaan tanah (pemadatan) yang ditimbulkan oleh tenaga kinetis hujan dan limpasan permukaan yang dihasilkannya.

Laju infiltrasi ( $f$ ) kapasitas infiltrasi ( $f_p$ ). Hal ini dipengaruhi oleh intensitas curah hujan. Jika intensitas hujan  $<$  kapasitas infiltrasi maka laju infiltrasi akan  $<$  kapasitas infiltrasi, dan jika intensitas curah hujan  $>$  maka laju infiltrasi = kapasitas infiltrasi (**Horton, 1935**), sehingga dapat dilihat laju infiltrasi pada Gambar 5.



Gambar 5. Intensitas curah hujan yang berpengaruh terhadap laju infiltrasi (Horton, 1935)

## 2. Distribusi curah hujan dalam daerah pengaliran

Jika kondisi – kondisi seperti topografi, tanah dan lain – lain di seluruh daerah pengaliran sama dan seumpamanya jumlah curah hujan sama, maka curah hujan yang distribusinya merata mengakibatkan debit puncak yang minimum. Banjir di daerah pengaliran yang besar kadang – kadang terjadi oleh curah hujan lebat yang distribusinya merata, dan sering terjadi oleh curah hujan biasa yang mencakup daerah yang luas, meskipun intensitasnya kecil. Sebaliknya, di daerah pengaliran yang kecil, debit puncak maksimum dapat terjadi oleh curah hujan lebat dengan daerah hujan yang sempit. Mengingat limpasan yang diakibatkan oleh curah hujan sangat dipengaruhi oleh distribusi curah hujan, maka untuk skala penunjuk faktor distribusi curah hujan digunakan koefisien distribusinya. Koefisien distribusi adalah harga curah hujan maksimum dibagi harga curah hujan rata – rata di daerah pengaliran. Jadi, curah hujan yang jumlahnya tetap

mempunyai debit puncak lebih besar sesuai dengan koefisien distribusinya yang bertambah besar.

### 3. Kemiringan lereng

Pada kondisi lereng yang landai/curam akan memberikan waktu yang sedikit untuk masuknya air hujan ke dalam tanah atau sebaliknya. Sedangkan pada tanah yang sangat datar, kecepatan infiltrasi akan diperlambat oleh udara yang tertekan karena air yang masuk membentuk sebuah bidang datar yang menghalangi keluarnya udara. Semakin besar kemiringan lereng suatu daerah pengaliran, semakin cepat laju limpasan permukaan.

### 4. Jenis tanah

Mengingat bentuk butir – butir tanah, coraknya dan cara mengendapnya adalah faktor – faktor yang menentukan kapasitas infiltrasi, maka karakteristik limpasan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah daerah pengaliran. Pada tanah yang berbutir kasar, kecepatan infiltrasi yang terjadi besar karena adanya pori – pori dengan ukuran yang relatif besar serta kecenderungan untuk tidak membentuk agregat, sedangkan pada tanah berbutir halus memiliki ukuran pori yang lebih kecil tetapi mempunyai kecenderungan membentuk agregat dengan ukuran lebih besar sehingga kecepatan infiltrasi lebih kecil.

## 5. Kondisi permukaan tanah

Pada tanah gundul akan terjadi pemadatan tanah oleh butir –butir air hujan, kelembaban tanah akan berkurang serta air hujan akan dengan mudah menggerus partikel – partikel halus. Sedangkan pada tanah yang tertutup oleh pohon – pohon dapat menahan laju air permukaan sehingga memberikan waktu untuk berinfiltrasi, adanya akar – akar tanaman yang dapat menggemburkan tanah relatif menambah laju infiltrasi. Daerah hutan yang ditutupi tumbuh – tumbuhan yang lebat akan sulit mengadakan limpasan permukaan karena kapasitas infiltrasinya yang besar. Jika daerah hutan dijadikan daerah pembangunan dan dikosongkan (hutannya ditebang), maka kapasitas infiltrasi akan turun karena pemampatan permukaan tanah. Air hujan akan mudah berkumpul ke sungai – sungai dengan kecepatan yang tinggi yang akhirnya dapat mengakibatkan banjir yang belum pernah dialami terdahulu.

## 6. Kepadatan tanah

Adanya aktivitas manusia, lalu lintas ataupun hewan menyebabkan terjadinya pemadatan pada tanah. Pemadatan yang terjadi akan menyebabkan kerapatan jadi besar dan ukuran pori dari tanah menjadi lebih kecil sehingga dapat mempengaruhi besarnya laju infiltrasi. Hal tersebut juga kan mempengaruhi volume limpasan permukaan.

7. Kelembaban tanah

Jika kadar kelembaban lapisan teratas tinggi, maka akan mudah terjadi banjir karena kapasitas infiltrasi yang kecil. Demikian pula jika kelembaban tanah meningkat dan mencapai kapasitas lapangan, maka air infiltrasi akan mencapai permukaan air tanah dan memperbesar aliran air tanah. Selama periode pengurangan kelembaban tanah oleh evapotranspirasi dan lain –lain, suatu curah hujan yang lebat tidak akan mengakibatkan kenaikan permukaan air. Karena air hujan yang terinfiltrasi tertahan sebagai kelembaban tanah. Sebaliknya, jika kelembaban tanah sudah meningkat karena curah hujan terdahulu yang cukup besar, maka kadang – kadang curah hujan dengan intensitas yang kecil dapat mengakibatkan kenaikan permukaan air yang besar dan kadang – kadang dapat mengakibatkan banjir.

8. Energi kinetik

Energi kinetik hujan adalah energi yang terjadi pada waktu jatuhnya butir – butir hujan dari atmosfer menuju permukaan bumi. Energi kinetik hujan merupakan penyebab pokok dalam penghancuran agregat – agregat tanah, memindahkan dan mengangkat butir – butir tanah (Kohnke dan Bertrand, 1959).

Energi kinetik hujan dapat dihitung dengan formulasi dasar :

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana ; m = Massa (kg)

V = kecepatan tumbukan (m/detik)

Atau dengan menggunakan persamaan Wischmeyer :

$$E_k = 13,32 + 9,78 \log I \dots\dots\dots(5)$$

Dimana ; I = intensitas hujan (mm/jam)

Untuk daerah tropis, (Hudson, 1965), menganjurkan menggunakan rumus :

$$E_k = 29,8 - \frac{127,5}{I} \dots\dots\dots(6)$$

9. Faktor – faktor lain yang memberi pengaruh

Disamping hal – hal yang dikemukakan di atas, secara tidak langsung, suhu, kecepatan angin, kelembaban relatif, tekanan udara rata – rata, curah hujan tahunan, dan seterusnya yang berhubungan satu dengan yang lain juga mengontrol iklim dan mempengaruhi limpasan.

## 2.4 Karakteristik Resapan Berpori

Keterdapatn air tanah tergantung dari ada tidaknya lapisan batuan yang dapat mengandung air tanah yang disebut akuifer. Akuifer adalah formasi bebatuan yang dapat menyimpan dan melalukan air, seperti misalnya pasir dan kerikil lepas (Seyhan, 1977). Akuifer ditemukan pada sejumlah lokasi. Deposit glasial, pasir dan kerikil, kipas alluvial dataran banjir dan deposit delta pasir, semuanya merupakan sumber – sumber air yang sangat baik. Pada suatu akuifer, air tanah menempati lubang batuan yang dikenal sebagai pori – pori batuan maupun lubang yang besar.

Akuifer sering pula disebut waduk air atau formasi air. Formasi batuan yang merupakan kebalikan dari akuifer adalah akuifug (Aquifug), seperti

misalnya granit. Akuifug merupakan formasi batuan yang tidak dapat menyimpan air dan melalukan air (**Fetter, 1988**). Sifat batuan lain yang berhubungan dengan air tanah adalah akuiklud dan akuitard. Menurut Walton (1970), akuiklud adalah batuan yang dapat menyimpan air tetapi tidak dapat melalukannya dalam jumlah yang berarti. Misalnya liat, serpih, tuf halus, dan batuan lain yang butirannya berukuran liat, sedangkan akuitard adalah formasi batuan dengan susunan sedemikian rupa, sehingga dapat menyimpan air, tetapi hanya dapat melalukannya dalam jumlah yang terbatas seperti misalnya pada rembesan atau bocoran.

Tabel 3. Nilai Tingkat Kerembesan (k)

No.	Jenis Tanah	Koefisien permeabilitas (k) (cm/detik)	Keterangan
1	Kerikil	$> 10^{-1}$	Permeabilitas tinggi
2	Kerikil halus/pasir	$10^{-1} - 10^{-3}$	Permeabilitas sedang
3	Pasir sangat halus	$10^{-3} - 10^{-5}$	Permeabilitas rendah
4	Pasir lanau		
5	Lanau tidak padat		
6	Lanau padat	$10^{-5} - 10^{-7}$	Permeabilitas sangat rendah
7	Lanau lempung		
8	Lanau tidak murni		
9	lempung	$< 10^{-7}$	Impervious (rapat air)

Sumber : Penuntun Laboratorium Mekanika Tanah, Jursan Sipil Fakultas

Teknik Universitas Hasanuddin, 2009.

## 2.5 Klasifikasi Material Berpori

Permeabilitas tergantung pada ukuran rata – rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Secara



garis besar, makin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya. Berarti suatu lapisan tanah berbutir kasar yang mengandung butiran –butiran halus memiliki harga  $k$  yang lebih rendah dan pada tanah ini, koefisien permeabilitas merupakan fungsi angka pori. Kalau tanahnya berlapis – lapis, permeabilititas untuk aliran sejajar lebih besar daripada permeabilitas untuk aliran tegak lurus. Lapisan permeabilitas lempung yang bercelah lebih besar daripada lempung yang tidak bercelah (*unfissured*).

Air yang disimpan dalam retakan disebut air celah dan air retakan. Lubang – lubang yang besar merupakan cirri formasi batu kapur dan kadang – kadang batuan gunung berapi. Pori – pori merupakan ciri batuan sedimen klasik dan bahan butiran lainnya. Kapasitas penyimpanan / cadangan air suatu bahan ditunjukkan oleh porositas yang merupakan nisbah volume rongga dengan volume total batuan (Seyhan, 1993). Menurut Todd (1980), permeabilitas merupakan suatu ukuran kemudahan aliran melalui suatu mediaporous. Perkiraan rata – rata porositas dan permeabilitas berbagai tipe batuan dapat dilihat pada Tabel 4. Kapasitas suatu formasi untuk menampung air diukur dengan porositas, yaitu perbandingan antara volume pori – pori terhadap volume total formasi tersebut (Todd, 1980)

Tabel 4. Porositas dan Permeabilitas Beberapa Tipe Batuan

Tipe Batuan	Porositas (%)	Permeabilitas (m/hari)
Lempung	42	0.0002
Kerikil Kasar	28	150
Kerikil Medium	32	270
Kerikil Halus	34	450
Pasir Kasar	39	45
Pasir Medium	39	12
Pasir Halus	43	2.5
Batu Pasir Berbutir Halus	33	0.2
Batu Pasir Berbutir Sedang	37	3.1
Batu Kapur	30	0.94
Granit	45	1.4

Sumber : (David K. Todd, 2005)

## 2.6 Tes Pemompaan Akuifer

Tes pemompaan ini dipakai untuk menentukan koefisien permeabilitas ( $k$ ) di lapangan dengan menggunakan sumur uji. Dalam cara ini, sebuah sumur digali dan airnya dipompa dengan debit air tertentu secara kontinu. Bergantung pada sifat tanah, pengujian dapat berlangsung sampai beberapa hari sampai penurunan permukaan air tanah akibat pemompaan menunjukkan kedudukan yang tetap. Permukaan penurunan yang telah stabil, yaitu garis penurunan muka air tanah yang terendah, diamati dari beberapa sumur pengamat yang digali di sekitar sumur pengujian tersebut. Penurunan muka air terendah terdapat pada sumur uji.

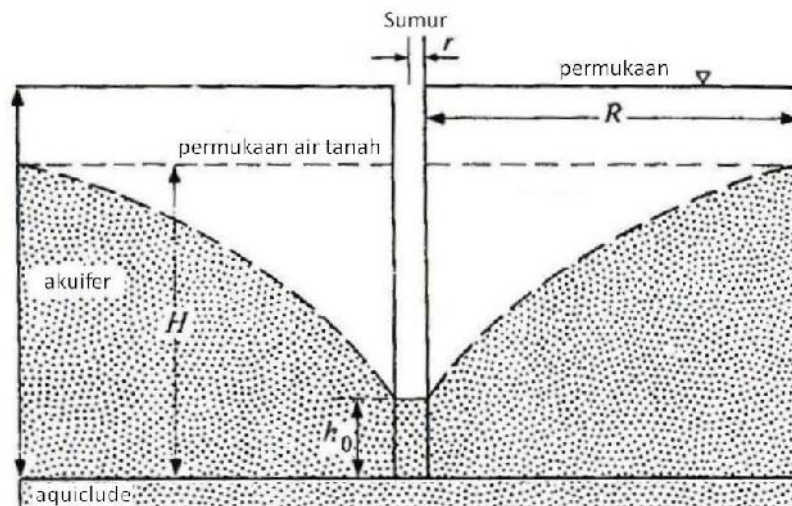
Untuk menghitung koefisien permeabilitas ( $k$ ), diperlukan paling sedikit dua sumur pengamat. Penurunan permukaan air di suatu lokasi, berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumur uji. Bentuk teoritis garis penurunan berupa lingkaran dengan pusat lingkaran pada sumur uji. Jari-jari  $R$  dalam

teori hidrolika sumuran disebut jari-jari pengaruh kerucut penurunan (radius of influence of the depression cone). Gradien hidrolik dihasilkan dengan jari-jari lingkaran ke dalam sekitar sumur dan menyebabkan aliran air masuk ke dalam sumur. Dimensi kerucut penurunan (Gambar B.1) dibentuk oleh sebuah sumur yang dipompa dari kedalaman  $H$  di bawah permukaan air tanah asli, dalam akuifer permeabilitas  $k$ , berkaitan dengan kuantitas  $Q$  menghasilkan aliran stasioner - kondisi aliran dinyatakan dalam persamaan

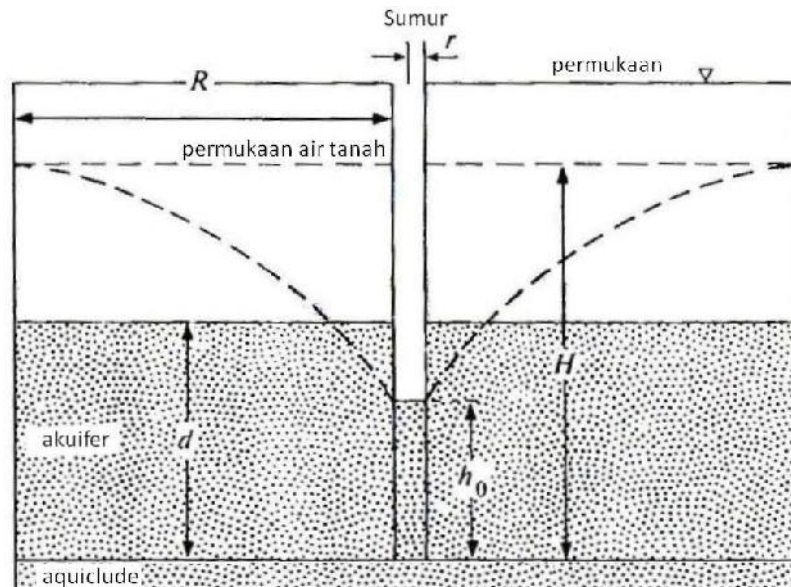
$$Q = \pi k [H^2 - h_0^2] / \ln (R/r)$$

Dimana  $H$ ,  $h$  dan  $R$  adalah dimensi kerucut penurunan, yang ditunjukkan pada Gambar B.1 a, dan  $r$  adalah jari-jari sumur (ln adalah simbol konvensional untuk  $\log_e$ ). Persamaan ini merupakan pendekatan yang bermanfaat jika akuifer bersifat homogen, isotropik dan

a) Unconfined

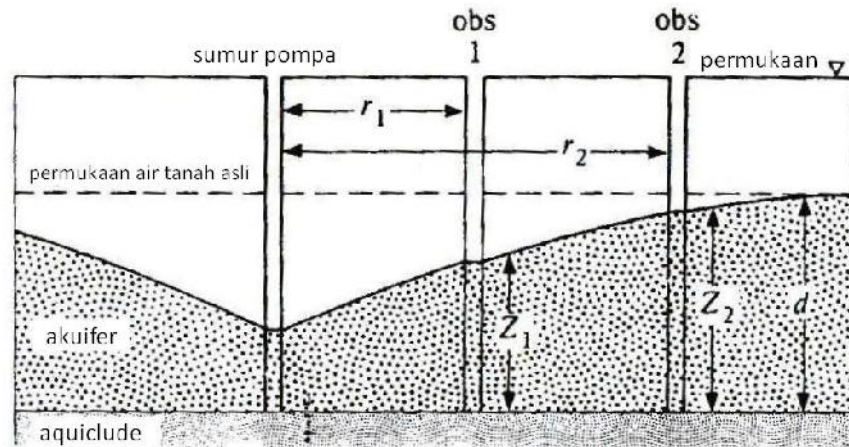


b) Confined



Gambar B.1 (a) Sebuah kerucut penurunan pada permukaan air di bawah tanah telah dihasilkan melalui pemompaan dari sumur hingga stabil - kondisi konstan tercapai. Batu jenuh di bawah kerucut ditandai oleh titik-titik. Simbol lainnya dijelaskan dalam bacaan. (b) Akuifer yang ketebalan  $d$  dibatasi oleh aquiclude di atasnya. Permukaan piezometrik asli telah tertekan sekitar sumur, dan diagram memperlihatkan bentuk pada kondisi konstan/stabil telah dicapai. Bagian atas sumur telah mengalami penurunan ke permukaan akuifer tak jenuh. Simbol lainnya dijelaskan dalam bacaan.

dari jangkauan yang jauh lebih besar dari kerucut, dan jika kemiringan kerucut kurang dari  $30^\circ$ . Hal ini mengasumsikan bahwa sumur merembes sebagian besar dari akuifer. Persamaan ini menggambarkan apa yang terjadi dalam akuifer unconfined ketika satu sumur dipompa dapat digunakan untuk memprediksi batas permukaan air tanah sebelum penggalian atau peletakan pondasi. Persamaan yang sesuai untuk akuifer confined



Gambar B.2 Sebuah tes pemompaan untuk menentukan permeabilitas ( $k$ ) dari suatu akuifer unconfined telah menurunkan permukaan air asli di sekitar sumur pompa ke tingkat  $Z_1$  dan  $Z_2$  dalam dua pengamatan sumur (obs 1 dan 2 obs). Hubungan antara permeabilitas akuifer dan parameter dari kerucut penurunan diberikan dalam bacaan.

(lihat Gambar .B.1 b ) adalah

$$Q = 2 kd [(H - h_o) / \ln (R/r)]$$

Sebaliknya, jika gradien dari kerucut penurunan yang dipelajari dengan menggunakan pengamatan sumur (obs 1 dan 2 obs dalam Gambar B.2), permeabilitas  $k$  akuifer di sekeliling sumur pompa dapat ditentukan. Gambar B.2 menunjukkan bentuk permukaan air selama uji pemompaan yang telah berlangsung cukup lama (lebih dari 24 jam) untuk mencapai kondisi yang konstan/tetap, yaitu, di mana volume air  $Q$  dipompa keluar per hari adalah konstan:

$$k = \frac{Q}{\pi(Z_1^2 - Z_2^2)} \ln(r_2/r_1)$$

Simbol didefinisikan dalam gambar B.2.