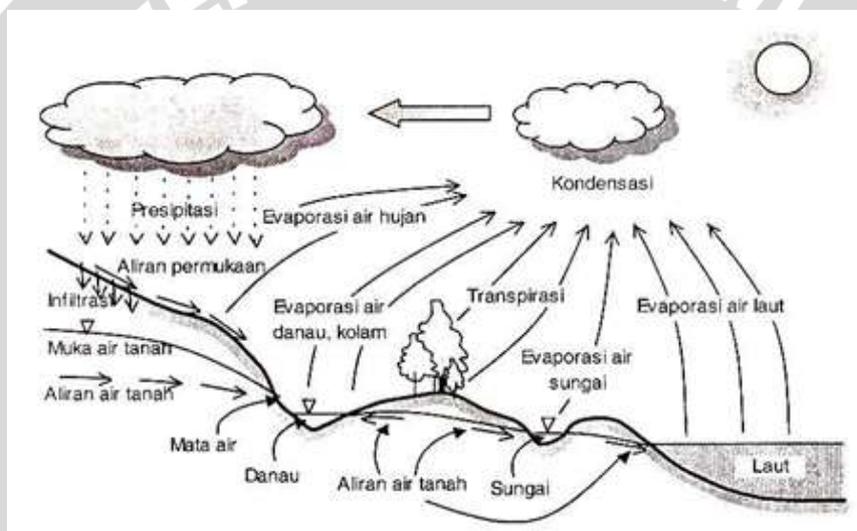


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Neraca Air

Dalam siklus hidrologi terdapat hubungan antara masukan air total dan keluaran air total dapat terjadi pada suatu daerah (DAS) tertentu. Hubungan itu pada umumnya disebut dengan neraca air. Secara kuantitatif, neraca air menggambarkan prinsip bahwa selama periode waktu tertentu masukan air total sama dengan keluaran air total ditambah dengan perubahan cadangan. Nilai perubahan air cadangan dapat bertambah positif dan negatif (Soewarno, 2000).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi  
Sumber : Suripin (2004:134)

Konsep dasar neraca air adalah menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistem tertentu. Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan (Harto, 2000):

$$I = O \pm \Delta S \quad (2-1)$$

dengan:

$I$  = masukan (*inflow*)

$O$  = keluaran (*outflow*)

$\Delta S$  = perubahan tampungan

Masukan dalam pembahasan diatas memiliki arti semua air yang masuk ke dalam sistem, sedangkan keluaran merupakan semua air yang keluar dari sistem. Perbedaan tampungan ( $\Delta S$ ) merupakan perbedaan antara jumlah semua kandungan air dalam satu unit

waktu yang ditinjau, yaitu antara waktu terjadinya masukan dan waktu terjadinya keluaran. Persamaan ini hampir sama dengan konsep dasar pada siklus hidrologi, yaitu masukan ke dalam sub sistem yang ada merupakan keluaran dari sub sistem yang lain dalam siklus tersebut (Harto, 2000).

Neraca air merupakan hubungan antara masukan air total dan keluaran air total yang terjadi pada suatu daerah yang didalamnya terkandung komponen-komponen seperti debit aliran sungai, curah hujan, evapotranspirasi, perkolasi dan kelembapan tanah. Evapotranspirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain iklim dan jenis vegetasi. Iklim tidak dapat dimodifikasi oleh manusia, sehingga faktor jenis vegetasi inilah yang menjadi perhatian dalam pengelolaan sumberdaya air (Asdak, 2002).

Baumgartner dan Reichel (1975) mengemukakan konsep neraca air lahan dengan unit analisa DAS berdasarkan Persamaan (2-2) sebagai berikut:

$$P = E + D + R + U \quad (2-2)$$

dengan:

$P$  = Presipitasi/curah hujan (mm/tahun)

$E$  = Evaporasi (mm/tahun)

$D$  = Debit ( $m^3$ /detik)

$R$  = Tampung (m<sup>3</sup>)

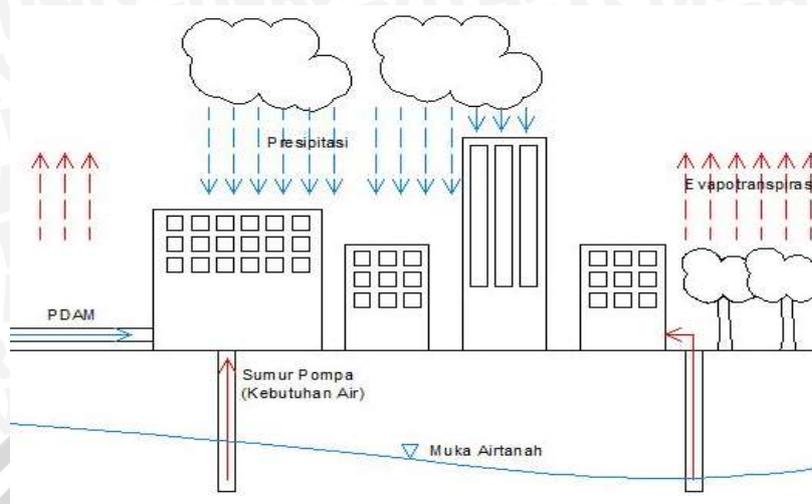
$U$  = Kebutuhan untuk konsumsi air ( $m^3$ /detik)

Dalam studi di Universitas Brawijaya unit analisa yang digunakan sesuai dengan komponen-komponen yang tersedia di daerah studi yaitu curah hujan, airtanah, air PDAM, evapotranspirasi dan kebutuhan air. Namun dalam sebuah Universitas, pengaruh evapotranspirasi dianggap kecil sehingga dapat diabaikan. Selain itu hujan di sebuah Universitas tidak memiliki peranan secara langsung sebagai sebuah penyedia air, namun masih dapat digunakan sebagai potensi yang dapat dimanfaatkan dikemudian hari. Oleh karena itu konsep neraca air di Universitas Brawijaya dapat dijelaskan dengan Persamaan (2-3) dan Gambar 2.2 sebagai berikut:

$$\text{Airtanah} + \text{Air PDAM} = U \quad (2-3)$$

Teknik neraca air sebagai salah satu subjek utama dalam hidrologi, merupakan suatu cara untuk mendapatkan jawaban penting atas permasalahan praktis hidrologi, yaitu dalam hal evaluasi kuantitatif sumberdaya air wilayah, serta perubahan akibat intervensi kegiatan manusia. Perhitungan neraca air wilayah penting untuk perbandingan potensi sumberdaya air suatu wilayah dengan wilayah lainnya (Pawitan, 2000). Selain itu kegunaan mengetahui keseimbangan air (neraca air) juga dapat digunakan untuk mengantisipasi

bencana yang kemungkinan terjadi, serta dapat pula untuk mendayagunakan air sebaik-baiknya.



Gambar 2.2 Sistem Neraca Air Universitas Brawijaya

## 2.2 Ketersediaan Air

Ketersediaan air merupakan salah satu aspek yang harus diketahui sebelum mengadakan analisis neraca air untuk suatu daerah tertentu. Ketersediaan air memiliki pengertian yaitu jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu lokasi dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu tertentu (Triatmodjo, 2010:307).

Soemarto (1999:1) mengemukakan bahwa ketersediaan air adalah air yang ada di sungai-sungai, waduk-waduk, dan air yang ada di daerah yang mempunyai mata air dan lain-lain. Jumlah air yang ada di bumi adalah sebanyak  $1.360 \times 10^6 \text{ km}^3$  atau  $1,360 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Dari jumlah tersebut sebagian besar merupakan air laut seperti pada prosentase-prosentase yang tertera berikut ini. dari prosentase tersebut terlihat bahwa jumlah air tawar di bumi yang langsung dapat digunakan oleh manusia (air danau dan sungai) sangat terbatas.

Tabel 2.1 Perkiraan Persediaan Air di Bumi

Sumber air	Volume ( $10^3 \text{ km}^3$ )	Persentase total air (%)
Danau air tawar	125	0,62
Sungai	1,25	
Lengas tanah	65	
Airtanah	8.250	0,008
Danau air asin dan laut mati	105	
Atmosfer	13	0,001
Tudung kutub es, sungai es, salju	29.200	2,1
Laut dan lautan	1.320.000	97,25
Total	1.360.000	100

Sumber: Soemarto (1999:2)

Besar ketersediaan air secara umum sulit untuk diatur dan diprediksi secara akurat. Hal ini disebabkan ketersediaan air memiliki sifat variabilitas ruang (*spatial variability*) dan variabilitas waktu (*temporal variability*) yang sangat tinggi. Oleh sebab itu, perlu dilakukan analisa kualitatif dan kuantitatif secara cermat agar dapat menghasilkan informasi yang akurat untuk perencanaan dan pengelolaannya.

Ketersediaan air dalam studi ini dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Potensi ketersediaan airtanah
2. Ketersediaan air dari mata air (PDAM)

### **2.2.1 Ketersediaan Airtanah**

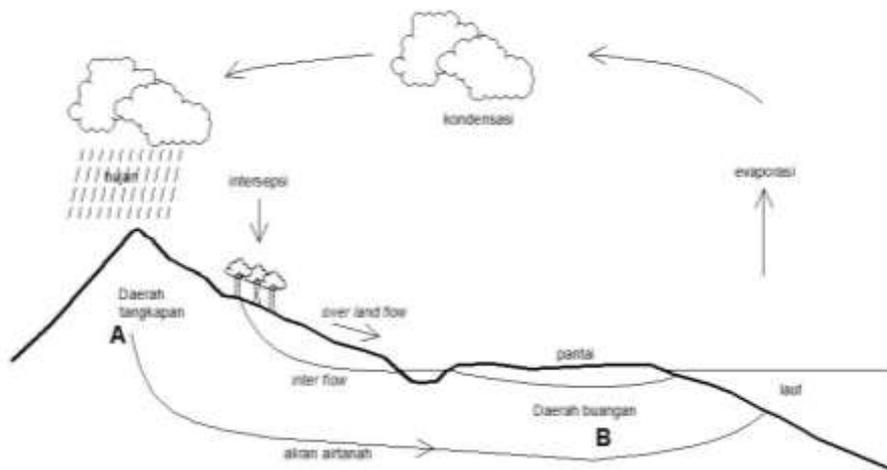
Airtanah merupakan sumberdaya penting dalam penyediaan air di seluruh dunia. Penggunaannya dalam irigasi, industri, dan air minum makin meluas. Sedangkan penggunaannya sebagai air pendingin dan air *conditioning* menyebabkan adanya permintaan yang meningkat sejak beberapa tahun yang lalu (Soemarto, 1987:249).

Banyaknya airtanah yang terkandung dalam lapisan akuifer dapat dihitung dengan memperhatikan ketebalan dan nilai transmisivitas permeabilitas dari lapisan batuan pada peta geologi. Airtanah dapat diambil dengan cara pemboran, dari mata air serta sumur dangkal (Prawiradisastra, 2001).

Airtanah mengalir dari daerah yang lebih tinggi menuju ke daerah yang lebih rendah dan dengan akhir perjalanannya menuju ke laut. Proses aliran airtanah dalam bentuk sederhana ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

Disiplin ilmu yang berkaitan dengan ketersediaan airtanah adalah Hidrogeologi. Secara definitif hidrogeologi merupakan suatu studi dari interaksi antara kerja kerangka batuan dan airtanah (Kodoatie, 2005:7). Pengetahuan hidrogeologi suatu daerah akan memberikan pemahaman tentang sumberdaya airtanah yang paling tidak mencakup empat batasan yakni, ruang atau wadah, jumlah, mutu dan sumberdaya air itu sendiri. Pengetahuan hidrogeologi juga dapat melakukan kuantifikasi sumberdaya airtanah di suatu cekungan, dan bahkan dapat memberikan ramalan jumlah airtanah pada suatu kurun tertentu dalam berbagai cara pengambilan. Selain itu pengetahuan hidrogeologi dapat memberikan gambaran mutu sumberdaya airtanah yang tersimpan atau melalui suatu wadah tertentu.

Dalam UU Sumber Daya Air daerah aliran airtanah disebut cekungan air tanah (CAT) yang didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologi, tempat semua kejadian hidrogeologi seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan airtanah berlangsung (Kodoatie, 2005:36).

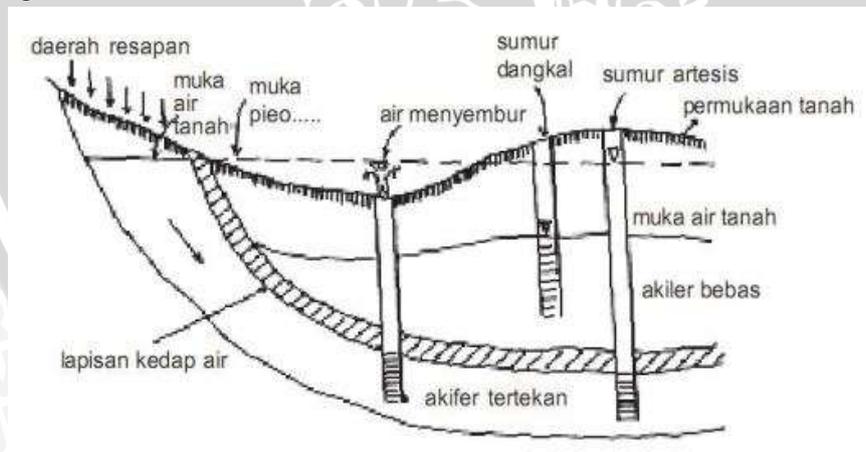


Gambar 2.3 Ilustrasi Daerah Tangkapan dan Buangan pada suatu DAS  
 Sumber : Kodoatie (2005:95)

Menurut Danaryanto dkk, 2004 dalam Kodoatie (2005:36) CAT di Indonesia secara umum dibedakan menjadi dua yaitu CAT Bebas (*unconfined aquifer*) dan CAT Tertekan (*confined aquifer*). CAT ini tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan total besarnya potensi masing-masing CAT adalah (Kodoatie, 2005:36):

- a. CAT Bebas : 1.165.971 juta m<sup>3</sup>/tahun
- b. CAT Tertekan : 35.325 juta m<sup>3</sup>/tahun

Beberapa definisi dan pengertian tentang airtanah diatas dapat diilustrasikan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 2.4 Penampang Airtanah  
 Sumber : Kodoatie (2005:95)

Untuk mengetahui keadaan dan kedudukan airtanah harus diketahui susunan geologinya. Hal ini diperlukan untuk mengidentifikasi susunannya dalam hubungan dengan kemampuan menahan, menampung dan mengalirkan air. Suatu lapisan yang mempunyai susunan yang mampu menahan, menampung dan melepaskan air disebut akuifer.



Menurut Thomas (Bisri, 1988:5), susunan geologi yang dapat berlaku sebagai akuifer adalah kerikil dan pasir, batu kapur, batuan gunung berapi, batu pasir, tanah liat yang bercampur dengan bahan yang lebih kasar, konglomerat dan batuan kristalin.

Berdasarkan susunan lapisan geologi dan harga kelulusan air (K), akuifer dibedakan menjadi:

1. Akuifer bebas (*unconfined aquifer/phreatic aquifer*)

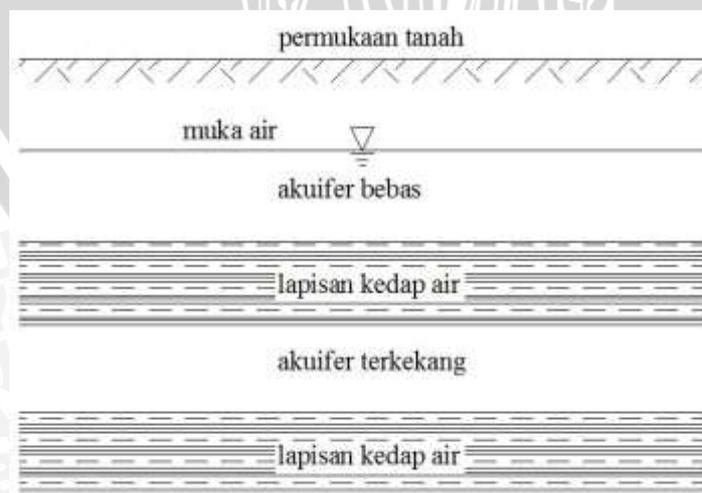
Akuifer bebas merupakan akuifer dengan hanya memiliki satu lapisan pembatas kedap air yang terletak dibagian bawahnya. Dengan kata lain muka airtanah merupakan bidang batas sebelah atas daripada lokasi jenuh air. Akuifer ini disebut juga sebagai *phreatic aquifer*.



Gambar 2.5 Akuifer Bebas  
Sumber : Bisri (1988:5)

2. Akuifer tertekan (*confined aquifer*)

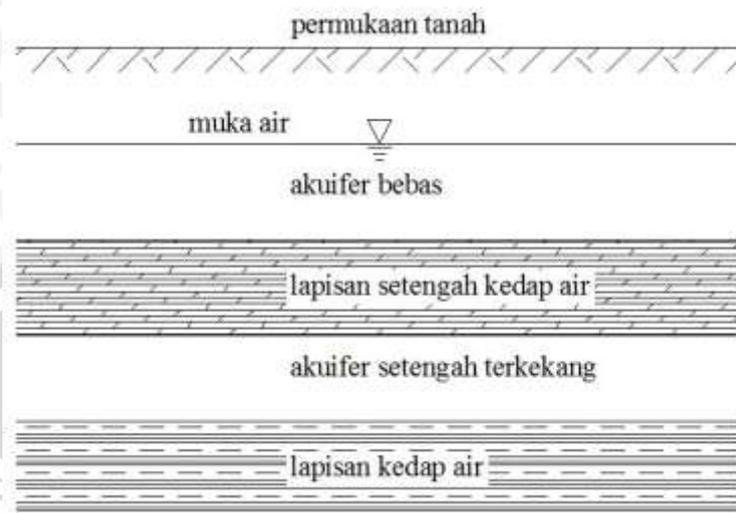
Suatu akuifer yang jenuh air pada lapisan atas dan lapisan bawahnya merupakan lapisan kedap air (*impermeable*) sebagai pembatasnya dan mempunyai tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer.



Gambar 2.6 Akuifer Terkekang  
Sumber : Bisri (1988:5)

3. Akuifer setengah tertekan (*semiconfinedaquiifer*)

Suatu akuifer yang sepenuhnya jenuh air dengan bagian atas dibatasi oleh lapisan setengah kedap air dan bagian bawah kedap air. Lapisan ini disebut juga akuifer bocor (*leaky aquiifer*).



Gambar 2.7 Akuifer Setengah Terkekang

Sumber : Bisri (1988:5)

4. Akuifer menggantung (*perched aquiifer*)

Adalah akuifer yang massa airnya terpisah dari tanah induk oleh suatu lapisan yang relatif kedap air yang begitu luas dan terletak di atas daerah jenuh air.

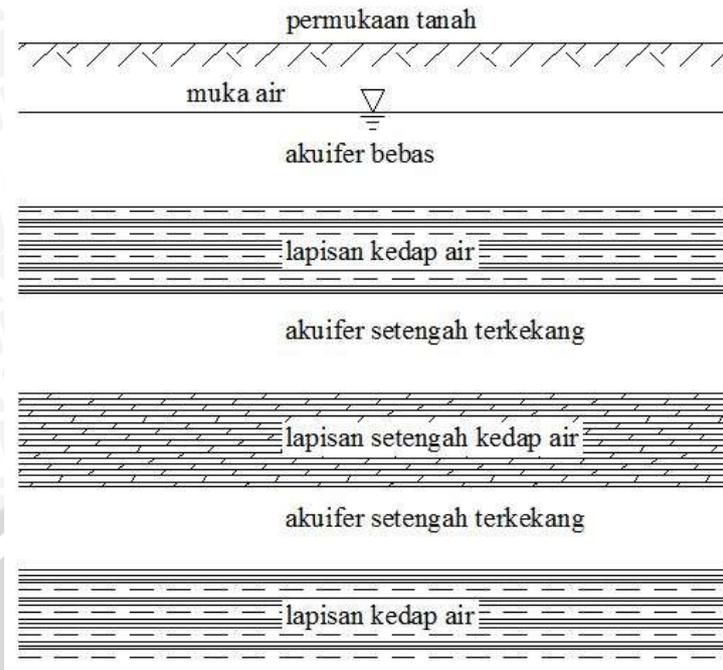


Gambar 2.8 Akuifer Menggantung

Sumber : Bisri (1988:5)

5. Akuifer berganda (*multi layered aquiifer*)

Akuifer yang terjadi pada lapisan-lapisan yang lebih dalam, sehingga terbentuk akumulasi airtanah tertekan pada sistem akuifer berlapis banyak.



Gambar 2.9 Akuifer Berganda

Sumber : Bisri (1988:5)

### 2.2.1.1 Uji Pemompaan Airtanah (*Pumping Test*)

Uji pemompaan airtanah adalah memompa air dari suatu sumur dengan debit tertentu, mengamati penurunan muka air selama pemompaan berlangsung dan mengamati pemulihan kembali air setelah pompa dimatikan sesuai dengan selang waktu tertentu. Ada dua macam uji pompa yaitu (Bisri, 1988:109):

1. Pengujian akuifer (*aquifer test*)
2. Pengujian sumur (*well test*)

#### A. Pengujian Akuifer

Tujuan dari pengujian ini adalah (Bisri, 1988:117):

1. Untuk memperoleh sifat hidraulis akuifernya (koefisien keterusan atau transmisivitas akuifer =  $T$ ), dengan jalan menganalisa dan pengamatan didapat harga  $T$ . Harga  $K$  (koefisien kelulusan air) dihitung dengan rumus:  $T = K \times D$ , dengan  $D$  = ketebalan akuifer. Klasifikasi harga  $K$  Menurut Biro Reklamasi USA 1977 (Bisri, 1988:119) dapat dilihat pada Tabel 2.2.
2. Untuk menetapkan jenis akuifer yang dihadapi dan hasilnya bisa menambah kapastian terhadap hasil analisa diskripsi geologinya, juga memberikan keterangan atas besarnya debit hasil (*well yield*) dan penurunan muka air di sumur (*drawdown*).

Metode yang digunakan adalah metode *Long Period Test*, yaitu dengan memompa air dari sumur uji dengan debit yang tertentu (konstan) dan selama waktu yang tertentu pula. Akibat dari pemompaan ini, penurunan air diamati dan diukur di dalam sumur uji.

**Tabel 2.2 Harga K (Koefisien Kelulusan Air) dari Berbagai Batuan (Biro Reklamasi USA 1977)**

		K (m/hari)								
	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	$\vee$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
	Sangat Tinggi		Tinggi		Menengah		Rendah		Sangat Rendah	
	Kerikil bersih		Pasir bersih dan Kerikil		Pasir halus		Sill, lempung campuran pasir		Lempung masif	

Sumber: Bisri (1991:119)

Untuk menentukan besarnya koefisien keterusan (T) dengan metode *Long Period Test* dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain cara Theim, Theis, Jacob, Chow maupun cara pemulihan dari Theis sesuai dengan jenis aliran dan jenis akuifer yang dihadapi.

Terdapat dua kondisi aliran airtanah, yaitu kondisi aliran tunak (*steady flow*) dan aliran tidak tunak (*unsteady flow*). Aliran tunak adalah aliran yang terjadi apabila telah terwujud keseimbangan antara debit yang dipompa dan pengisian kembali akuifer. Dalam praktek, aliran mencapai keadaan (*steady state*), apabila perubahan penurunan menurut waktu sedemikian kecilnya, sehingga dapat diabaikan. Sedangkan pengertian aliran tidak tunak adalah aliran yang terjadi dari saat pemompaan air sumur dimulai sampai terjadi keadaan tunak dan saat berlangsungnya periode pemulihan kembali (*recovery period*).

**Tabel 2.3 Metode Analisa *Pumping Test* sesuai dengan Tipe Akuifer dan Jenis Aliran**

Tipe Akuifer	Akuifer Bebas ( <i>unconfined aquifer</i> )		Akuifer Tertekan ( <i>confined aquifer</i> )		Akuifer Bocor ( <i>leaky aquifer</i> )	
	<i>Steady</i>	<i>Unsteady</i>	<i>Steady</i>	<i>Unsteady</i>	<i>Steady state</i>	<i>Unsteady state</i>
Jenis Aliran						
Metode	Thiem-Dupuit	Neuman-curve fitting	Theim	Theis, Jacob	De-Glee, Hantush-Jacob	Walton Hantush inflection-point, Hantush-curve fitting, Neuman-Witherspon

Sumber: *Analisa and Evaluation of Pumping Test Data* (Kruseman dan de Ridder, 1994)

Dalam kajian ini perhitungan pengujian akuifer dilakukan dengan menggunakan metode Thiem.

#### 1. Metode Theim

Anggapan yang paling penting dari cara ini adalah aliran ke dalam sumur adalah aliran tunak (*steady radial flow/equilibrium atau steady stage*). Adapun bentuk persamaan dari Theim adalah sebagai berikut (Bisri, 1988:117):

Untuk lebih dari 1 pisometer.

$$T = \frac{2,3Q}{2\pi(S_1 - S_2)} \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (2-4)$$

Bila hanya ada satu pisometer, persamaan Theim menjadi:

$$T = \frac{2,3Q}{2\pi(S_w - S_1)} \log\left(\frac{r_e}{r_w}\right) \quad (2-5)$$

Bila pisometernya diabaikan, maka:

$$T = \frac{2,3Q}{2\pi S_w} \log\left(\frac{r_e}{r_w}\right) \quad (2-6)$$

Sehingga persamaan di atas menjadi:

$$T = \frac{1,22Q}{S_w} \quad (2-7)$$

dengan:

$T$  = transmisivitas akuifer ( $m^2/det$ )

$Q$  = debit sumur yang dipompa ( $m^3/det$ )

$S_1$  = penurunan muka air pada pisometer 1 (m)

$S_2$  = penurunan muka air pada pisometer 2 (m)

$r_1$  = jarak pisometer 1 ke sumur pompa (m)

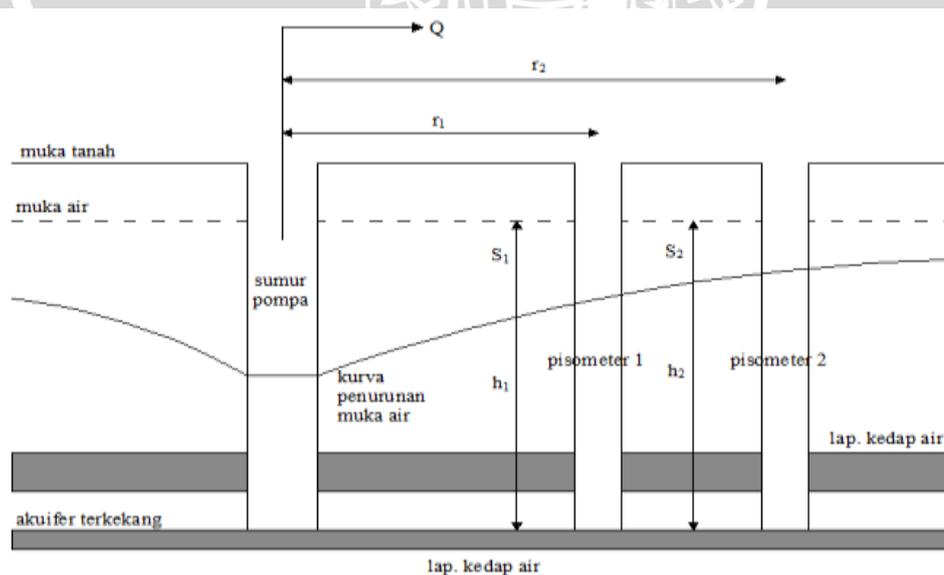
$r_2$  = jarak pisometer 2 ke sumur pompa (m)

$r_w$  = jari-jari sumur yang dipompa (m)

$S_w$  = penurunan muka air di dalam sumur yang dipompa (m)

$r_e$  = jari-jari pengaruh sumur (m)

Berikut ini diberikan potongan akuifer sebagai penjelasan dari rumus Theim:



Gambar 2.10 Potongan Akuifer sebagai Penjelasan Rumus Theim

Sumber: Bisri (1988:118)

## B. Pengujian Sumur

Tujuan pengujian sumur adalah untuk menetapkan kemampuan sumur yang akan diproduksi. Dari debit ( $Q$ ) dan penurunan muka air ( $S$ ) yang diukur, dapat diperoleh kapasitas jenis atau sebaliknya penurunan jenis sumurnya. Kapasitas jenis sumur merupakan ukuran kemampuan produksi suatu sumur.

Metode yang banyak digunakan dalam pengujian sumur adalah *Step Test* atau disebut juga *Step Drawdown Test*, yaitu dengan mengadakan pemompaan secara terus menerus dengan perubahan debit secara bertahap.

Kapasitas jenis sumur (*specific discharge*) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Bisri, 1988: 109):

$$q_s = \frac{Q}{S} \quad (2-8)$$

dengan:

$q_s$  = kapasitas jenis sumur ( $m^2/det$ )

$Q$  = debit sumur yang dipompa ( $m^3/det$ )

$S$  = penurunan muka air di sumur (m)

Menurut Jacob bahwa penurunan muka air di sumur akibat pemompaan terdiri atas dua komponen, yaitu:

1. *Aquifer Loss* ( $BQ$ ) yaitu penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran laminer pada akuifernya sendiri. Besarnya harga  $BQ$  ini bergerak secara laminer terhadap perubahan debit pemompaan dan sangat tergantung pada sifat hidrolika dari akuifer (formasi geologinya), berarti kondisi itu dapat dirubah dan diperbaiki (bersifat alami).
2. *Well Loss* ( $CQ^2$ ) yaitu penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran turbulen di dalam sumur. Besarnya harga  $CQ^2$  ini bergerak secara kwadratis terhadap perubahan debit pemompaan dan sangat tergantung pada karakteristik dari sumur uji, misalnya pencucian sumur (*development*) kurang bersih akibat adanya hambatan-hambatan pada filter (*gravel peak*) dan pipa saringan (*screen*), berarti kondisi ini dapat diperbaiki untuk memperkecil harga *Well Loss*-nya.

Besarnya total penurunan muka air di sumur ( $SW$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$SW = BQ + CQ^2 \quad (2-9)$$

dengan:

$SW$  = total penurunan muka air (m)

$BQ$  = kehilangan tinggi tekan pada akuifer/*aquifer loss* (m)

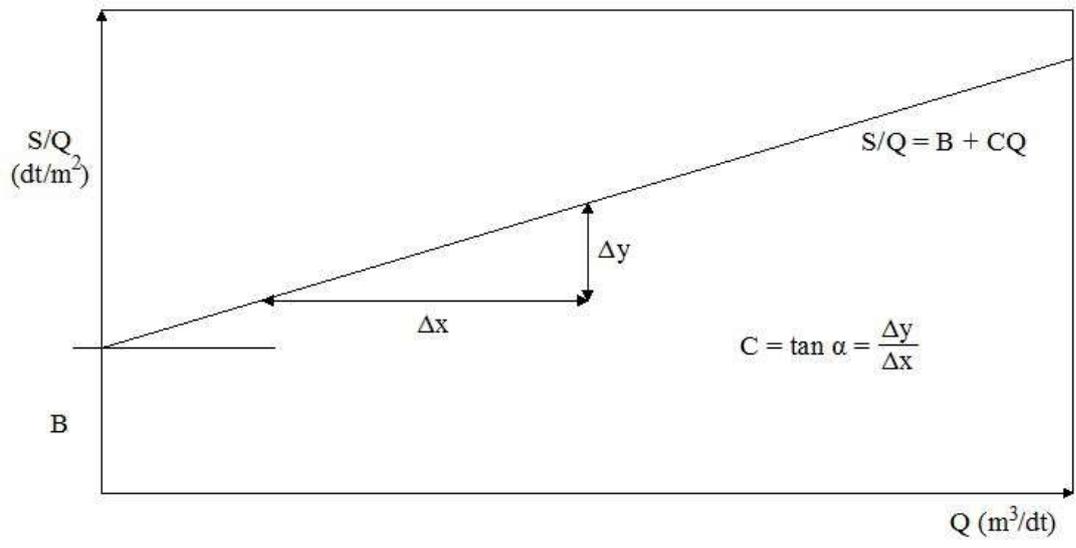
$B$  = koefisien *aquifer loss* (detik/m<sup>2</sup>)

$CQ^2$  = kehilangan tinggi tekan pada sumur/*well loss* (m)

$C$  = koefisien *well loss* (detik<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>)

Prosedur perhitungan harga B dan C adalah:

1. Dari persamaan  $SW = BQ + CQ^2$ , lukis penurunan jenis ( $S/Q$ ) pada sumbu tegak dan debit ( $Q$ ) pada sumbu horizontal untuk masing-masing tahap di atas kertas grafik biasa sehingga berupa garis lurus. Dengan memasukkan berbagai harga  $Q$  sebagai variabel bebas ke dalam persamaan tersebut, maka akan diperoleh garis lurus.
2. Harga B diperoleh dari perpotongan antara garis lurus tersebut dengan sumbu vertikal ( $S/Q$ ).
3. Harga C didapat dari kemiringan garis (*slope* atau *tangen*) yang dibentuk oleh harga  $S/Q$  dan  $Q$ .
4. Dari harga B dan C yang diperoleh, selanjutnya dimasukkan dalam persamaan  $SW = BQ + CQ^2$  sehingga dapat diperoleh besar penurunan muka air.



Gambar 2.11 Grafik Penurunan Jenis ( $Sw/Q$ ) dan Debit ( $Q$ )

Sumur yang produktif menurut Walton dan Bliershenk adalah sumur yang mempunyai harga koefisien *well loss*  $C$  dan *faktor development* yang kecil. Tabel 2.4 menunjukkan kondisi sumur berdasarkan harga koefisien *well loss* menurut Walton.

**Tabel 2.4 Kondisi Sumur Produksi Berdasarkan Harga Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan pada Sumur (*Well Loss*) Menurut Walton.**

Koefisien well loss (C) (menit <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	Kondisi Sumur
< 0,50	Baik
0,50 – 1,00	Sedikit mengalami penyumbatan
1,00 – 4,00	Penyumbatan di beberapa tempat
> 4,00	Sulit dikembalikan seperti semula

Sumber: Air Tanah (M. Bisri, 1988:110)

Faktor development ( $F_d$ ) dinyatakan dengan :

$$F_d = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2-10)$$

Klasifikasi sumur berdasarkan faktor ini diberikan seperti tercantum dalam tabel berikut ini:

**Tabel 2.5 Klasifikasi Sumur Berdasarkan Faktor Development Menurut Bierschenk**

Faktor Development (Fd) (hari/m <sup>3</sup> )	Kelas Sumur
< 0,10	Sangat Baik
0,10 – 0,50	Baik
0,50 – 1,00	Sedang
> 1,00	Jelek

Sumber: Air Tanah (M. Bisri, 1988:110)

### C. Kapasitas Optimum Sumur Pompa

Untuk menentukan kapasitas optimum sumur pompa dapat digunakan metode Grafis Sichardt. Langkah-langkah perhitungan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Evaluasi data uji surut muka air bartahap (*Step Drawdown Test*) dengan metode Jacob I, maka didapat persamaan garis  $SW = BQ + CQ^2$ .
2. Lukis persamaan garis tersebut pada kertas grafik, dengan memasukkan nilai Q sebagai absis (x) dan Sw sebagai ordinat (y).
3. Hitung kapasitas maksimum sumur atau debit maksimum ( $Q_f$ ) dengan persamaan Huisman, yaitu (Huisman, 1976:188)

$$Q_f = \frac{2\pi r D \sqrt{k}}{15} \quad (2-11)$$

dengan:

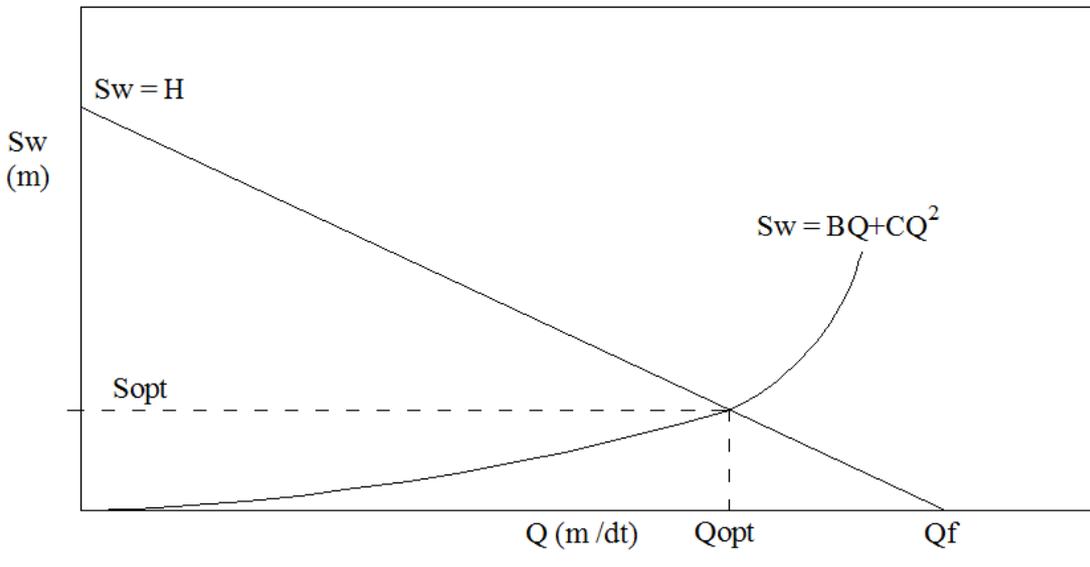
$Q_f$  = debit maksimum (m<sup>3</sup>/dt)

$r$  = jari-jari sumur (m)

$D$  = tebal akuifer (m)

$k$  = koefisien kelulusan air (m/dt)

4. Hubungkan titik kapasitas maksimum ( $Q_f$ ) dengan penurunan muka air maksimum ( $S_w$ ) diasumsikan tebal akuifer ( $H$ ), sehingga berupa garis lurus yang berpotongan dengan lukisan Persamaan (2-9).
5. Dari titik potong diatas maka didapat besar harga debit optimum ( $Q_{opt}$ ) dan penurunan muka air optimum ( $S_{opt}$ ).



Gambar 2.12 Penentuan Kapasitas Optimum Metode Grafis Sichardt

### 2.2.2 Ketersediaan Air PDAM

Perusahaan Daerah Air Minum Kota Malang merupakan Badan Usaha Milik Daerah sebagai Sarana Penyediaan Air Minum di Kota Malang, yang memberi jasa, menyelenggarakan kemanfaatan umum dan meningkatkan pendapatan asli daerah dengan tujuan pembangunan daerah khususnya dibidang penyediaan air bersih yang memenuhi syarat kesehatan, meningkatkan kesejahteraan dan memenuhi kebutuhan rakyat serta ketenagakerjaan ([www.pdamkotamalang.com](http://www.pdamkotamalang.com)).

Ketersediaan air PDAM merupakan salah satu komponen dalam skema neraca air di Universitas Brawijaya seperti dalam Gambar 2.2. Ketersediaan air PDAM Kota Malang berasal dari beberapa sumber yaitu:

1. Sumber Binangun Lama dengan kapasitas 100 liter/detik.
2. Sumber Binangun Baru dengan kapasitas 150 liter/detik.
3. Sumber Karang dengan kapasitas 40 liter/detik.
4. Sumber Banyuning dengan kapasitas 100 liter/detik.
5. Sumber Wendit II dengan kapasitas 510 liter/detik.
6. Sumber Wendit III dengan kapasitas 480 liter/detik.

Total ketersediaan air PDAM di Kota Malang sebesar 1.380 liter/detik.

Ketersediaan air di Universitas Brawijaya disuplai dari tandon Tlogomas. Besar ketersediaan air di Universitas Brawijaya disesuaikan dengan tingkat pemakaian air PDAM yang digunakan atau dapat disimpulkan bahwa besar ketersediaan air yang disediakan oleh PDAM sesuai dengan tingkat kebutuhan air PDAM di Universitas Brawijaya.

### 2.2.3 Total Potensi Ketersediaan Air

Total potensi ketersediaan air dapat diperoleh dengan menjumlahkan ketersediaan air dari berbagai sumber sebagai berikut:

$$Q_{total} = Q_{airtanah} + Q_{air PDAM} \quad (2-12)$$

dengan:

$$Q_{total} = \text{ketersediaan air total (m}^3\text{/tahun)}$$

$$Q_{airtanah} = \text{ketersediaan airtanah (m}^3\text{/tahun)}$$

$$Q_{air PDAM} = \text{ketersediaan air PDAM (m}^3\text{/tahun)}$$

## 2.3 Kebutuhan Air

Secara umum kebutuhan sumber daya air dibedakan dalam tiga kelompok, antara lain (Bagpro PBPP Brantas PSA Jawa Timur, 2004):

### 1. Kebutuhan air untuk domestik

Kebutuhan air untuk domestik antara lain air minum, air bersih, perkantoran, peribadatan, pertokoan, rumah sakit, dan perhotelan.

### 2. Kebutuhan air untuk pertanian

Kebutuhan air untuk pertanian antara lain persawahan, perkebunan, peternakan dan perikanan.

### 3. Kebutuhan air untuk industri

Kebutuhan air untuk industri antara lain industri berat, industri ringan dan industri sedang, pertambangan, pembangkit listrik tenaga air.

Secara umum kebutuhan air dalam studi ini dibedakan menjadi dua, meliputi kebutuhan air komersial dan kebutuhan air non komersial. Kebutuhan air komersial meliputi kebutuhan air untuk gedung penginapan dan asrama. Sedangkan kebutuhan air non komersial merupakan kebutuhan air operasional universitas, seperti toilet, kantin dan tempat peribadatan.

#### 2.3.1 Kebutuhan Air Komersial (Penginapan dan Asrama)

Kebutuhan air penginapan dan asrama merupakan kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia sehari-hari seperti untuk minum, memasak, kesehatan individu (mandi dan cuci), dan pangangkutan air buangan (buangan dapur dan toilet). Kebutuhan

air penginapan dan asrama dihitung berdasarkan jumlah penghuni dan standar kebutuhan penghuni tersebut. Data penghuni yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari pengelola masing-masing hunian. Standar kebutuhan air mengacu pada standar kebutuhan air sesuai dengan ketentuan dari SNI Penyusunan neraca sumberdaya air spasial. Standar kebutuhan air untuk penginapan dan asrama memiliki standar 90 liter/kamar tidur/hari.

Untuk menentukan kebutuhan air untuk keperluan non komersial digunakan rumus berikut:

$$Q_{air\ non\ komersial} = \sum_{kamar\ tidur} \times U_n \quad (2-13)$$

dengan:

$$Q_{air\ non\ komersial} = \text{jumlah kebutuhan air non komersial (m}^3\text{/tahun)}$$

$$\sum_{kamar\ tidur} = \text{jumlah kamar tidur penginapan}$$

$$U_n = \text{standar kebutuhan air (m}^3\text{/kamar tidur/hari)}$$

### 2.3.2 Kebutuhan Air Non Komersial (Universitas)

#### 1. Kebutuhan Air Perkantoran dan Pendidikan

Kebutuhan air universitas adalah kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti pengangkutan air buangan toilet, wudhu dan cuci selama berada di universitas. Untuk memperkirakan jumlah kebutuhan air universitas saat ini dan di masa yang akan datang dihitung berdasarkan jumlah civitas akademika, pertumbuhan civitas akademika dan kebutuhan air perorang.

Berdasarkan SNI Penyusunan neraca sumberdaya air spasial tingkat kebutuhan air di universitas sebesar 10 liter/orang/hari. Berdasarkan asumsi tersebut dapat diinformasikan besar kebutuhan air universitas.

Untuk menentukan kebutuhan air untuk keperluan komersial digunakan rumus berikut:

$$Q_{air\ komersial} = P_t \times U_n \quad (2-14)$$

dengan:

$$Q_{air\ komersial} = \text{jumlah kebutuhan air komersial (m}^3\text{/tahun)}$$

$$P_t = \text{jumlah civitas akademika pada tahun yang bersangkutan (jiwa)}$$

$$U_n = \text{standar kebutuhan air (m}^3\text{/jiwa/hari)}$$

#### 2. Kebutuhan Air Kantin

Kebutuhan air bersih untuk keperluan kantin merupakan rerata kebutuhan air yang digunakan untuk memasak, mencuci peralatan makan, mencuci tangan/kaki, kakus dan lain sebagainya. Untuk menghitung besarnya kebutuhan air kantin adalah dengan mengalikan standar kebutuhan air kantin dengan jumlah kursi yang ada. Standar kebutuhan air mengacu pada standar kebutuhan air sesuai dengan ketentuan dari SNI Tata cara

perencanaan sistem plambing. Standar kebutuhan air untuk kantin ditetapkan sebesar 15 liter/kursi.

### 3. Kebutuhan Air Tempat Ibadah

Kebutuhan air untuk tempat ibadah dihitung berdasarkan luas bangunan rumah ibadah ( $m^2$ ). Satuan pemakaian air menurut Direktorat Teknik Penyehatan, Dirjend Cipta Karya DPU, untuk rumah ibadah ditentukan sebesar 50 liter/hari/ $m^2$  (Triatmodjo, 2010).

#### 2.3.3 Total Kebutuhan Air

Total kebutuhan air diperoleh dengan menjumlahkan kebutuhan air dari berbagai peruntukan sebagai berikut:

$$Q_{total} = Q_{non\ komersial} + Q_{komersial} \quad (2-15)$$

dengan:

$$Q_{total} = \text{ketersediaan air total (m}^3\text{/tahun)}$$

$$Q_{non\ komersial} = \text{ketersediaan penginapan (m}^3\text{/tahun)}$$

$$Q_{komersial} = \text{ketersediaan air Universitas, kantin dan tempat ibadah (m}^3\text{/tahun)}$$

#### 2.3.4 Proyeksi Kebutuhan Air

##### 2.3.4.1 Proyeksi Civitas Akademika

Pertumbuhan jumlah civitas akademika merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan kebutuhan air baku di universitas. Proyeksi jumlah civitas akademika digunakan untuk menghitung tingkat pertumbuhan civitas akademiknya.

Perhitungan proyeksi jumlah civitas akademika pada umumnya dapat dilakukan dengan menggunakan tiga metode berikut (Muliakusumah, 2000:115):

##### 1. Proyeksi Metode Aritmatik

Proyeksi dengan metode aritmatik mengasumsikan bahwa jumlah civitas akademika pada masa depan akan bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahun. Rumus yang digunakan pada metode proyeksi aritmatik adalah:

$$P_n = P_0 (1+r.n) \quad (2-16)$$

$$r = \frac{1}{n} \left( \frac{P_n}{P_0} - 1 \right) \quad (2-17)$$

dengan:

$$P_n = \text{jumlah civitas akademika pada tahun ke-n (jiwa)}$$

$$P_0 = \text{jumlah civitas akademika pada tahun yang ditinjau (jiwa)}$$

$$r = \text{laju pertumbuhan civitas akademika (\%)}$$

$$n = \text{jumlah tahun proyeksi (tahun)}$$

## 2. Proyeksi Metode Geometri

Proyeksi civitas akademika dengan metode geometrik menggunakan asumsi bahwa jumlah civitas akademika akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga majemuk (Adioetomo dan Samosir, 2010). Laju pertumbuhan civitas akademika dianggap sama untuk setiap tahun. Berikut merupakan rumus proyeksi metode geometri:

$$P_n = P_0 (1 + r)^n \quad (2-18)$$

$$r = \left( \frac{P_n}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2-19)$$

dengan:

$P_n$  = jumlah civitas akademika pada tahun ke-n (jiwa)

$P_0$  = jumlah civitas akademika pada tahun yang ditinjau (jiwa)

$r$  = laju pertumbuhan civitas akademika (%)

$n$  = jumlah tahun proyeksi (tahun)

## 3. Proyeksi Metode Ekspensial

Metode ekspensial menggambarkan pertambahan civitas akademika yang terjadi secara sedikit-sedikit sepanjang tahun (Adisoetomo dan Samosir, 2010). Berikut merupakan rumus metode ekspensial:

$$P_n = P_0 \cdot e^{r \cdot n} \quad (2-20)$$

$$r = \frac{1}{n} \ln \left( \frac{P_n}{P_0} \right) \quad (2-21)$$

dengan:

$P_n$  = jumlah civitas akademika pada tahun ke-n (jiwa)

$P_0$  = jumlah civitas akademika pada tahun yang ditinjau (jiwa)

$r$  = laju pertumbuhan civitas akademika (%)

$n$  = jumlah tahun proyeksi (tahun)

$e$  = bilangan logaritma (2,7182818)

### 2.3.4.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Dalam menentukan pemilihan rumus proyeksi jumlah civitas akademika yang akan digunakan dengan hasil perhitungan yang paling mendekati kebenaran harus dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi atau koefisien korelasi.

### 1. Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan ukuran penyebaran yang menunjukkan standar penyimpangan terhadap penyimpangan rata-ratanya. Semakin rendah nilai standar deviasi, maka data tersebut mendekati kebenaran. Berikut merupakan rumus standar deviasi :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}} \quad (2-22)$$

dengan:

$S$  = standar deviasi

$X_i$  = jumlah civitas akademika tahun ke- $i$

$X$  = nilai rata-rata

$n$  = jumlah data

Metode proyeksi civitas akademika yang paling tepat adalah metode yang memberikan nilai standar deviasi terkecil.

### 2. Koefisien Korelasi

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2-23)$$

dimana:

$r$  = koefisien korelasi

$X$  = data proyeksi

$Y$  = data hasil perhitungan proyeksi

Metode proyeksi civitas akademika yang paling tepat adalah metode yang memberikan nilai koefisien korelasi mendekati 1.

### 2.4 Metode *Rainwater Harvesting*

*Rainwater harvesting* merupakan teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan, mengalirkan dan menyimpan air hujan untuk kemudian digunakan dari permukaan yang relatif bersih seperti atap, permukaan tanah atau tangkapan batu. Nilai *rainwater harvesting* sebagai sarana pelengkap atau pengganti suplai air perkotaan telah dibuktikan oleh banyak peneliti. *Rainwater harvesting* merupakan komponen penting dari pengelolaan air perkotaan dan memiliki manfaat sekunder sebagai perluasan penggunaan air hujan dan teknologi inovatif sederhana lainnya yang memiliki potensi untuk

mengurangi emisi gas rumah kaca dari wadah penyimpanan air dan proses pengolahan air yang berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Sistem *rainwater harvesting* memanfaatkan sumber daya air *onsite*, mengurangi limpasan permukaan (*runoff*), dan menghemat pengeluaran uang untuk penggunaan air. Sistem *rainwater harvesting* memiliki keterbatasan utama dalam efisiensi sistem tersebut yang sangat dipengaruhi oleh variasi spasial kejadian hujan, yang kemudian mempengaruhi efisiensi biaya pembuatan (Relma, 2006).

Keuntungan *rainwater harvesting* adalah tersedia air tambahan, meningkatkan kelembapan tanah, meningkatkan air tanah melalui resapan buatan, mengurangi banjir, dan meningkatkan kualitas air tanah. *Rainwater harvesting* dapat digunakan untuk irigasi, *toilet flushing*, dan untuk mencuci. Manfaat utama *rainwater harvesting* adalah melestarikan sumber daya air, mengurangi limpasan, menghemat biaya penggunaan air, biaya operasional rendah, dan pemeliharaannya mudah.

Kelemahan teknologi *rainwater harvesting* adalah pasokan air hujan terbatas dan ketidakpastian curah hujan. Air hujan bukan sumber air yang dapat diandalkan pada saat periode kering atau kemarau berkepanjangan. Selain itu kelemahan lainnya adalah kapasitas penyimpanan yang rendah akan membatasi pemanenan air hujan, sedangkan meningkatkan kapasitas penyimpanan akan menambah biaya konstruksi dan operasional sehingga membuat teknologi menjadi kurang layak secara ekonomis, kemungkinan kontaminasi pada air hujan yang berasal dari kotoran hewan dan bahan organik yang dapat mengakibatkan resiko kesehatan jika air hujan tidak didesinfeksi sebelum digunakan.

Secara umum, pemanenan air adalah kegiatan pengumpulan langsung air hujan. Air hujan yang dikumpulkan dapat disimpan untuk penggunaan langsung atau dapat digunakan untuk menambah airtanah. Sungai, danau dan airtanah adalah sumber sekunder air. Di masa sekarang, kita bergantung sepenuhnya pada sumber sekunder air. Dalam proses tersebut, umumnya telah dilupakan bahwa air hujan adalah sumber utama semua sumber-sumber sekunder. Pemanenan air berarti memanfaatkan secara optimal air hujan di tempat di mana hujan jatuh, sehingga untuk memenuhi kebutuhan air tidak perlu tergantung pada sumber air yang jauh.

#### **2.4.1 Atap**

Atap merupakan bagian penting dari sebuah bangunan. Dari fungsinya secara fisik atap berfungsi melindungi dari panas dan hujan. Banyak model atap yang berkembang di masyarakat, baik dari segi bentuk maupun bahan penyusunnya. Model pelana dan model perisai merupakan bentuk atap yang mendasari perkembangan model-model atap yang

lain, kedua model tersebut merupakan model atap yang banyak diterapkan di Indonesia. Sedangkan dari bahan penyusunnya digunakan atap dengan bahan genteng karena atap dengan bahan genteng dianggap cocok digunakan untuk daerah tropis.

#### **2.4.1.1 Luas Daerah Pengaliran Atap**

Luas daerah pengaliran pada atap dianggap merupakan luas bidang atap itu sendiri, sehingga untuk menghitung luas daerah pengaliran dihitung berdasarkan luasan bidang-bidang pembentuk atap. Pada studi di kawasan Universitas Brawijaya, bentuk atap didominasi oleh model joglo. Bentuk tersebut merupakan penggabungan dari model pelana dan model perisai.

#### **2.4.1.2 Talang**

Pada umumnya, talang dipasang pada bagian tepi dari gedung yang berfungsi menampung dan mengalirkan air dari atap gedung menuju pipa pembuang. Bentuk tampang talang berbentuk setengah lingkaran dengan garis tengah berkisar 20 – 25 cm atau segi empat dengan lebar berkisar 20 – 25 cm dengan kedalaman talang 10 – 15 cm, sedangkan untuk pipa pembuang pada umumnya menggunakan bahan PVC dengan diameter 8 – 10 cm yang menghubungkan antara talang dengan permukaan tanah (Wisnu: 2003).

### **2.4.2 Analisa Hidrologi**

#### **2.4.2.1 Pengujian Data Hujan**

##### **A. Uji Konsistensi Data Curah Hujan**

Ketelitian hasil perhitungan dalam ramalan hidrologi sangat diperlukan, yang tergantung dari konsistensi data itu sendiri. Dalam suatu rangkaian data pengamatan hujan, dapat timbul akibat kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, yang dapat mengakibatkan penyimpangan dalam perhitungan.

Data hujan yang diambil dari berbagai stasiun hujan diuji untuk mengetahui apakah data tersebut konsisten atau tidak. Uji konsistensi merupakan uji kebenaran data lapangan yang menggambarkan keadaan sebenarnya. Data yang tidak konsisten dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain:

1. Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, antara lain adanya pembangunan gedung-gedung baru, tumbuhnya pohon-pohon, gempa bumi, gunung meletus dan lain-lain.
2. Perubahan cara pengukuran, misalnya berhubungan dengan adanya alat baru atau metode baru.
3. Pemindahan atau perubahan letak alat pengukur hujan.
4. Perubahan iklim

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau pengukuran, data tersebut harus benar-benar menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan. Dengan kata lain data hidrologi disebut tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dan nilai sebenarnya.

Uji konsistensi dilakukan terhadap data curah hujan tahunan dengan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Metode ini dilakukan dengan cara menghitung nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata (*mean*) dengan persamaan berikut:

$$S^*o = 0; S^*k = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2-24)$$

$$S^{**k} = \frac{S^*k}{Dy} \quad (2-25)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2-26)$$

Pengujian dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri yaitu pengujian dengan kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya, lebih jelas lagi dapat dilihat pada rumus nilai statistik Q dan R (*range*) berikut ini:

$$Q = \max |S^{**k}|$$

$$R = \max S^{**k} - \min S^{**k} \quad (2-27)$$

dimana:

$S^*o$  = simpangan awal

$S^*k$  = simpangan mutlak

$S^{**k}$  = nilai konsistensi data

$n$  = jumlah data

$Dy$  = simpangan rata-rata

$Q$  = nilai statistik Q untuk  $0 \leq k \leq n$

$R$  = nilai statistik (*range*)

Dengan melihat nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai  $Q/n^{0.5}$  dan  $R/n^{0.5}$ . Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai  $Q/n^{0.5}$  syarat dan  $R/n^{0.5}$  syarat, jika lebih kecil maka data masih dalam batas konsisten.

Tabel 2.6 Nilai  $Q/(n^{0.5})$  dan  $R/(n^{0.5})$ 

N	Q/(n <sup>0.5</sup> )			R/(n <sup>0.5</sup> )		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
∞	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber: Harto (2009:41)

### B. Uji Inlier-Outlier

Data yang telah konsisten kemudian perlu diuji lagi dengan uji abnormalitas. Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data yang ada layak digunakan atau tidak. Uji yang digunakan adalah uji Inlier-Outlier, dimana data yang menyimpang dari dua batas ambang, yaitu ambang bawah (XL) dan ambang atas (XH) akan dihilangkan. Rumus untuk mencari kedua ambang tersebut adalah sebagai berikut:

$$XH = Exp. (Xrerata + Kn \times S) \quad (2-28)$$

$$XL = Exp. (Xrerata - Kn \times S) \quad (2-29)$$

Dimana:

$XH$  = nilai ambang atas

$XL$  = nilai ambang bawah

$Xrerata$  = nilai rata-rata

$Kn$  = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data

$S$  = simpangan baku tergantung pada jumlah sampel data

$n$  = jumlah sampel data

Berikut merupakan tabel nilai-nilai  $Kn$  untuk masing-masing jumlah data yang tersedia.

**Tabel 2.7 Nilai Kn**

Jumlah Data	Kn						
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,880	25	2,468	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,247	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (1998)

#### 2.4.2.2 Curah Hujan Rerata Daerah

Untuk mendapatkan gambaran mengenai penyebaran hujan di seluruh daerah, di beberapa tempat tersebar pada DAS dipasang alat penakar hujan. Pada daerah aliran kecil memungkinkan hujan terjadi merata di seluruh daerah, tetapi tidak demikian pada daerah aliran yang besar, hujan di berbagai tempat pada DAS yang besar tidak sama, sedangkan pos-pos penakar hujan hanya mencatat hujan di suatu titik tertentu.

Selain berdasarkan stasiun pengamatan, curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut:

- Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil dapat diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan.
- Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan 250-50.000 ha memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata aljabar.
- Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000-500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebut cukup merata dapat menggunakan metode rata-rata.
- Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan Metode Isohyet atau metode potongan antara.

#### 2.4.2.3 Analisa Curah Hujan Andalan

Curah hujan andalan adalah curah hujan rerata daerah minimum untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan dan dapat dipakai untuk keperluan air baku. Curah hujan andalan untuk air baku ditetapkan 90%. Data hujan yang digunakan dapat berupa data

hujan harian, bulanan maupun tahunan. Langkah-langkah dalam penentuan curah hujan andalan adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data curah hujan dari kecil ke besar.
2. Menentukan curah hujan andalan dengan rumus:

$$R = \frac{n}{10} + 1 \text{ (untuk keperluan air baku dengan keandalan 90\%)} \quad (2-30)$$

#### 2.4.2.4 Analisa Curah Hujan Rancangan

Curah hujan merupakan tinggi hujan yang jatuh pada suatu daerah tertentu. Lama waktu curah hujan terkonsentrasi menurut penyelidikan Van Breen sebesar 4 jam dengan jumlah hujan sebesar 90% dan jumlah hujan selama 24 jam.

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu, atau hujan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Metode analisis hujan rancangan tersebut pemilihannya sangat bergantung dengan kesesuaian parameter statistik dari data yang bersangkutan, atau dipilih berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis lainnya.

Dalam studi ini untuk menentukan curah hujan rancangan dipakai metode analisa frekuensi Log Pearson III, karena cara ini sesuai untuk berbagai macam koefisien kepengcengan (*skewness*) dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*). Selain itu metode ini juga lebih luwes dan dapat dipakai untuk semua macam sebaran data. Oleh karena itu metode ini sering digunakan untuk menentukan curah hujan rancangan.

Tahapan untuk menghitung curah hujan rancangan dengan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Data rerata hujan harian maksimum sebanyak  $n$  buah diubah ke dalam bentuk logaritma ( $\text{Log } X_i$ )
2. Dihitung harga logaritma rata-rata

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (2-31)$$

3. Dihitung harga simpangan baku

$$Sd = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Rerata Log } X)^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2-32)$$

4. Dihitung koefisien kepengcengan ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Rerata Log } X)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (2-33)$$

5. Dihitung logaritma curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu

$$\text{Log } X_1 = \text{Rerata Log } X + \text{Sd} \cdot G \quad (2-34)$$

dengan:

$\text{Log } X_1$  = logaritma curah hujan rancangan

$\text{Rerata Log } X$  = rata-rata logaritma dari curah hujan

$\text{Sd}$  = simpangan baku

$G$  = koefisien frekuensi (dari tabel hubungan antara  $C_s$  dan probabilitas)

#### 2.4.2.5 Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang tersedia dengan distribusi yang dipakai. Ada 2 macam uji yang dipakai yaitu uji smirnov-kolmogorof dan uji chi-square.

##### A. Uji Smirnov–Kolmogorof

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui simpangan horizontal tersebar teoritis dan sebaran empiris. Simpangan horizontal ini dinyatakan dengan  $\Delta_{\text{maks}} < \Delta_{\text{cr}}$  (didapat dari tabel) untuk derajat nyata tertentu, disimpulkan hipotesa distribusi dapat diterima. Uji kecocokan Smirnov–Kolmogorof sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Mengurutkan data curah hujan dari kecil ke besar
2. Menghitung persamaan empiris dengan persamaan berikut (Harto, 1981:179):

$$Pe = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-35)$$

dengan:

$Pe$  = peluang (%)

$m$  = nomor urut data

$n$  = jumlah data

3. Mencari nilai  $G$

$$G = \frac{(\text{Log } X_1 - \text{Log } X)}{S} \quad (2-36)$$

dengan:

$\text{Log } X_1$  = logaritma curah hujan rancangan

$\text{Rerata Log } X$  = rata-rata logaritma dari curah hujan

$\text{Sd}$  = simpangan baku

$G$  = koefisien frekuensi

4. Mencari harga  $Pr$  dengan melalui tabel distribusi Log Pearson Tipe III

5. Menghitung nilai  $P(x)$

$$P(x) = 100 - Pr \quad (2-37)$$

6. Menghitung selisih  $Sn(x)$  dan  $P(x)$

$$Sn(x) = \text{peluang} \left( \frac{\text{rangking}}{\Sigma \text{data} + 1} \right) \quad (2-38)$$

7. Bandingkan perbedaan terbesar dari perhitungan selisih terbesar ( $\Delta_{\text{maks}}$ ) dengan  $\Delta_{\text{cr}}$  dari tabel Smirnov–Kolmogorof. Jika harga  $\Delta_{\text{maks}} < \Delta_{\text{cr}}$ , maka penyimpangan masih dalam batas ijin, yang berarti distribusi hujan pengamatan sesuai dengan model distribusi teoritis.

## B. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter  $X^2$ , oleh karena itu disebut dengan Chi-Square. Parameter  $X^2$  dapat dihitung dengan rumus (Soewarno, 2000:194) :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Fe - Ft)^2}{Ft} \quad (2-39)$$

dengan :

$Ft$  = nilai yang diharapkan (*expected frequency*)

$Fe$  = nilai yang diamati (*observed frequency*)

Tahapan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengurutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Kelompokkan data menjadi  $G$  sub grub, tiap-tiap sub grub minimal 4 data pengamatan.
3. Menjumlahkan data pengamatan sebesar  $Fe$  tiap-tiap sub grub.
4. Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $Ft$ . Untuk tiap-

tiap sub grub hitung nilai  $(Fe - Ft)^2$  dan  $\frac{(Fe - Ft)^2}{Ft}$

5. Menjumlah nilai  $\frac{(Fe - Ft)^2}{Ft}$  pada seluruh  $G$  sub grub untuk menentukan nilai Chi-Square hitung ( $X^2$  hit).
6. Menentukan derajat kebebasan,  $dk = G - R - 1$
7. Harga  $X^2$  hit dibandingkan dengan harga  $X^2_{\text{Cr}}$  dari tabel Chi-Square dengan  $dk$  dan jumlah data ( $n$ ) tertentu. Apabila  $X^2$  hit  $< X^2_{\text{Cr}}$  maka hipotesa distribusi dapat diterima.

### 2.4.2.6 Intensitas Hujan

Intensitas hujan rancangan dapat ditentukan berdasarkan lengkung Intensitas–Durasi–Frekuensi (IDF) atau biasa disebut kurva intensitas. Kurva IDF merupakan kurva hubungan antara intensitas hujan ( $I$ ) dan waktu konsentrasi ( $T_c$ ).

Pada umumnya, semakin besar  $t$  (waktu mulai hujan sampai jam ke  $t$ ) intensitas hujan semakin kecil. Untuk mengetahui rumus umum intensitas hujan dinyatakan dengan rumus (Nugroho, 2010:30):

$$I = \frac{R}{T} \quad (2-40)$$

dengan:

$R$  = curah hujan (mm)

$T$  = lamanya curah hujan (jam)

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

Sedangkan apabila data curah hujan yang tersedia adalah curah hujan harian, maka menurut Dr. Mononobe intensitas hujannya dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2010:265):

$$I = \frac{R}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2-41)$$

dengan:

$R_{24}$  = curah hujan maksimum dalam 1 hari (mm)

$T$  = lamanya curah hujan (jam), untuk Indonesia berkisar 5 – 7 jam.

$I$  = intensitas hujan (mm/jam)

### 2.4.2.7 Limpasan Metode Rasional

Metode rasional adalah metode untuk menghitung debit banjir maksimum dari curah hujan. Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis berlaku untuk luas DAS hingga 300 ha. Metode rasional ini menggunakan asumsi:

- a. Frekuensi hujan dan limpasan sama
- b. Intensitas hujan seragam di seluruh daerah aliran

Dua komponen utama yang digunakan pada metode rasional adalah waktu hujan ( $T$ ) dan intensitas curah hujan ( $I$ ). Metode rasional memperkirakan debit limpasan dengan pendekatan koefisien pengaliran, yang merupakan perbandingan antara debit puncak yang dihasilkan dengan intensitas hujan.

Metode rasional didasarkan pada persamaan berikut (Triatmodjo, 2010:144):

$$Q = 0,00278.C.I.A \quad (2-42)$$

dengan:

$Q$  = debit puncak ( $m^3/dt$ )

$C$  = koefisien pengaliran

$I$  = intensitas hujan rata-rata ( $mm/jam$ )

$A$  = luas daerah tangkapan ( $ha$  atau  $km^2$ )

Makna dari rumus tersebut adalah, jika turun hujan sebesar 1 mm/jam selama 1 jam pada daerah tangkapan seluas 1 ha pada permukaan licin ( $C = 1$ ), maka terjadi debit banjir sebesar  $0,00278 m^3/dt$ .

### 2.4.3 Sumur Resapan

Sumur resapan merupakan sumur atau lubang pada permukaan tanah yang dibuat untuk menampung air hujan agar dapat meresap ke dalam tanah. Sumur resapan merupakan kebalikan dari sumur air minum. Sumur resapan merupakan lubang untuk memasukkan air ke dalam tanah, sedangkan sumur air minum berfungsi menaikkan air tanah ke permukaan. Dengan demikian, konstruksi dan kedalamannya berbeda (Kusnaedi, 2000:6).

Sumur resapan dapat dikatakan sebagai suatu rekayasa teknik konservasi air, berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumur galian dengan kedalaman tertentu. Fungsi utama dari sumur resapan adalah sebagai tempat menampung air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah, serta upaya memperbaiki konservasi airtanah atau mendangkalkan permukaan airtanah. Disini diharapkan air hujan lebih banyak yang diserap kedalam tanah menjadi cadangan dalam tanah.

#### 2.4.3.1 Persyaratan Sumur Resapan

##### A. Persyaratan Umum

Persyaratan umum yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Sumur resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar,
2. Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan yang tidak tercemar,
3. Penempatan sumur resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan sekitarnya,
4. Harus memperhatikan peraturan daerah setempat,
5. Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan tersebut harus disetujui instansi yang berwenang.

##### B. Persyaratan Teknis

Persyaratan teknis yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Kedalaman airtanah minimum 1,50 m pada musim hujan,

## 2. Permeabilitas tanah

Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah  $\geq 2,0$  cm/jam, dengan klasifikasi sebagai berikut:

- Permeabilitas tanah sedang (geluh kelanauan, 2,0 – 3,6 cm/jam)
- Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus, 3,6 – 36 cm/jam)
- Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar, > 36 cm/jam)

## 3. Jarak terhadap bangunan

Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.8 Jarak Minimum Sumur Resapan Air Hujan Terhadap Bangunan**

No.	Jenis Bangunan	Jarak Minimum (m)
1	Sumur air bersih/ sumur resapan	3
2	Pondasi bangunan	1
3	Bidang resapan/ tangki septik	5

Sumber: SNI Perencanaan Sumur Resapan (2002)

### 2.4.3.2 Perhitungan dan Penentuan Sumur Resapan

#### A. Menghitung Kapasitas Sumur Resapan

Kapasitas sumur resapan dihitung berdasarkan diameter sumur dan kedalaman sumur yang direncanakan, rumus dari kapasitas sumur dapat disajikan pada persamaan berikut:

$$V = \pi \cdot D^2 \cdot H \quad (2-43)$$

dengan:

$V$  = kapasitas volume sumur ( $m^3$ )

$D$  = diameter sumur resapan (m)

$H$  = kedalaman sumur resapan (m)

#### B. Menghitung Jumlah Sumur Resapan

$$n = \frac{V_{limpasan}}{V_{sumur}} \quad (2-44)$$

dengan:

$V_{limpasan}$  = volume limpasan atap ( $m^3$ )

$V_{sumur}$  = volume sumur ( $m^3$ )

#### C. Menghitung Waktu Volume Air Hujan Yang Meresap

$$t_e = 0.9 R^{0.92}/60 \quad (2-45)$$

dengan:

$t_e$  = waktu resap (jam)

$R$  = curah hujan (mm/jam)

#### D. Menghitung Luas Penampang Sumur Resapan

$$A_{dinding} = 3,14 \cdot D \cdot H \quad (2-46)$$

$$A_{alas} = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot D^2 \quad (2-47)$$

$$A_{total} = A_{dinding} + A_{alas} \quad (2-48)$$

dengan:

$A_{dinding}$  = luas dinding sumur resapan ( $m^2$ )

$A_{alas}$  = luas alas sumur resapan ( $m^2$ )

$A_{total}$  = luas permukaan sumur resapan ( $m^2$ )

$D$  = diameter sumur resapan (m)

$H$  = tinggi sumur resapan (m)

#### E. Menghitung Volume Resapan

$$V_{resap} = (te/24) \cdot A_{total} \cdot K \quad (2-49)$$

dengan:

$V_{resap}$  = volume resap ( $m^3$ )

$te$  = waktu resap (jam)

$K$  = koefisien permeabilitas (m/hari)

#### 2.4.4 Lubang Resapan Biopori

Lubang resapan biopori (LRB) merupakan lubang berbentuk silindris berdiameter sekitar 10 cm yang digali di dalam tanah. Kedalamannya tidak melebihi muka air tanah, yaitu sekitar 100 cm dari permukaan tanah. LRB dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam meresapkan air. Air tersebut meresap melalui biopori yang menembus permukaan dinding LRB ke dalam tanah di sekitar lubang. Dengan demikian, akan menambah cadangan air dalam tanah.

Lokasi pembuatan LRB harus benar-benar diperhatikan. Walaupun diameternya cukup kecil bila dibandingkan sumur resapan, tetapi lokasi lubang tidak boleh dibuat di sembarang tempat. Selain memperhatikan estetika, LRB harus ditempatkan di lokasi yang dilalui aliran air serta tidak membahayakan bagi manusia dan hewan peliharaan. LRB juga dapat dibuat di dasar saluran, di sekitar batang pohon dan di batas taman.

Jumlah LRB yang akan dibuat sebaiknya disesuaikan dengan luasan tanah yang ada, berupa halaman depan atau halaman belakang.