

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Pengertian Air Tanah dan Akuifer

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir-butir tanah (Sosrodarsono, 1983:93).

Air tanah merupakan salah satu sumber akan kebutuhan air bagi kehidupan makhluk di muka bumi. Pada tahun-tahun terakhir ini pemanfaatan dan pengambilan air tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sudah tertata dengan baik, yakni dengan cara mengebor sumur-sumur dalam yang mempunyai kedalaman antara 50 – 200 meter lalu memasang pompa untuk memompa air tanah tersebut. Pemanfaatan air tanah untuk irigasi dilakukan dengan memasang pipa-pipa ataupun dengan saluran terbuka menuju petak-petak sawah untuk mengalirkan air dari dalam tanah.

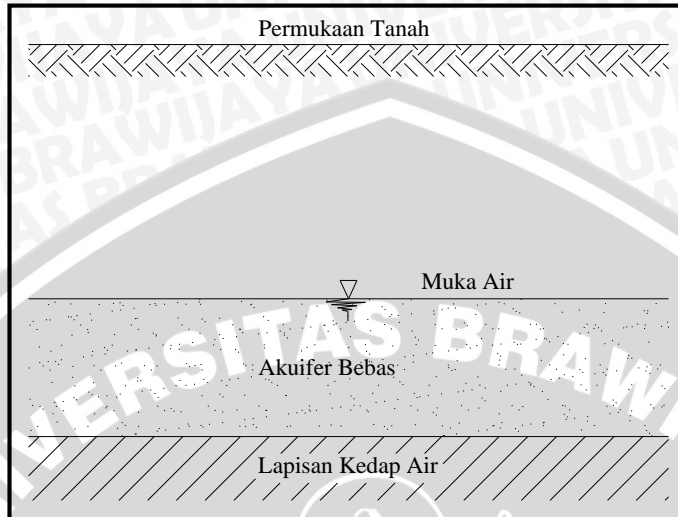
Akuifer adalah formasi yang mengandung air tanah dan menjadi media gerakan air tanah sebagai tampungan di bawah permukaan (Sudjarwadi, 1990:217).

Untuk mengetahui keadaan dan kedudukan air tanah harus diketahui daerah geologinya, untuk diidentifikasi susunannya dalam hubungan dengan kemampuan menahan, menampung, mengalirnya air, serta besar kapasitasnya. Menurut Thomas, susunan geologi yang dapat berlaku sebagai akuifer adalah kerikil dan pasir, batu kapur, batu gunung berapi, batu pasir, tanah liat yang bercampur bahan yang lebih kasar, konglomerat, dan batuan kristalin (Bisri, 1991:5).

Berdasarkan susunan lapisan geologi dan harga kelulusan air (K), akuifer dapat dibedakan menjadi empat macam (Bisri, 1991:5):

#### 1. Akuifer Bebas

Akuifer bebas adalah suatu akuifer dimana muka air tanah merupakan bidang batas sebelah atas dari daerah jenuh air. Secara skematik digambarkan sebagai berikut:

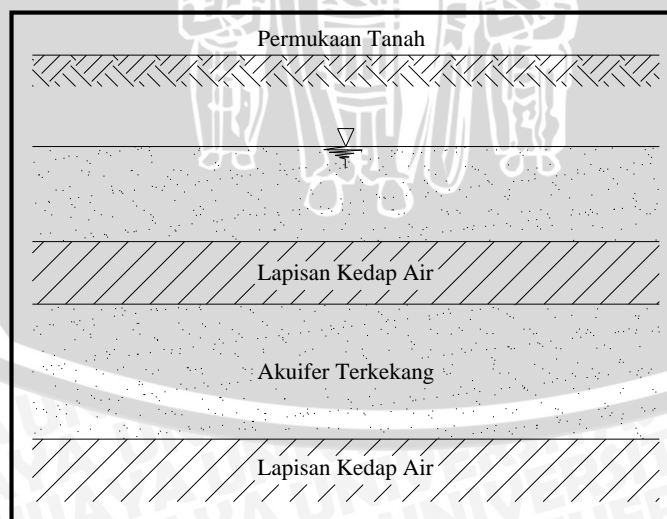


**Gambar 2.1. Akuifer Bebas**

*Sumber: (Bisri, 1991:6)*

## 2. Akuifer Terkekang

Akuifer terkekang adalah suatu akuifer dimana air tanah terletak di bawah lapisan kedap air (*impermeable*) dan mempunyai tekanan yang lebih besar dari pada tekanan atmosfer. Secara sistematis digambarkan sebagai berikut:

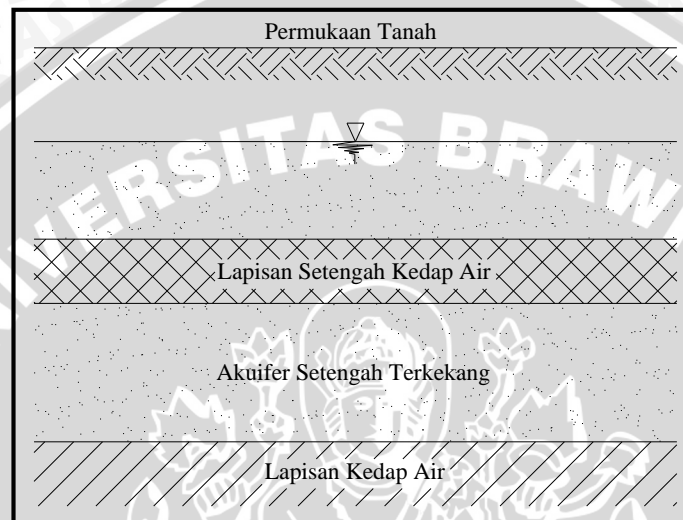


**Gambar 2.2. Akuifer Terkekang**

*Sumber: (Bisri, 1991:6)*

### 3. Akuifer Setengah Terkekang

Akuifer setengah terkekang adalah suatu akuifer yang sepenuhnya jenuh air dengan bagian atas dibatasi oleh lapisan setengah kedap air (nilai kelulusan airnya terletak antara akuifer dan akuifer) dan bagian bawah terletak pada suatu dasar yang kedap air. Secara sistematis digambarkan sebagai berikut:

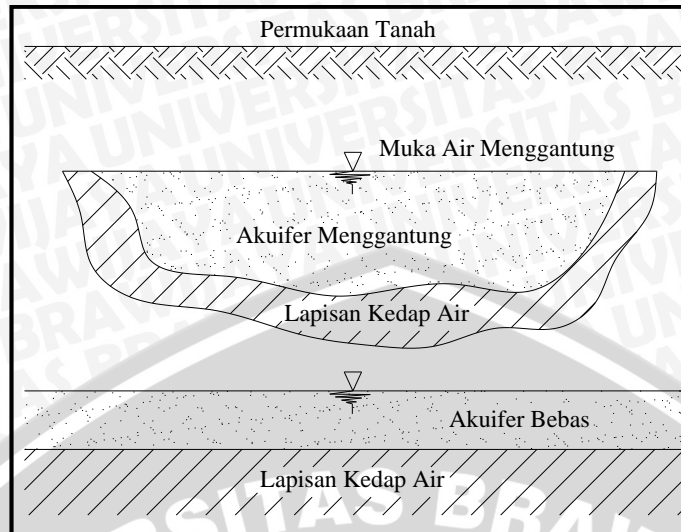


**Gambar 2.3. Akuifer Setengan Terkekang**

*Sumber: (Bisri, 1991:7)*

### 4. Akuifer Menggantung

Akuifer menggantung adalah suatu akuifer yang mempunyai massa air tanahnya terpisah dari air tanah induk oleh suatu lapisan yang relatif kedap air yang begitu luas dan terletak diatas daerah jenuh air. Secara sistematis digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.4. Akuifer Menggantung**  
*Sumber: (Bisri, 1991:7)*

## 2.2. Pengujian Sumur

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

Metode yang banyak digunakan di Indonesia guna pengujian sumur adalah *Step Test* atau disebut juga *Step Drawdown Test*, yaitu dengan mengadakan pemompaan secara terus menerus dengan perubahan debit secara bertahap pada sumur-sumur yang telah ditetapkan. Metode ini mempunyai prinsip analisa sebagaimana yang akan dijelaskan berikut ini.

Kapasitas jenis sumur dinyatakan dengan persamaan (Bisri, 1991:109):

$$q_s = \frac{Q}{S} \quad (2-1)$$

dimana :

$q_s$  = kapasitas jenis ( $m^2/dt$ )

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

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

Menurut Jacob bahwa penurunan muka air di sumur akibat pemompaan terdiri atas 2 komponen, yaitu (Bisri, 1991:109):

1. Penurunan muka air pada akuifer (*aquifer loss/BQ*)

yaitu penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran laminar pada akuifer sendiri. Besarnya harga BQ ini bergerak secara linier terhadap perubahan debit pemompaan, dan sangat tergantung pada sifat hidraulis dari akuifer (formasi geologinya). Berarti kondisi itu tidak dapat dirubah atau diperbaiki (bersifat alami)

2. Penurunan muka air pada sumur (*well loss/CQ<sup>2</sup>*)

yaitu penurunan muka air di sumur akibat pemompaan yang disebabkan oleh aliran turbulen di dalam sumur. Besarnya harga CQ<sup>2</sup> ini bergerak secara kuadratis terhadap perubahan debit pemompaan dan sangat tergantung pada karakteristik dari sumur uji, misalnya pencucian sumur kurang bersih akibat adanya hambatan-hambatan pada filter dan pipa saringan. Berarti kondisi ini dapat diperbaiki untuk memperkecil harga *well loss*.

Besarnya total penurunan muka air di sumur (*Sw*) dapat dinyatakan sebagai berikut (Bisri, 1991:110):

$$Sw = BQ - CQ^2 \quad (2-2)$$

dimana:

*Sw* = total penurunan muka air (m)

BQ = *aquifer loss* (m)

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

CQ<sup>2</sup> = *well loss* (m)

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

Sumur yang produktif menurut Walton dan Bierschenk adalah sumur yang mempunyai harga koefisien *well loss* (C) dan faktor *development* (Fd) yang kecil. Klasifikasi sumur berdasarkan factor ini diberikan pada tabel berikut:

**Tabel 2.1. Kondisi Sumur Berdasarkan Harga Koefisien *Well Loss* (C) Menurut Walton**

Koefisien <i>Well Loss</i> (C) (detik <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	Kondisi Sumur
< 0,5	Baik
0,5 - 1,0	Mengalami penyumbatan sedikit
1,0 - 4,0	Penyumbatan dibeberapa tempat
> 4,0	Sulit dikembalikan seperti semula

Sumber: (Bisri, 1991:110)

Faktor *development* (Fd) dinyatakan dengan:

$$Fd = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2-3)$$

Klasifikasi sumur berdasarkan faktor *development* ini diberikan pada tabel berikut:

**Tabel 2.2. Klasifikasi Sumur Berdasarkan Faktor *Development* (Fd) Menurut Bierschenk**

Faktor <i>Development</i> (Fd) (Hari/m <sup>3</sup> )	Kelas
< 0,1	Sangat Baik
0,1 - 0,5	Baik
0,5 - 1,0	Sedang
> 1,0	Jelek

Sumber: (Bisri, 1991:111)

Untuk mencari harga B dan C digunakan metode Uji Sumur Muka Air Bertahap (*step drawdown test*) dengan prosedur sebagai berikut (Bisri, 1991:111):

1. Gambar penurunan jenis (S/Q) pada sumbu vertikal dan debit (Q) pada sumbu horisontal untuk masing-masing tahap di atas kertas grafik biasa sehingga berupa garis lurus.
2. Harga B diperoleh dari perpotongan antara garis lurus tersebut dengan sumbu vertikal (S/Q)
3. Sedang harga C didapat dari kemiringan garis (slope atau tangen) yang dibentuk oleh harga S/Q dan Q.
4. Dari harga B dan C tersebut dapatlah ditentukan harga BQ dan CQ<sup>2</sup>.

### 2.3. Analisa Debit Optimum Sumur

Dalam menentukan kapasitas optimum sumur pompa dapat digunakan Metode Grafis Sichardt. Adapun langkah-langkah perhitungan dari metode ini adalah sebagai berikut (Nurkartika, 2001:11):

1. Data pemompaan dievaluasi dengan metode uji sumur muka air bertahap (*step drawdown test*) untuk mendapatkan persamaan garis  $S_w = BQ + CQ^2$ .
2. Gambar persamaan garis tersebut pada kertas grafik, dengan memasukkan nilai Q sebagai absis (x) dan nilai  $S_w$  sebagai ordinat (y).
3. Hitung kapasitas maksimum sumur atau debit maksimum ( $Q_{maks}$ ) dengan persamaan Huisman sebagai berikut:

$$Q_{maks} = 2\pi \times r_w \times D \times \left( \frac{\sqrt{K}}{15} \right) \quad (2-4)$$

dimana:

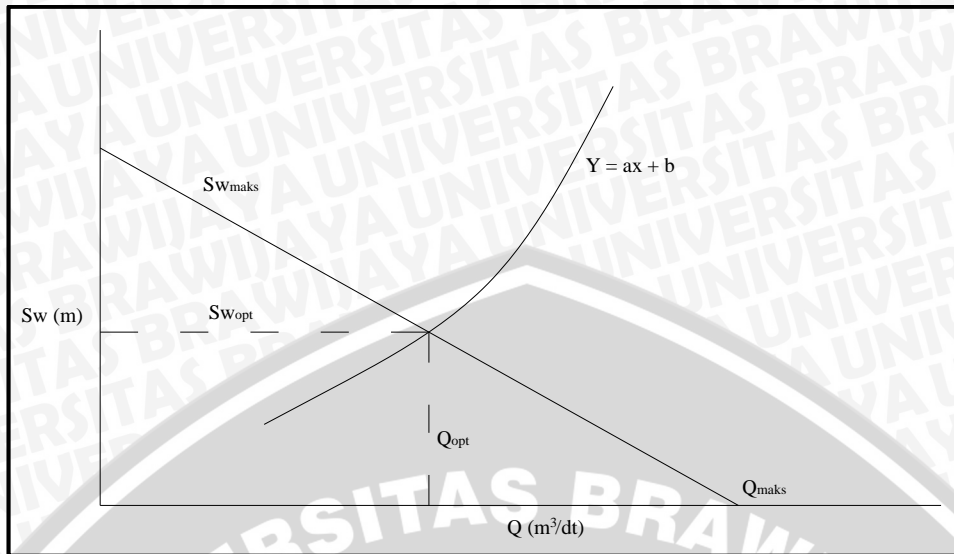
$$Q_{maks} = \text{debit maksimum (m}^3/\text{dt)}$$

$$r_w = \text{jari-jari konstruksi sumur (m)}$$

$$D = \text{tebal akuifer (m)}$$

$$K = \text{koefisien kelulusan air (m/dt)}$$

4. Hubungkan titik kapasitas maksimum ( $Q_{maks}$ ) dengan penurunan muka air ( $S_{w_{maks}}$ ) sehingga berupa garis lurus yang berpotongan dengan gambaran persamaan (2-2).
5. Dari titik potong di atas didapat harga kapasitas optimum ( $Q_{opt}$ ) dan penurunan muka air optimum ( $S_{w_{opt}}$ ).



**Gambar 2.5. Evaluasi Uji Surut Bertahap Metode Grafis Sigmoid**

#### 2.4. Pengolahan Data Hujan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di daerah yang bersangkutan. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm. Curah hujan daerah ini harus diperkirakan dari beberapa titik pengamatan curah hujan. Cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik dengan cara rata-rata aljabar adalah sebagai berikut (Suyono dan Takeda, 2003:27):

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2-5)$$

dimana:

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

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

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

#### 2.5. Kebutuhan Air Irigasi

Setiap tanaman memerlukan air dalam jumlah yang berbeda menurut macam dan usia tanaman agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air irigasi adalah:

1. Evapotranspirasi
2. Koefisien tanaman



3. Penggunaan air konsumtif
4. Perkolasi
5. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan
6. Penggantian lapisan air
7. Curah hujan efektif
8. Kebutuhan air tanaman

Perhitungan kebutuhan air irigasi pada daerah persawahan diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Anonim, 1986:5):

$$\text{NFR} = \text{ETc} + \text{WLR} + \text{P} - \text{Re} \quad (2-6)$$

dimana:

NFR = kebutuhan air irigasi di sawah (mm/hari)

ETc = kebutuhan air tanaman/penggunaan air konsumtif (mm/hari)

WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)

P = kehilangan air akibat perkolasi (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)

### 2.5.1. Evapotranspirasi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi (penguapan). Peristiwa penguapan dari tanaman disebut transpirasi. Kedua bersama-sama disebut evapotranspirasi (Suyono dan Takeda, 2003:57).

#### 1. Evaporasi

Air akan menguap dari tanah, baik tanah gundul atau yang tertutup oleh tanaman dan pepohonan. Pada permukaan yang tidak tembus air seperti atap dan jalan raya, air bebas mengalir. Laju evaporasi atau penguapan akan berubah-ubah menurut sifat pemantulan permukaan. Laju evaporasi berbeda untuk permukaan yang langsung tersinari oleh matahari dan yang terlindungi dari sinar matahari.

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto, 1986:43):

a. Radiasi matahari

Evaporasi berjalan terus hampir tanpa berhenti di siang hari dan kerap kali juga di malam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi berupa panas untuk evaporasi. Proses evaporasi akan sangat aktif jika ada penyinaran langsung dari matahari.

b. Angin

Jika air menguap ke atmosfer maka lapisan batas antara permukaan tanah dan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses evaporasi berhenti. Agar proses tersebut berjalan terus lapisan jenuh harus diganti dengan udara kering. Pergantian itu hanya dimungkinkan jika ada angin. Jadi, kecepatan angin memegang peranan penting dalam proses evaporasi.

c. Kelembaban relatif

Faktor lain yang mempengaruhi evaporasi adalah kelembaban relatif udara. Jika kelembaban relatif naik, maka kemampuan udara untuk menyerap air akan berkurang sehingga laju evaporasinya menurun. Penggantian lapisan udara pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembaban relatifnya tidak akan menolong untuk memperbesar laju evaporasi.

d. Suhu (temperatur)

Suhu sangat diperlukan agar evaporasi berjalan terus. Jika suhu udara dan tanah cukup tinggi, proses evaporasi akan berjalan lebih cepat dibandingkan jika suhu udara dan tanah rendah karena adanya energi panas yang tersedia.

## 2. Transpirasi

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya, dan masing-masing jenis tanaman berbeda-beda kebutuhannya. Hanya sebagian kecil air yang tinggal di dalam tubuh tumbuh-tumbuhan dan sebagian besar air setelah diserap lewat akar-akar dan dahan-dahan akan ditranspirasikan lewat bagian tumbuh-tumbuhan yang berdaun (Soemarto, 1986 : 44).

Proses transpirasi berlangsung terus hampir sepanjang hari di bawah pengaruh sinar matahari, namun pada malam hari pori-pori daun menutup. Pori-pori tersebut terletak di bagian bawah daun, yang disebut stomata. Apabila pori-pori ini menutup menyebabkan terhentinya proses transpirasi secara drastis. Faktor lain yang penting adalah jumlah air yang tersedia cukup banyak. Jika jumlah air yang tersedia melebihi dari yang dibutuhkan oleh tanaman, maka jumlah air yang ditranspirasikan akan lebih besar dibandingkan apabila ketersediaan air di bawah keperluan.

### 3. Evapotranspirasi

Dalam kondisi lapangan tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dan transpirasi, apalagi jika tanahnya tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Proses evaporasi dan transpirasi saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi. Jumlah kadar air yang hilang dari tanah oleh evapotranspirasi tergantung pada (Soemarto,1986:44):

- Adanya persediaan air yang cukup (hujan dan lain-lain).
- Faktor-faktor iklim seperti suhu, kelembaban, dan lain-lain.
- Tipe dan cara kultivasi tumbuh-tumbuhan tersebut.

Besarnya evapotranspirasi potensial dapat dihitung dengan menggunakan Metode Penman yang sudah dimodifikasi guna perhitungan di daerah Indonesia adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1994:54):

$$ET_o = c \times E_{to}^* \quad (2-7)$$

$$E_{to}^* = W \times (0,75 \times R_s - R_{n1}) + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d) \quad (2-8)$$

dimana:

$c$  = angka koreksi Penman yang besarnya mempertimbangkan perbedaan cuaca

$W$  = faktor yang berhubungan dengan suhu (t) dan elevasi daerah

$R_s$  = radiasi gelombang pendek (mm/hr)

$$= (0,25 + 0,54 \times \frac{n}{N}) \times R_a \quad (2-9)$$

$R_a$  = radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (angka angot), tergantung letak lintang daerah (mm/hr)

$n$  = lama kecerahan matahari yang nyata (tidak terhalang awan) dalam 1 hari (jam)

$N$  = lama kecerahan matahari yang mungkin dalam 1 hari (jam)

$Rn_1$  = radiasi bersih gelombang panjang (mm/hr)  
 $= f(t) \times f(ed) \times f\left(\frac{n}{N}\right)$  (2-10)

$f(t)$  = fungsi suhu

$f(ed)$  = fungsi tekanan uap  
 $= 0,34 - [0,044 \times (ed)^{0,5}]$  (2-11)

$f\left(\frac{n}{N}\right)$  = fungsi kecerahan  
 $= 0,1 + [0,9 \times \left(\frac{n}{N}\right)]$  (2-12)

$f(u)$  = fungsi kecepatan angin (m/dt)  
 $= 0,27 (1 + 0,864)$  (2-13)

$(ea-ed)$  = perbedaan tekanan uap jenuh dengan tekanan uap yang sebenarnya

$ed$  = tekanan uap jenuh  
 $= ea \times RH$  (2-14)

$ea$  = tekanan uap sebenarnya

$RH$  = kelembaban udara relatif (%)

Prosedur perhitungan  $Eto^*$  berdasar rumus Penman yang sudah dimodifikasi adalah sebagai berikut:

1. Mencari data temperatur rata-rata bulanan ( $t$ , °C)
2. Berdasar nilai ( $t$ ) cari besaran ( $ea$ ), ( $W$ ), ( $1-W$ ) dan  $f(t)$  dengan Tabel 2.5.
3. Mencari data kelembaban relatif ( $RH$ , %)
4. Berdasar nilai ( $ea$ ) dan ( $RH$ ) cari ( $ed$ )
5. Berdasar nilai ( $ed$ ) cari  $f(ed)$
6. Cari letak lintang daerah yang ditinjau
7. Berdasar letak lintang cari nilai ( $Ra$ ) dengan Tabel 2.6.
8. Cari data kecerahan matahari ( $n/N$ )
9. Berdasar nilai ( $Ra$ ) dan ( $n/N$ ) cari besaran ( $Rs$ )
10. Berdasar nilai ( $n/N$ ) cari  $f(n/N)$

11. Cari data kecepatan angin rata-rata bulanan ( $u$ )
12. Berdasar nilai ( $u$ ) cari  $f(u)$
13. Hitung besar  $Rn_1$
14. Cari besarnya angka koreksi ( $c$ ) dengan Tabel 2.7.
15. Berdasar besaran nilai  $W$ ,  $(1-W)$ ,  $R_s$ ,  $Rn_1$ ,  $f(u)$ ,  $ea$ , dan  $ed$  yang telah didapat hitung  $ETo^*$
16. Hitung  $Eto$

**Tabel 2.3. Hubungan Suhui ( $t$ ) dengan nilai  $ea$ ,  $W$  dan  $f(t)$**

Suhu (°C)	Ea (mbar)	W	f(t)
24.0	29.85	0.74	15.40
24.2	30.21	0.74	15.45
24.4	30.57	0.74	15.50
24.6	30.94	0.74	15.55
24.8	31.31	0.74	15.60
25.0	31.69	0.75	15.65
25.2	32.06	0.75	15.70
25.4	32.45	0.75	15.75
25.6	32.83	0.75	15.80
25.8	33.22	0.75	15.85
26.0	34.62	0.76	15.90
26.2	34.02	0.76	15.94
26.4	34.42	0.76	15.98
26.6	34.83	0.76	16.02
26.8	35.83	0.76	16.06
27.0	35.25	0.77	16.10
27.2	35.66	0.77	16.14
27.4	36.09	0.77	16.18
27.6	36.50	0.77	16.22
27.8	36.94	0.77	16.26
28.0	37.37	0.78	16.30
28.2	38.25	0.78	16.34
28.4	38.70	0.78	16.38
28.6	39.14	0.78	16.42
28.8	39.61	0.78	16.46
29.0	40.06	0.79	16.50

Sumber: (Suhardjono, 1994:54)

**Tabel 2.4. Besar Nilai Angot (Ra) Untuk Daerah Indonesia Antara 50 LU Sampai 100 LS dalam mm/hr**

Bulan	Lintang Utara				Lintang Selatan				
	5	4	2	0	2	4	6	8	10
Januari	13.0	14.3	14.7	15.0	15.3	15.5	15.8	16.1	16.1
Februari	14.0	15.0	15.3	15.5	15.7	15.8	16.0	16.1	16.0
Maret	15.0	15.5	15.6	15.7	15.7	15.6	15.6	15.5	15.3
April	15.1	15.5	15.3	15.3	15.1	14.9	14.7	14.4	14.0
Mei	15.3	14.9	14.6	14.4	14.1	13.8	13.4	13.1	12.6
Juni	15.0	14.4	14.2	13.5	13.5	13.2	12.8	12.4	12.0
Juli	15.1	14.6	14.3	13.7	13.7	13.4	13.1	12.7	11.8
Agustus	15.3	15.1	14.9	14.5	14.5	14.3	14.0	13.7	12.2
September	15.1	15.3	15.3	15.2	15.2	15.1	15.0	14.9	13.3
Oktober	15.7	15.1	15.3	15.5	15.5	15.6	15.7	15.8	14.6
November	14.8	14.5	14.8	15.3	15.3	15.5	15.8	16.0	15.6
Desember	14.6	14.6	14.4	15.1	15.1	15.4	15.7	16.0	16.0

Sumber: (Suhardjono, 1994:55)

**Tabel 2.5. Besaran Angka Koreksi (c) Bulanan**

Bulan	Angka Koreksi (c)		
	Blaney-Criddle	Radiasi	Penman
Januari	0.80	0.80	1.10
Februari	0.80	0.80	1.10
Maret	0.75	0.75	1.00
April	0.75	0.75	0.90
Mei	0.70	0.70	0.90
Juni	0.70	0.70	0.90
Juli	0.75	0.75	0.90
Agustus	0.75	0.75	1.00
September	0.80	0.80	1.10
Oktober	0.80	0.80	1.10
November	0.83	0.83	1.10
Desember	0.83	0.83	1.10

Sumber: (Suhardjono, 1994:55)

### 2.5.2. Koefisien Tanaman

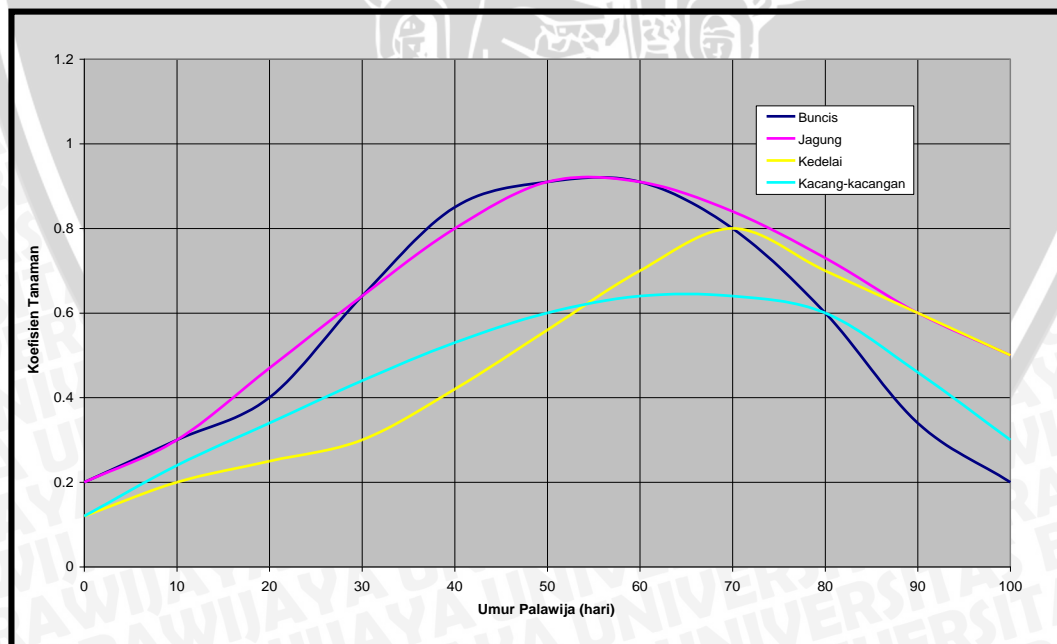
Koefisien tanaman sangat erat hubungannya dengan awal masa tanam, jenis tanaman dan varietas tanaman. Nilai koefisien tanaman untuk tanaman padi dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2.6. Harga Koefisien Tanaman Padi**

Bulan Ke	Nedeco/Prosida		F A O	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0.5	1.20	1.20	1.10	1.10
1	1.20	1.27	1.10	1.10
1.5	1.32	1.33	1.10	1.05
2	1.40	1.30	1.10	1.05
2.5	1.35	1.30	1.10	1.05
3	1.24	0.00	1.05	0.95
3.5	1.12	0.00	0.95	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber: (Anonim, 1986:164)

Sedangkan untuk tanaman palawija, nilai koefisien tanaman adalah seperti pada gambar di bawah ini:



**Gambar 2.6. Koefisien Tanaman Palawija**

Sumber: Anonim, Dirjen Pengairan, Bina Program PSA. 010, 1985

### 2.5.3. Penggunaan Air Konsumtif

Penggunaan air konsumtif oleh tanaman diperkirakan berdasarkan metode prakira empiris dengan menggunakan data iklim, koefisien tanaman pada tahap pertumbuhan, seperti dinyatakan di bawah ini (Anonim, 1987:6):

$$ET_C = K_C \times ET_o \quad (2-15)$$

dimana:

$K_C$  = koefisien tanaman

$ET_o$  = evaporasi potensial (mm/hr)

### 2.5.4. Perkolasi

Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah) ke dalam daerah jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah) (Soemarto, 1987:80).

Laju perkolasi sangat bergantung pada sifat-sifat tanah. Pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/hr. Pada tanah-tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi (Anonim, 1986:165).

Perkolasi dibedakan berdasarkan kemiringan dan tekstur tanah. Berdasarkan kemiringan, lahan dibedakan menjadi lahan datar dengan perkolasi 1 mm/hari dan lahan miring > 5% dengan perkolasi 2-5 mm/hari. Berdasarkan tekstur, tanah dibedakan menjadi tanah berat (lempung) perkolasi 1-2 mm/hari, tanah sedang (lempung berpasir) perkolasi 2-3 mm/hari dan tanah ringan dengan perkolasi 3-6 mm/hari.

### 2.5.5. Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Untuk menghitung kebutuhan air selama masa penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra. Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut (Anonim, 1986:160):

$$IR = M \times \frac{e^k}{(e^k - 1)} \quad (2-16)$$

$$M = E_o + P \quad (2-17)$$



$$K = M \times \frac{T}{S} \quad (2-18)$$

dimana:

IR = kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan (mm/hr)

M = kebutuhan air pengganti kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan (mm/hr)

Eo = evaporasi air terbuka (diambil 1,1 x ETo) (mm/hr)

P = perkolasi (mm/hr)

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air untuk penjenuhan (mm)

**Tabel 2.7. Kebutuhan Air Irigasi Untuk Penyiapan Lahan**

Eo + P (mm/hr)	T 30 hari		T 45 hari	
	S250 mm	S 300 mm	S250 mm	S 300 mm
5.0	11.1	12.7	8.4	9.5
5.5	11.4	13.0	8.8	9.8
6.0	11.7	13.3	9.1	10.1
6.5	12.0	13.6	9.4	10.4
7.0	12.3	13.9	9.8	10.8
7.5	12.7	14.2	10.1	11.1
8.0	13.0	14.5	10.5	11.4
8.5	13.3	14.8	10.8	11.8
9.0	13.6	15.2	11.2	12.1
9.5	14.0	15.5	11.6	12.5
10.0	14.3	15.8	12.0	12.9
10.5	14.7	16.2	12.4	13.2
11.0	15.0	16.5	12.8	13.6

Sumber: (Anonim, 1986:161)

### 2.5.6. Penggantian Lapisan Air

Penggantian ini dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan air yang terputus akibat kegiatan di sawah. Adapun ketentuan di dalam melakukan penggantian lapisan air adalah sebagai berikut (Anonim, 1986:165):

1. Setelah pemupukan diusahakan untuk menjadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan.

2. Jika tidak ada penjadwalan semacam itu, lakukan penggantian sebanyak 2 kali, masing-masing 50 mm (atau 3,3 mm/hr selama setengah bulan) selama satu bulan dan dua bulan setelah transplantasi.

### 2.5.7. Curah Hujan Efektif

Pengertian curah hujan efektif adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Curah hujan efektif merupakan sebagian saja dari curah hujan nyata.

Berdasarkan pengertian di atas, maka perlu dibedakan antara curah hujan efektif dengan curah hujan nyata:

1. Curah hujan nyata adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dalam kurun waktu tertentu.
2. Curah hujan efektif adalah sejumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya.

Nilai curah hujan efektif untuk masing-masing tanaman adalah sebagai berikut (Anonim, 1986:10):

1. Untuk tanaman padi, curah hujan efektif ditentukan sebesar 70% dari curah hujan 15 harian yang terlampaui 80% dari waktu dalam periode tersebut. Dirumuskan sebagai berikut:

$$Re = 0,7 \times R_{80} \quad (2-19)$$

2. Untuk tanaman palawija, curah hujan efektif adalah 50% dari curah hujan bulanan. Dirumuskan sebagai berikut:

$$Re = R_{50} \quad (2-20)$$

dimana:

$Re$  = curah hujan efektif (mm)

$R_{80}$  = curah hujan rancangan dengan probabilitas 80% (mm)

$R_{50}$  = curah hujan rancangan dengan probabilitas 50% (mm)

### 2.5.8. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Perhitungan kebutuhan air irigasi dilakukan dengan menggunakan metode standart perencanaan irigasi. Beberapa factor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air irigasi adalah:

1. Luas daerah irigasi
2. Pola tata tanam yang direncanakan
3. Evapotranspirasi potensial
4. Koefisien tanaman
5. Teknik pengolahan lahan
6. Perkolasi
7. Curah hujan efektif
8. Efisiensi irigasi

Tahap perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menggambar pola tata tanam sesuai dengan jenis tanaman dan waktu mulai tanam.
2. Menentukan koefisien tanaman sesuai dengan grafik periode umur tanaman.
3. Rerata koefisien tanaman dihitung dengan rumus:  
$$\text{Rerata} = \text{koefisien} : \text{jumlah koefisien}$$
4. Memasukkan harga evapotranspirasi potensial dari hasil perhitungan evapotranspirasi potensial dengan metode Penman yang telah dimodifikasi.
5. Menghitung penggunaan air konsumtif (PAK) dengan rumus:  
$$\text{PAK} = \text{rerata koefisien tanaman} \times \text{Eto}$$
6. Rasio luas penggunaan air konsumtif.
7. Penggunaan air konsumtif dengan rasio luas dihitung dengan rumus:  
$$\text{PAK rasio luas} = \text{PAK} \times \text{Rasio Luas}$$
8. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan.
9. Rasio luas penyiapan lahan.
10. Penyiapan lahan dengan rasio luas dihitung dengan rumus:  
$$\text{PL rasio luas} = \text{kebutuhan air untuk PL} \times \text{rasio luas PL}$$
11. Perkolasi dapat diketahui berdasarkan jenis tanah.
12. Penggantian lapisan air (WLR).
13. Rasio luas penggantian lapisan air.
14. Penggantian lapisan air dengan rasio luas dihitung dengan rumus:  
$$\text{WLR rasio luas} = \text{WLR} \times \text{rasio luas WLR}$$

15. Kebutuhan air kotor di sawah dihitung dengan rumus:

Keb. air kotor = PAKrasio luas + PL rasio luas + perkolasi + WLRrasio luas

16. Curah hujan efektif.

17. Kebutuhan air bersih di sawah (NFR).

## 2.6. Analisa Neraca Air

Analisa neraca air dilakukan untuk melihat apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi. Ada 3 unsur pokok dalam analisa neraca air, yaitu (Anonim, 1986:101):

- Tersediannya air.
- Kebutuhan air irigasi
- Neraca air.

Analisa neraca air akan sampai pada kesimpulan mengenai pola tata tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang direncanakan.

### 1. Tersediannya air

Dalam perencanaan jaringan irigasi air tanah, faktor tersedinya air yang dimaksud adalah debit optimum yang dihasilkan oleh sumur. Debit optimum sumur ini didapat dari perhitungan yang telah dijelaskan di atas.

### 2. Kebutuhan air irigasi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan air irigasi yaitu:

- Evapotranspirasi
- Koefisien tanaman
- Penggunaan air konsumtif
- Perkolasi
- Kebutuhan air untuk penyiapan lahan
- Penggantian lapisan air
- Curah hujan efektif

### 3. Neraca Air

Dalam perhitungan neraca air, kebutuhan air irigasi yang dihasilkan untuk pola tata tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit air yang tersedia. Apabila debit yang tersedia melimpah, maka luas daerah

irigasi akan terpenuhi kebutuhannya terhadap air. Bila debit yang tersedia tidak berlimpah dan kadang – kadang terjadi kekurangan debit, maka ada 3 pilihan yang harus dipertimbangkan (Anonim, 1986:108):

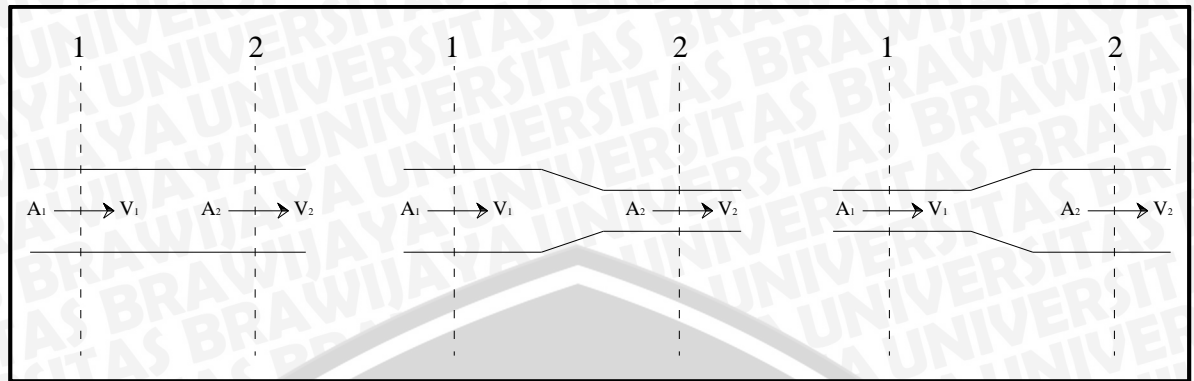
- Luas daerah irigasi dikurangi  
Pengurangan terhadap luas layanan irigasi yang akan dialiri oleh sumur.
- Melakukan modifikasi dalam pola tata tanam  
Dapat diadakan perubahan dalam pemilihan tanaman atau tanggal dimulainya tanam untuk mengurangi kebutuhan air irigasi di sawah, agar ada kemungkinan untuk mengairi areal yang lebih luas dengan debit yang tersedia.
- Rotasi teknis atau golongan  
Melakukan pembagian air secara rotasi atau golongan terhadap daerah layanan irigasi.

## **2.7. Analisa Hidrolika Jaringan Perpipaan**

Analisa jaringan perpipaan umumnya membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, keberadaan perangkat komputer (*software*) biasanya digunakan dalam membantu menganalisa jaringan tersebut. Dalam jaringan perpipaan, biasanya erat kaitannya dengan aspek hidrolika yang mempengaruhi hasil dari perhitungan atau perencanaan jaringan tersebut.

### **2.7.1. Hukum Kontinuitas**

Air yang mengalir dalam suatu pipa secara terus menerus yang mempunyai luas penampang ( $A$ )  $m^2$  dan kecepatan ( $V$ )  $m/det$  akan memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya. Dalam persamaan hukum kontinuitas dinyatakan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut:



**Gambar 2.7. Pipa Lurus, Penyempitan Pipa dan Pembesaran Pipa**

*Sumber: (Linsley, 1996:276)*

Hubungan antara hukum kontinuitas dengan ketiga bagan pada gambar di atas dapat ditunjukkan dengan dua persamaan berikut (Priyantoro, 1991:8):

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} \quad (2-21)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (2-22)$$

dengan:

$Q$  = debit yang mengalir ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

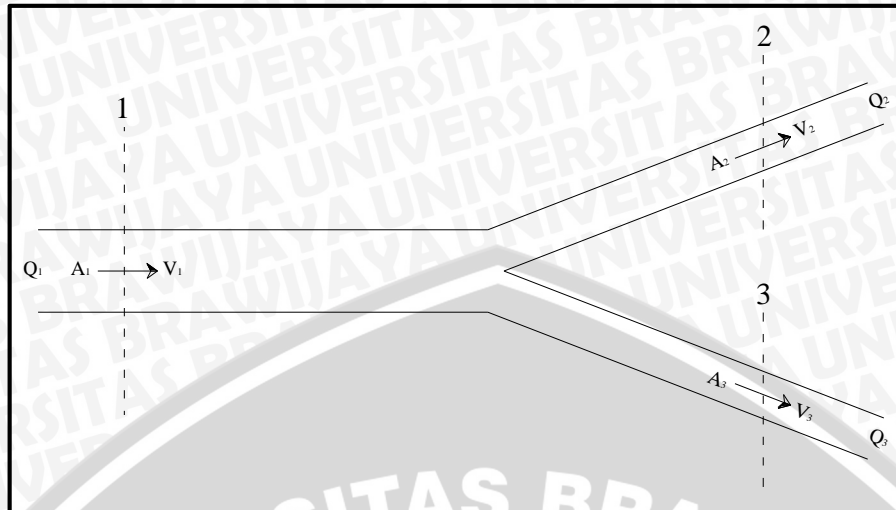
$V$  = kecepatan ( $\text{m}/\text{detik}$ )

Hal ini juga berlaku pada pipa bercabang. Hukum kontinuitas pada pipa bercabang, dimana debit yang masuk ke dalam pipa akan sama dengan penjumlahan dari debit-debit yang keluar dari percabangan pipa.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2-23)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 + A_3 \times V_3 \quad (2-24)$$

Hukum Kontinuitas pada pipa bercabang seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini:



**Gambar 2.8. Pipa bercabang**

Sumber: (Linsley, 1996:276)

Pada jaringan distribusi air bersih, pipa merupakan komponen yang utama. Pipa berfungsi sebagai sarana mengalirkan zat cair dari suatu titik simpul ke titik simpul yang lain. Aliran dalam pipa timbul bila terjadi perbedaan tekanan pada dua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakannya pompa.

### 2.7.2. Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Pada perencanaan jaringan pipa air tidak mungkin dapat dihindari adanya kehilangan tinggi tekan selama air mengalir melalui pipa tersebut. Kehilangan tinggi tekan dalam pipa dapat dibedakan menjadi kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*).

Dalam merencanakan sistem jaringan distribusi air baku, aliran dalam pipa harus berada pada kondisi aliran turbulen. Untuk mengetahui kondisi aliran dalam pipa turbulen atau tidak, dapat dihitung dengan identifikasi bilangan Reynold menggunakan persamaan berikut (Triatmodjo, 1993:4):

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (2-25)$$

dimana:

Re = bilangan Reynold

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan rerata (m/dt)

$\nu$  = kekentalan kinematik ( $\text{m}^2/\text{dt}$ )

kekentalan kinematik ( $\nu$ ) didapat dari tabel berikut:

**Tabel 2.8. Angka Kekentalan Kinetik ( $\nu$ )**

Suhu (°C)	Kekentalan Kinematik ( $\text{m}^2/\text{dt}$ )
0	$1,785 \times 10^{-6}$
5	$1,519 \times 10^{-6}$
10	$1,306 \times 10^{-6}$
15	$1,139 \times 10^{-6}$
20	$1,003 \times 10^{-6}$
25	$0,893 \times 10^{-6}$
30	$0,800 \times 10^{-6}$
40	$0,658 \times 10^{-6}$
50	$0,553 \times 10^{-6}$
60	$0,474 \times 10^{-6}$
70	$0,413 \times 10^{-6}$
80	$0,364 \times 10^{-6}$
90	$0,326 \times 10^{-6}$
100	$0,294 \times 10^{-6}$

Sumber: (Bentley, 2007)

Dari perhitungan bilangan Reynold, maka sifat aliran di dalam pipa dapat diketahui dengan kriteria sebagai berikut (Triatmodjo, 1993:5):

- $Re < 2000$  → aliran bersifat laminar
- $Re = 2000 - 4000$  → aliran bersifat transisi
- $Re > 4000$  → aliran bersifat turbulen

#### 1. Kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*)

Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain bergantung juga pada jenis pipa. Ada beberapa teori dan formula untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor ini yaitu dari Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Manning, Chezy, Colebrook-White dan Swamme-Jain. Adapun besarnya kehilangan tinggi tekan mayor dalam kajian ini dihitung dengan persamaan Hazen-Williams (Bentley, 2007):



$$Q = 0,354 \times C_{hw} \times A \times R^{0,63} \times S^{0,54} \quad (2-26)$$

$$V = 0,354 \times C_{hw} \times R^{0,63} \times S^{0,54} \quad (2-27)$$

$$H_L^{0,54} = \frac{2,82}{C} \times \frac{L^{0,54} \times V}{D^{0,63}} \quad (2-28)$$

dengan:

V = kecepatan aliran pada pipa (m/dt)

C<sub>hw</sub> = koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

A = luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

Q = debit aliran pada pipa (m<sup>3</sup>/dt)

L = panjang pipa (m)

S = kemiringan hidraulis

R = jari-jari hidrolis (m)

H<sub>L</sub> = kehilangan tekanan (m/km)

Dari persamaan  $Q = V \times A$ , maka didapatkan persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut Hazen-Williams adalah sebagai berikut:

$$h_f = k \times Q^{1,85} \quad (2-29)$$

dimana:

$$k = \frac{10,675 \times L}{C_{hw}^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (2-30)$$

dengan:

h<sub>f</sub> = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

k = koefisien karakteristik pipa

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C<sub>hw</sub> = koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

Q = debit aliran pada pipa (m<sup>3</sup>/dt)

**Tabel 2.9. Koefisien Kekasaran Pipa Hazen-Williams (C<sub>hw</sub>)**

No	Jenis Pipa	Nilai Koefisien
1	Pipa PVC	130-150
2	Pipa Asbes	120-150
3	Pipa Berlapis Semen	100-140
4	Pipa besi digalvani	100-120

5	Cast Iron	90-125
---	-----------	--------

Sumber: (Bentley, 2007)

## 2. Kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*)

Kehilangan energi minor diakibatkan oleh adanya belokan pada pipa sehingga menimbulkan turbulensi. Selain itu juga dikarenakan adanya penyempitan maupun pembesaran penampang secara mendadak. Hal tersebut umumnya dibangkitkan oleh adanya katup dan sambungan pipa atau *fitting* (Bentley, 2007).

Kehilangan minor pada umumnya akan lebih besar bila terjadi perlambatan kecepatan aliran di dalam pipa dibandingkan peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa (Linsley, 1989:273).

Adapun kehilangan tinggi tekan minor dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$h_{Lm} = k \times \frac{V^2}{g} \quad (2-31)$$

dimana:

$h_{Lm}$  = kehilangan tinggi minor (m)

$V$  = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

$k$  = koefisien kehilangan tinggi tekan minor

Besarnya nilai koefisien ( $k$ ) sangat beragam, tergantung dari bentuk fisik pengecilan, pembesaran, belokan, dan katup. Namun nilai  $k$  ini masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan. Adapun nilai  $k$  dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

**Tabel 2.10. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Minor Berdasarkan Perubahan Bentuk Pipa ( $k$ )**

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	$k$
-----------------------------	-----

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k
<b>Inlet</b>	
Bell mounth	0,03 – 0,05
Rounded	0,12-0,25
Sharp Edged	0,50
Projecting	0,80
<b>Pengecilan Tiba-tiba</b>	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,18
$D_2/D_1 = 0,50$	0,37
$D_2/D_1 = 0,20$	0,49
<b>Pengecilan Mengerucut</b>	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,05
$D_2/D_1 = 0,50$	0,07
$D_2/D_1 = 0,20$	0,08
<b>Pembesaran Tiba-tiba</b>	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,16
$D_2/D_1 = 0,50$	0,57
$D_2/D_1 = 0,20$	0,92
<b>Pembesaran Mengerucut</b>	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,03
$D_2/D_1 = 0,50$	0,08
$D_2/D_1 = 0,20$	0,13
<b>Belokan 90°</b>	
$R/D = 4$	0,16-0,18
$R/D = 2$	0,19-0,25
$R/D = 1$	0,35-0,40
<b>Belokan Tertentu</b>	
$\theta = 15^\circ$	0,05
$\theta = 30^\circ$	0,10
$\theta = 45^\circ$	0,20
$\theta = 60^\circ$	0,35
$\theta = 90^\circ$	0,80
<b>T (Tee)</b>	
Aliran searah	0,03-0,04
Aliran Bercabang	0,75-1,80
<b>Persilangan</b>	
Aliran searah	0,50

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k
Aliran Bercabang	0,75
<b>45° Wye</b>	
Aliran searah	0,30
Aliran bercabang	0,50

Sumber: (Bentley, 2007)

### 2.7.3. Belokan Pada Pipa

Kehilangan energi yang terjadi pada belokan pipa tergantung pada sudut belokan pipa. Rumus kehilangan energi pada belokan adalah serupa dengan rumus pada perubahan penampang, yaitu (Triatmodjo, 1993:64):

$$h_b = K_b \times \frac{v^2}{2g} \quad (2-32)$$

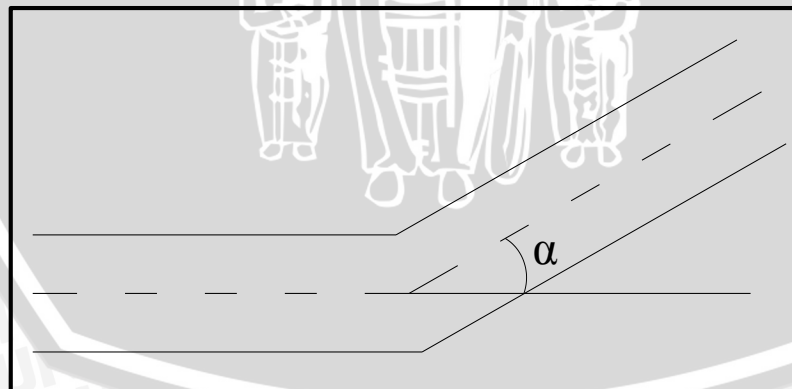
dimana:

$K_b$  = koefisien kehilangan energi pada belokan

**Tabel 2.11. Koefisien  $K_b$  sebagai fungsi sudut belokan  $\alpha$**

Sudut Belokan Pipa ( $\alpha$ )	20°	40°	60°	80°	90°
Koefisien $K_b$	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)



**Gambar 2.9. Sudut Belokan Pada Pipa ( $\alpha$ )**

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)

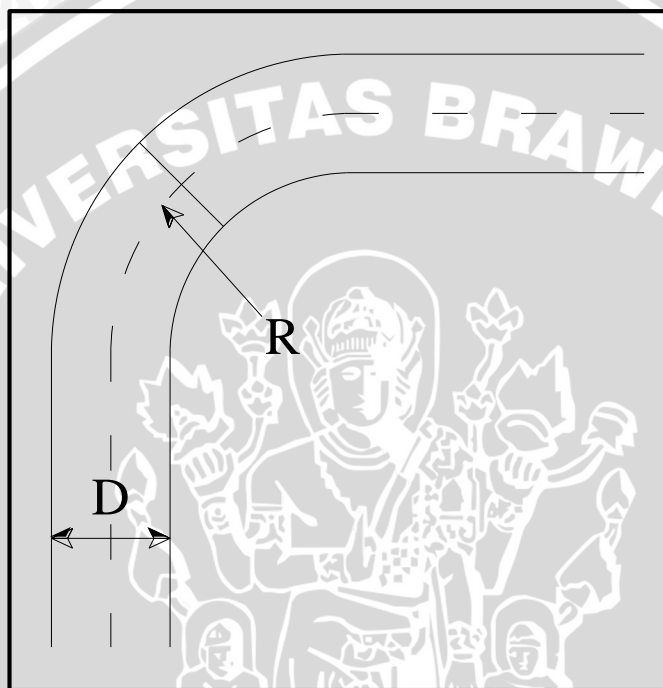
Untuk sudut belokan 90° dan dengan belokan halus (berangsur-angsur), kehilangan energi tergantung pada perbandingan antara jari-jari belokan dan

diameter pipa. Nilai  $k_b$  untuk berbagai nilai R/D diberikan dalam tabel di bawah ini:

**Tabel 2.12. Nilai  $K_b$  Sebagai Fungsi R/D**

R/D	1	2	4	6	10	16	20
Koefisien $K_b$	0,35	0,19	0,17	0,22	0,32	0,38	0,42

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)



**Gambar 2.10. Belokan Pipa 90°**

Sumber: (Triatmodjo, 1993:64)

#### 2.7.4. Kehilangan Energi Akibat Gesekan Dalam Pipa

Akibat gesekan antara air dengan dinding pipa bagian dalam, maka sebagian dari energi air tersebut berubah menjadi energi panas, dimana panas ini keluar dan diserap udara luar. Oleh karena itu perubahan energi panas ini sering disebut dengan kehilangan energi.

Persamaan yang sering digunakan untuk menghitung kehilangan energi akibat gesekan di dalam pipa adalah persamaan Darcy-Weisbach (Triatmodjo, 1993:35):

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2-33)$$

dimana:

$f$  = koefisien gesekan

$L$  = panjang pipa (m)

$D$  = diameter pipa (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )

Untuk aliran laminer koefisien gesekan mempunyai bentuk seperti pada persamaan berikut (Triatmodjo, 1993:35):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2-34)$$

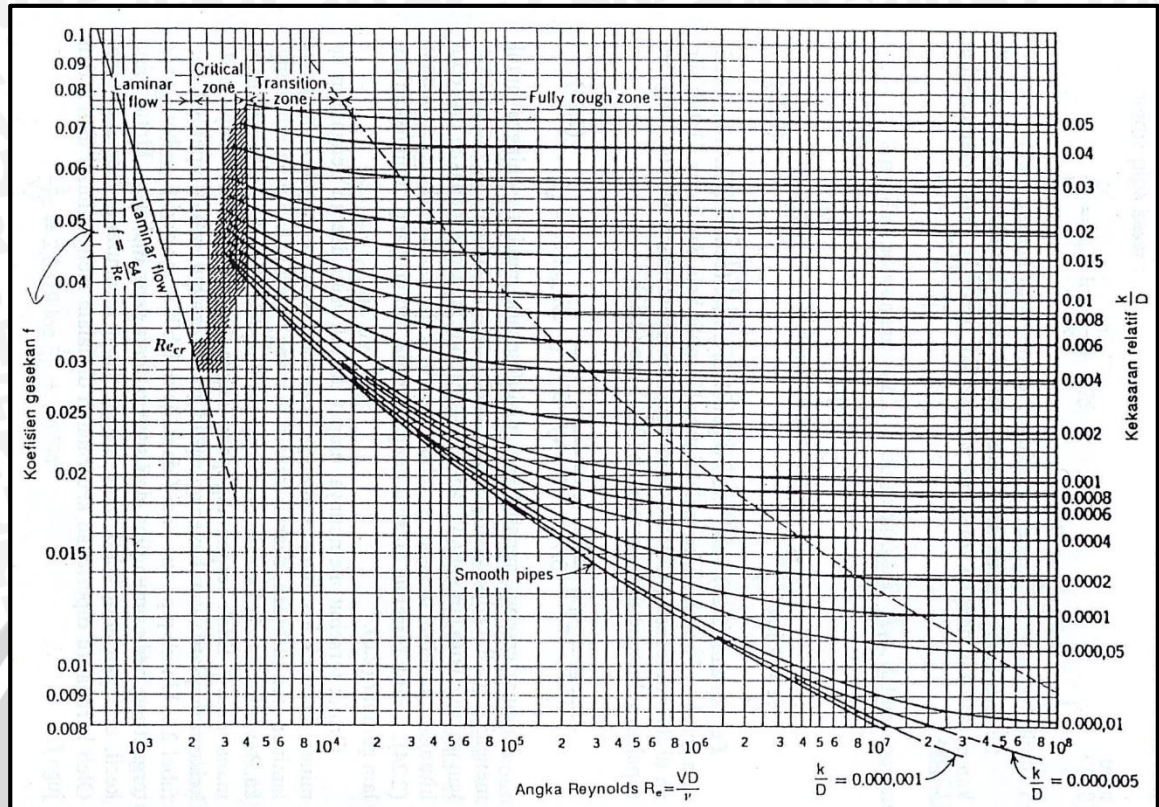
dimana:

$Re$  = bilangan Reynold

Yang dimaksud dengan koefisien gesekan dari persamaan Darcy-Weisbach ini adalah ukuran dari kekasaran pipa. Koefisien gesekan ini, selain tergantung pada angka Reynold juga tergantung dari kekasaran pipa yang digunakan dan temperatur air. Dengan bertambah kasar pipa, makin besar pula nilai koefisien gesekan pipa dan berarti makin besar pula kehilangan tekanan yang terjadi. Sedangkan makin tinggi temperatur air makin kecil nilai koefisien gesekan pipa.

Seperti yang dikatakan di atas bahwa koefisien gesekan pipa untuk aliran laminer dapat dicari dengan persamaan (2-50), sedangkan untuk aliran transisi dan turbulen, koefisien gesekan pipa dapat dicari dengan menggunakan grafik Moody pada gambar di bawah ini:





**Gambar 2.11. Grafik Moody**  
 Sumber: (Triatmodjo, 1993:40)

**2.7.5. Sarana Pendukung Jaringan Perpipaan**

Jaringan perpipaan yang kompleks membutuhkan suatu perencanaan yang detail dan terkonsep. Oleh karena itu, diperlukan sarana pendukung untuk menyempurnakan perencanaan jaringan perpipaan tersebut. Penggunaan komponen dan sistem jaringan yang tepat tentu akan berdampak pada kinerja dari jaringan perpipaan yang direncanakan. Pipa yang digunakan dalam jaringan perpipaan harus dilengkapi dengan alat bantu agar bisa berfungsi dengan baik, seperti (Wahyudi, 2012:35):

**1. Sambungan antar pipa**

- Mangkok (*bell*) dan lurus (*spigol*)  
*Spigol* dari suatu pipa dimasukkan ke dalam *bell(socket)* pipa lainnya untuk menghindari kebocoran.
- Belokan (*bend/elbow*)  
 Digunakan untuk mengubah arah dari arah lurus dengan sudut perubahan standar yang merupakan sudut dari belokan tersebut.

- *Flange joint*

Biasanya untuk pipa yang bertekanan tinggi, pada sambungan yang dekat dengan pompa perlu disiapkan *packing* diantara *flange* untuk mencegah kebocoran.

- Perlengkapan *Tee* dan perlengkapan “Y”

Digunakan untuk menyambung pipa yang bercabang dengan sudut 90° (*Tee*) dan sudut 45° (“Y”).

- *Increaser* dan *reducer*

*Increaser* digunakan untuk menyambung pipa sari diameter kecil ke pipa yang berdiameter lebih besar. Sedangkan *Reducer* digunakan untuk menyambung pipa dari diameter besar ke diameter yang lebih kecil.

## 2. Katup (*valve*)

- *Flow Control Valve* (FCV)

Digunakan untuk membatasi aliran pada nilai debit tertentu yang melalui katup dari hulu ke hilir. Hal ini dimaksudkan untuk membatasi permintaan maksimum pada suatu titik agar tidak mempengaruhi kinerja dan kapasitas sistem.

- *Pressure Reducer Valve* (PRV)

Digunakan untuk menanggulangi tekanan yang terlalu besar di hilir katup dari nilai yang ditetapkan pada titik khusus agar tidak merusak sistem. Jika tekanan di hilir naik melebihi nilai tekanan batas, PRV akan menutup dan akan terbuka penuh bila tekanan di hulu lebih rendah dari nilai yang ditetapkan pada katup tersebut.

- *Throttle Control Valve* (TCV) atau katup pengatur tenaga.

Katup jenis ini digunakan untuk mengontrol *minor losses* yang berubah dalam setiap waktu.

- *Pressure Sustaining Valve* (PSV)

Digunakan untuk mempertahankan tekanan yang ditetapkan pada titik khusus dalam jaringan pipa. PSV akan menutup apabila tekanan di hilir melebihi tekanan di hulu dan akan terbuka penuh jika tekanan hilir lebih tinggi dari yang ditetapkan.



- Katup penguras

Dipasang pada pipa transmisi yang elevasinya paling rendah pengurasan pipa agar kotoran yang mengendap pada pipa dapat dibuang dengan mudah.

### 3. Meter air

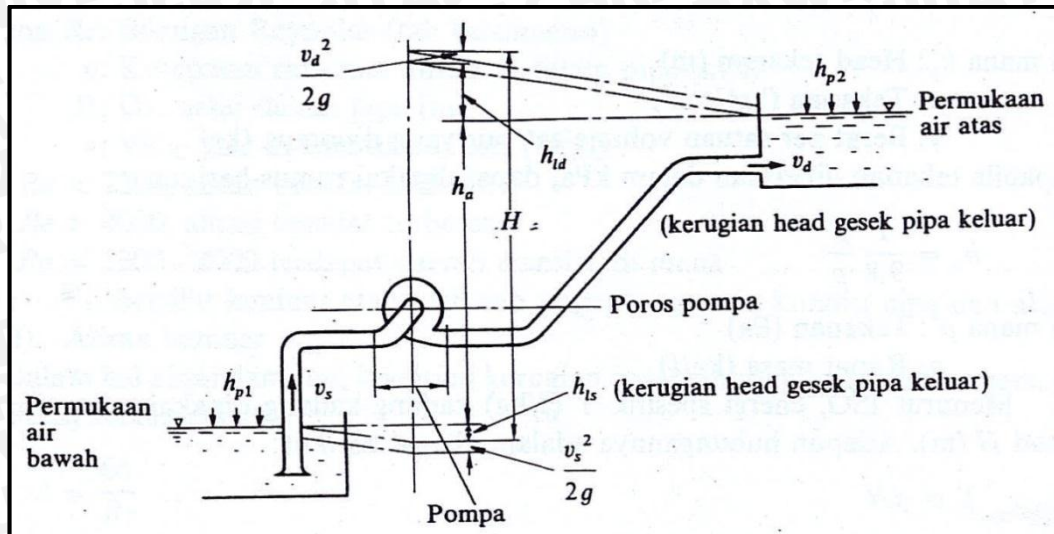
Meter air digunakan untuk mengetahui debit atau jumlah aliran yang mengalir dalam pipa. Salah satu manfaat penggunaan meter air pada sistem jaringan perpipaan adalah untuk mengetahui jumlah air yang mengalir ke konsumen.

## 2.8. Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang tinggi. Sedangkan pemompaan adalah penambahan energi untuk memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang tinggi. Pada pemompaan energi berubah dari energi mekanik menjadi energi hidrolik.

### 2.8.1. Total Head Pompa

Dalam operasinya pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh system pipa. Kurva head kapasitas dari pompa menyatakan kemampuan pompa untuk menentukan head yang besarnya tergantung pada kapasitas. Besarnya head sistem yaitu head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem adalah sama dengan head untuk mengatasi kerugian gesek ditambah head statis sistem. Head statis ini adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair pada tadah isap dan tadah keluar.



**Gambar 2.12. Total Head Pompa**

*Sumber: (Sularso, 2000:27)*

Total head pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan dapat ditentukan berdasarkan kondisi instalasi yang akan dilayani pompa. Perhitungan total head pompa dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (Sularso, 2000:26).

$$H = h_f + h_{lm} + Z_b + \frac{v^2}{2 \times g} \quad (2-35)$$

dimana:

$H$  = total head pompa (m)

$h_f$  = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

$h_{lm}$  = kehilangan tinggi tekan minor (m)

$Z_b$  = perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan sisi isap

$\frac{v^2}{2 \times g}$  = head kecepatan keluar (m)

### 2.8.2. Head Isap Positif Neto (NPSH)

Bila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya, maka pompa akan mengalami kavitasi. Untuk menghindari kavitasi diusahakan agar tidak ada satu bagianpun dari aliran di dalam pompa yang mempunyai tekanan statis lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Sebagai ukuran keamanan pompa terhadap

kavitasi digunakan Head Isap Positif Neto atau *Net Positive Suction Head* (NPSH). Ada dua macam NPSH yaitu sebagai berikut (Sularso, 2000:44):

### 1. NPSH yang tersedia

NPSH yang tersedia adalah head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa (ekuivalen dengan tekanan mutlak pada sisi isap pompa) dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair di tempat tersebut. Besarnya NPSH yang tersedia dapat ditulis sebagai berikut:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{ls} \quad (2-36)$$

dimana:

$h_{sv}$  = NPSH yang tersedia (m)

$P_a$  = tekanan atmosfir ( $\text{kgf/m}^2$ )

$P_v$  = tekanan uap jenuh ( $\text{kgf/m}^2$ )

$\gamma$  = berat zat cair per satuan volume ( $\text{kgf/m}^3$ )

$h_s$  = head isap statis (m)

$h_s$  adalah positif (bertanda +) jika pompa terletak di atas permukaan zat cair yang diisap dan negatif (bertanda -) jika pompa terletak di bawah permukaan zat cair yang diisap

$h_{ls}$  = kerugian head di dalam pipa isap (m)

### 2. NPSH yang diperlukan

Agar tidak terjadi penguapan zat cair maka tekanan pada lubang masuk pompa dikurangi penurunan tekanan di dalam pompa harus lebih tinggi dari pada tekanan uap zat cair. Head tekanan yang besarnya sama dengan penurunan tekanan ini disebut NPSH yang diperlukan. Besarnya NPSH yang diperlukan setiap pompa berbeda-beda. Harga NPSH yang diperlukan biasanya diperoleh dari pabrik pompa yang bersangkutan atau dari hasil percobaan prototype dan model test.

## 2.9. Pengoperasian Pompa

Pompa harus selalu dalam keadaan siap dioperasikan. Oleh karena itu, pengoperasiannya serta pengawasannya diusahakan sesederhana mungkin agar lebih mudah menghindari gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. Untuk

menjaga keawetan pompa dari pengoperasian terus menerus, maka ditetapkan jam operasi maksimum pompa sebesar 21 jam/hari. Untuk kebutuhan air irigasi yang berbeda-beda setiap periode akan menyebabkan perbedaan lamanya pompa harus beroperasi. Jam operasi pompa dapat dihitung dari persamaan (Nurkartika, 2001:23):

$$V_P = V_t \quad (2-37)$$

dengan:

$$V_P = IR \times P \times A \quad (2-38)$$

$$V_t = Q \times P \quad (2-39)$$

dimana:

$$P = 15 \times t \times 60 \times 60 \quad (2-40)$$

sehingga:

$$IR \times P \times A = Q \times 15 \times t \times 60 \times 60 \quad (2-41)$$

dengan:

$V_P$  = volume air yang diperlukan dalam satu periode ( $m^3$ )

$V_t$  = volume air yang tersedia dalam satu periode ( $m^3$ )

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

$A$  = luas area untuk satu unit sumur (ha)

$P$  = jumlah hari dalam satu periode = 15 hari

$IR$  = kebutuhan air irigasi ( $m^3/dt/ha$ )

$t$  = jam operasi pompa (jam)

## 2.10. Sistem Pemberian Air

### 2.10.1. Pemberian Air Empat Blok Rotasi

Metode pembagian air pada petak tersier yang dibagi atas empat blok rotasi adalah petak tersier dibagi menjadi empat blok rotasi yaitu:

- Blok 1
- Blok 2
- Blok 3
- Blok 4

Dimana tiap blok diusahakan agar luasnya hampir sama. Ada empat macam cara pemberian air yaitu (Walujo, 1979:34):

1. Pembagian air secara terus menerus (*continous flowing*), dilakukan bila  $Q = 80\% Q_{max}$ .
2. Rotasi I (satu blok tidak diairi , tiga blok lainnya diairi) dilakukan bila  $Q = 60\% - 80\% Q_{max}$ .

Pemberian air pada blok rotasi 1, 2, 3, dan 4 dibagi menjadi empat periode selama 14 hari atau 336 jam.

- Periode I : blok 1, 2 dan 3 diairi, sedangkan blok 4 tidak diairi.

Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_I = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-42)$$

dimana:

$P_I$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode II : blok 2, 3 dan 4 diairi, sedangkan blok 1 tidak diairi.

Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_{II} = \frac{A_2 + A_3 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-43)$$

dimana:

$P_{II}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode III : blok 1, 3 dan 4 diairi, sedangkan blok 2 tidak diairi.

Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_{III} = \frac{A_1 + A_3 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-44)$$

dimana:

$P_{III}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode IV : blok 1, 2 dan 4 diairi, sedangkan blok 3 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:34):

$$P_{IV} = \frac{A_1 + A_2 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times \frac{336}{3} \quad (2-45)$$

dimana:

$P_{IV}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

3. Rotasi II (dua Blok tidak diairi, dua blok lainnya diairi) dilakukan bila  $Q = 40\% - 60\% Q_{max}$ .

Pemberian air dibagi menjadi dua periode selama waktu tujuh hari atau 168 jam, agar mendapatkan hasil yang baik maka supaya diatur agar kedua blok yang digabungkan total luasnya hampir sama, misalnya dengan cara blok yang sama luasnya terkecil digabung dengan blok yang luasnya terbesar.

- Periode I : blok 1 dan 3 diairi, sedangkan blok 2 dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_I = \frac{A_1 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-46)$$

dimana:

$P_I$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode II : blok 2 dan 4 diairi, sedangkan blok 1 dan 3 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{II} = \frac{A_2 + A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-47)$$

dimana:

$P_{II}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

4. Rotasi III (Tiga Blok tidak diairi, satu blok lainnya diairi) dilakukan bila  $Q = 40\% Q_{max}$ .

Pemberian air dibagi menjadi empat periode untuk waktu tujuh hari atau 168 jam.

- Periode I : blok 1 diairi, sedangkan blok 2, 3 dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_I = \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-48)$$

dimana:

$P_I$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode II : blok 2 diairi, sedangkan blok 1, 3, dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{II} = \frac{A_2}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-49)$$

dimana:

$P_{II}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode III : blok 3 diairi, sedangkan blok 1, 2, dan 4 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{III} = \frac{A_3}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-50)$$

dimana:

$P_{III}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

- Periode IV : blok 4 diairi, sedangkan blok 1, 2, dan 3 tidak diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_{IV} = \frac{A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \times 168 \quad (2-51)$$

dimana:

$P_{IV}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3, A_4$  = Luas blok 1, 2, 3, dan 4 (ha)

### 2.10.2. Pemberian Air Tiga Blok Rotasi

Metode pembagian air pada petak tersier yang dibagi atas tiga blok rotasi adalah petak tersier dibagi menjadi tiga blok rotasi yaitu:

- Blok 1
- Blok 2
- Blok 3

Dimana tiap blok diusahakan agar luasnya hampir sama. Ada tiga macam cara pemberian air yaitu (Walujo, 1979:35):

1. Pembagaian air secara terus menerus (*continous flowing*), dilakukan bila  $Q = 80\% Q_{max}$ .
2. Rotasi I (satu blok tidak diairi, dua blok lainnya diairi) dilakukan bila  $Q = 50\% - 80\% Q_{max}$ .

Pemberian air dibagi menjadi tiga periode selama waktu tujuh hari atau 168 jam.

- Periode I : blok 3 tidak diairi, sedangkan blok 1 dan 2 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:35):

$$P_I = \frac{A_1 + A_2}{A_1 + A_2 + A_3} \times \frac{168}{2} \quad (2-52)$$

dimana:

$P_I$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3$  = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode II : blok 2 tidak diairi, sedangkan blok 1 dan 3 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_{II} = \frac{A_1 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \times \frac{168}{2} \quad (2-53)$$

dimana:



$P_{II}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3$  = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode III : blok 1 tidak diairi, sedangkan blok 2 dan 3 diairi.

Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut

(Walujo, 1979:36):

$$P_{III} = \frac{A_2 + A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \times \frac{168}{2} \quad (2-54)$$

dimana:

$P_{III}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3$  = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

3. Rotasi II (dua blok tidak diairi, satublok lainnya diairi) dilakukan bila  $Q = 50\% Q_{max}$ .

Pemberian air dibagi menjadi tiga periode selama waktu tujuh hari atau 168 jam.

- Periode I : blok 2 dan 3 tidak diairi, sedangkan blok 1 diairi.

Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut

(Walujo, 1979:36):

$$P_I = \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3} \times 168 \quad (2-55)$$

dimana:

$P_I$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3$  = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode II : blok 1 dan 3 tidak diairi, sedangkan blok 2 diairi.

Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut

(Walujo, 1979:36):

$$P_{II} = \frac{A_2}{A_1 + A_2 + A_3} \times 168 \quad (2-56)$$

dimana:

$P_{II}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3$  = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

- Periode III : blok 1 dan 2 tidak diairi, sedangkan blok 3 diairi. Lamanya pemberian air dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Walujo, 1979:36):

$$P_{III} = \frac{A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \times 168 \quad (2-57)$$

dimana:

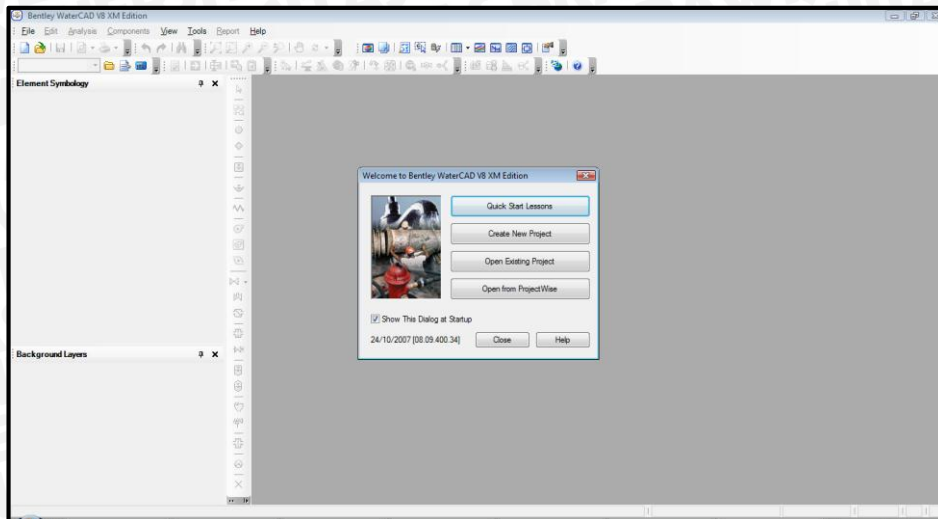
$P_{III}$  = lamanya pemberian air (jam)

$A_1, A_2, A_3$  = Luas blok 1, 2, dan 3 (ha)

### 2.11. Program Aplikasi *WaterCAD ver 8 XM Edition*

Program *waterCAD ver 8XM edition* merupakan produksi dari Bentley dengan jumlah pipa yang mampu dianalisis yaitu lebih dari 250 buah pipa sesuai dengan spesifikasi program tersebut. Program *waterCAD ver 8XM edition* memiliki tampilan yang memudahkan pengguna untuk menyelesaikan lingkup perencanaan dan pengoptimalisasian sistem jaringan perpipaan, seperti:

- menganalisis jaringan perpipaan pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
- menganalisis tahapan-tahapan simulasi pada sistem jaringan terhadap adanya kebutuhan air yang berfluktuatif menurut waktu (kondisi tidak permanen).
- menganalisis kualitas air pada sistem jaringan perpipaan.
- menghitung konstruksi biaya dari sistem jaringan perpipaan yang dibuat.
- Setiap pembukaan awal program *waterCAD ver 8 XM edition*, akan diperlihatkan sebuah *dialog box* yang disebut *welcome dialog*. Kotak tersebut memuat *quick start leason*, *create newproject*, *open existing project* serta *open from project wise* seperti terlihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.13. Tampilan Welcome Dialog Pada WaterCAD ver 8 XM Edition**

*Quick start lesson* digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCAD ver 8XM edition* akan menuntun kita memahami cara menggunakan program ini. Dan *create new project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru.

### 1. Pembuatan lembar kerja

Pembuatan lembar kerja baru pada program ini dapat dilakukan dengan memilih *create new project* pada *welcome dialog*. Setelah masuk ke dalam lembar kerja baru tampilkan *background layers* dengan cara klik kanan *background layers – new – file* dan pilih *file dxf*. Selanjutnya *file dxf* terpilih masuk dalam *dxf. properties* dan unit diganti dalam meter. *Background Layers* muncul dalam tampilan maka perencanaan atau penggambaran jaringan bisa dilakukan. Proses selanjutnya mengisi data-data teknis dan pemodelan komponen-komponen sistem jaringan perpipaan yang dipakai dalam penggambaran.

### 2. Pemodelan komponen sistem jaringan perpipaan

Komponen-komponen sistem jaringan perpipaan seperti titik reservoir, pipa, titik simpul (*junction*), tandon dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *waterCAD ver 8XM edition* telah memberikan penamaan setiap komponen tersebut secara otomatis yang dapat diganti sesuai dengan keperluan agar memudahkan dalam pengerjaan suatu

komponen tertentu. Adapun jenis-jenis pemodelan komponen sistem jaringan tersebut sebagai berikut:

a. Pemodelan mata air (*reservoir*)

Pada program *waterCAD ver 8XM edition*, *reservoir* (R) digunakan sebagai model dari suatu sumber air. *Reservoir* dimodelkan sebagai sumber air yang tidak bisa habis atau elevasi air selalu berada pada elevasi konstan pada saat berapapun kebutuhan airnya. Data yang dibutuhkan untuk memodelkan *reservoir* (R) adalah kapasitas debit dan elevasi mata air tersebut.

b. Pemodelan tandon (*watertank*)

Untuk pemodelan tandon (T) diperlukan beberapa data yaitu ukuran bentuk dan elevasi tandon. Data elevasi yang dibutuhkan oleh tandon meliputi tiga macam yaitu elevasi maksimum, elevasi minimum dan elevasi awal kerja (*initial elevation*) dimana elevasi awal kerja harus berada pada kisaran elevasi minimum dan elevasi maksimum.

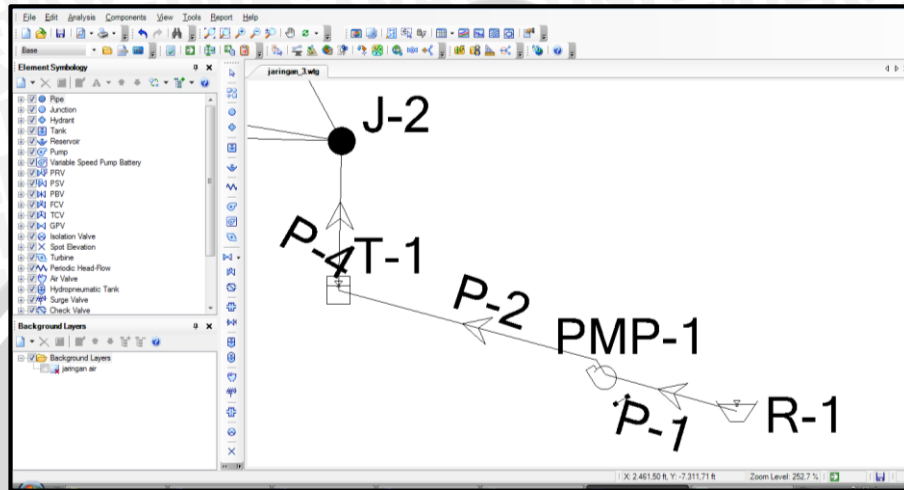
c. Pemodelan titik-titik simpul (*junction*)

Titik simpul merupakan suatu simbol yang mewakili atau komponen yang bersinggungan langsung dengan konsumen dalam hal pemberian air baku. Ada dua tipe aliran pada titik simpul ini, yaitu berupa kebutuhan air (*demand*) dan berupa aliran masuk (*inflow*). Jenis aliran yang berupa kebutuhan air baku digunakan bila pada simpul tersebut ada pengambilan air, sedangkan aliran masuk digunakan bila pada titik simpul tersebut ada tambahan debit yang masuk. Data yang dibutuhkan sebagai masukan bagi titik simpul antara lain elevasi titik simpul dan data kebutuhan air baku pada titik simpul tersebut.

d. Pemodelan pipa

Pipa adalah suatu komponen yang menghubungkan katup (*valve*), titik simpul, pompa dan tandon. Untuk memodelkan pipa, memerlukan beberapa data teknis seperti jenis bahan, diameter dan panjang pipa. Jenis bahan pipa telah disediakan sehingga dapat dipilih secara langsung sesuai dengan jenis bahan pipa yang digunakan. Sedangkan diameter dan panjang pipa dapat dirancang sesuai dengan kondisi di

lapangan. Apabila diatur secara skalatis, maka ukuran panjang pipa secara otomatis berubah sesuai dengan perbandingan skala ukuran yang dipakai. Sedangkan dalam pengaturan skematis, panjang pipa dapat diatur tanpa memperhatikan panjang pipa di layar komputer.



Gambar 2.14. Komponen Jaringan Perpipaan

### 3. Perhitungan dan analisis sistem jaringan perpipaan

Setelah jaringan tergambar dan semua komponen tertata sesuai dengan yang direncanakan, maka untuk menganalisis sistem jaringan tersebut dilakukanlah *running program (calculate)*.

Time (hours)	Balanced?	Totals	Relative Flow Change	Flow Supply
1 All Time Steps...	True	152	0.0008045	
1 00:00:00	True	2	0.0000006	
1 00:05:00	True	3	0.0005478	
1 00:10:00	True	3	0.0004653	
1 01:00:00	True	10	0.0000952	
1 01:17:00	True	3	0.0003386	
1 02:00:00	True	10	0.0000098	
1 02:15:25	True	3	0.0002232	
1 03:00:00	True	10	0.0000078	
1 03:39:37	True	3	0.0001448	
1 04:00:00	True	10	0.0000059	
1 05:00:00	True	2	0.0000057	
1 06:00:00	True	3	0.0004319	
1 07:00:00	True	2	0.0000002	

Gambar 2.15. Tampilan Hasil Running Program (calculate)

