

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Serangkaian kegiatan penyediaan air bersih perlu memperhatikan beberapa faktor diantaranya analisis kebutuhan air bersih (*demand for water*), *layout* instalasi penyediaan air bersih dan beberapa faktor lain seperti sosial ekonomi lingkungan populasi yang akan dilayani.

#### **2.2 Analisis Kebutuhan Air Bersih**

Suatu wilayah dengan jumlah populasi yang lebih besar akan menggunakan lebih banyak air daripada daerah yang populasinya lebih kecil dan air yang digunakan untuk melayani suatu populasi berkaitan dengan jumlah populasi.

Perkiraan penggunaan air didasarkan pada proyeksi populasi, beberapa metode dalam memproyeksikan populasi tidak selalu memuaskan. Penggunaan air juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ; iklim, tingkat ekonomi, kepadatan populasi, tingkat industrialisasi, biaya, tekanan dan kualitas penyediaan. Teknik proyeksi telah dikembangkan sehubungan dengan penggunaan air

Dalam memperkirakan permintaan yang akan datang harus selalu diawali dengan mempertimbangkan penggunaan air masa sekarang. Untuk memperluas kemungkinan, penggunaan air harus dirinci kedalam kelas penggunaan (domestik, komersial, industri, publik), luas wilayah, tingkat ekonomi pengguna, musim pada tahun tersebut dan lain sebagainya. Populasi merupakan faktor yang relevan dalam memperkirakan penggunaan air yang mendatang, sehingga perlu diprediksi perkiraan populasi yang akan datang. Periode proyeksi populasi berkisar dari 5 hingga 50 tahun.(McGhee, 1991)

Dalam memperkirakan populasi yang akan datang tidak mungkin 100% tepat, sehingga dalam memperkirakan populasi yang akan datang dipilih metode yang paling memungkinkan dan beralasan.

##### **2.2.1 Metode Grafik dan Least Square**

Metode grafik dipergunakan dengan cara memplotkan data populasi pada tahun sebelum perkiraan ke depan, kemudian dipilih grafik yang cenderung sesuai

dengan pola perkembangan populasi. Setelah dipilih grafik yang sesuai, kemudian dapat diperkirakan populasi ke depan. Hal tersebut dilakukan dengan memperpanjang grafik tersebut (Al Layla, M. Anis, Ahmad, Shamim 1980).

Adapun bila dipilih bentuk geometri grafik yang sesuai, maka dapat dilakukan uji secara analitis dengan menggunakan metode *least square*. Dengan menggunakan metode *least square* ini dapat diketahui tingkat korelasi antara kedua variable atau lebih, yang mana variable tersebut adalah jumlah populasi dengan waktu.

### 2.2.2 Metode Aritmetika

Metode aritmetika, didasarkan pada anggapan bahwa laju perubahan populasi konstan, yang dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut (McGhee1991).

$$\frac{dP}{dt} = K \quad (2.1)$$

dengan proses integral persamaan di atas menjadi

$$P_f = P_i + K \cdot (t_f - t_i) \quad (2.2)$$

- Dimana :
- $P_f$  = jumlah populasi akhir waktu rencana
  - $P_i$  = jumlah populasi awal waktu rencana
  - $K_t$  = konstanta pertumbuhan populasi aritmetik
  - $t_f$  = satuan waktu diakhir rencana ( bulan, tahun )
  - $t_i$  = satuan waktu diawal rencana ( bulan, tahun )

### 2.2.3 Penetapan Daerah Pelayanan

Dalam menentukan daerah atau lokasi pelayanan ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut ( Ditjen Cipta Karya ) :

- Rencana pengembangan lokasi layanan dan rencana tata guna lahan, dimana lokasi pengembangan tersebut termasuk dalam daerah pelayanan.
- Kepadatan populasi, merupakan factor penting yang mempengaruhi kebutuhan.
- Konstruksi fasilitas atau unit bangunan lainnya yang berada di sekitar rencana lokasi pelayanan.

## 2.2.4 Standar Pemakaian Air

Standar pemakaian air berfungsi untuk memberikan patokan atau acuan bagi penentuan kebutuhan air yang akan direncanakan, disesuaikan dengan beberapa parameter yang ada. Berikut standar pemakaian air yang diperlukan untuk menentukan perkiraan kebutuhan air tersebut, lihat tabel 2.1

**Tabel 2.1. Kriteria Pemakaian Air Bersih**

No.	Parameter	Metro	Besar	Sedang	Kecil
I.	Tingkat pemakaian air (liter/orang/hari)	190	170	150	130
	- Sambungan rumah (SR)	30	30	30	30
	- Kran umum (KU)				
II.	Kebutuhan Non Domestik :				
	1. Industri (lt/det/ha)				
	- Berat	0,50 – 1,00			
	- Sedang	0,25 – 0,50			
	- Ringan	0,15 – 0,25			
	2. Komersil (lt/det/ha)				
	- Pasar	0,1 – 1,00			
	- Hotel (lt/km/hari)				
	3. Lokal	400			
	4. Iternasional	1000			
	5. Sosial Dan Industri				
	- Universitas (lt/siswa/hari)	20			
	- Sekolah (lt/siswa/hari)	15			
	- Masjid (m <sup>3</sup> /hari/unit)	1 – 2			
	- Rumah Sakit (lt/hari)	400			
	- Puskesmas (m <sup>3</sup> /hari/unit)	1 – 2			
	- Kantor (lt/detik/hari)	0,01			
	- Militer (m <sup>3</sup> /hari/ha)	10			
III.	Kebutuhan Hari rata - rata	Kebutuhan dosmetik + non dosmetik			
IV.	Kebutuhan Hari maksimum	Kebutuhan hari rata-rata * 1,1 – 1,50 (faktor jam maksimum)			
V.	Kehilangan Air				
	- Kota Metro dan Besar	25 % * kebutuhan rata - rata			
	- Kota Sedang dan Kecil	30 % * kebutuhan rata - rata			
VI.	Kebutuhan Jam Puncak	Kebutuhan rata-rata *faktor jam puncak (1,15 - 3)			

Sumber : Pedoman Perencanaan Air Bersih (Ditjen Cipta Karya)

## 2.3 Analisis Kualitas Sumber Air

Pada umumnya kriteria perencanaan air bersih ditentukan pada beberapa standar yang ada pada beberapa negara (Sutrisno, 1991), hal tersebut didasarkan pada:

- Kondisi negara masing – masing.
- Perkembangan ilmu pengetahuan.
- Perkembangan teknologi.

Dengan standar pemakaian di negara Indonesia. Dari segi kualitas, air bersih harus memenuhi beberapa syarat yang meliputi syarat fisik, syarat kimia, dan syarat bakteriologi. Secara umum diuraikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Syarat kualitas air bersih**

<b>Kualitas Air Bersih</b>		
<b>Syarat Fisik</b>	<b>Syarat Kimia</b>	<b>Syarat Bakteriologik</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak boleh berwarna</li> <li>• Air tidak boleh berasa</li> <li>• Air tidak boleh berbau</li> <li>• Suhu air hendaknya <math>\pm 25^{\circ}\text{C}</math></li> <li>• Air harus jernih</li> </ul>	<p>Air minum tidak boleh mengandung racun, zat – zat mineral atau zat – zat kimia tertentu dalam jumlah melampaui batas yang telah ditentukan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak boleh mengandung bakteri pathogen</li> <li>• Tidak boleh mengandung bakteri golongan <i>coli</i> (<math>&lt; 1 coli/100</math> ml air). Pemeriksaan dengan indikator bakteri golongan <i>coli</i></li> </ul>

(Sumber : Sutrisno, 1991)

#### 2.4 Sistem Transmisi

Sistem transmisi adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menyalurkan air bersih dari tempat pengambilan (*intake*) sampai tempat pengolahan atau dari tempat pengolahan ke jaringan distribusi. Metode transmisi dapat dikelompokkan menjadi :

- Sistem gravitasi

Sistem ini digunakan apabila kondisi persediaan berada pada elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan unit distribusi. (Babbitt, Harold E.1960)

- Sistem pompa

Prinsip sistem ini adalah dengan memberikan energi pada aliran air, sehingga air dapat mencapai unit distribusi yang memiliki elevasi lebih tinggi dibandingkan dengan sumber persediaan. (Babbitt, Harold E.1960)

Kombinasi antara kedua metode di atas dapat dipergunakan dalam sistem transmisi bila keadaan di lapangan memungkinkan untuk memakai metode tersebut. Dalam pentransmisi persediaan harus diperhatikan kelemahannya seperti kebocoran, oleh karena itu jumlah persediaan maksimum harian harus dijadikan standar dalam pengoperasiannya.

**Tabel 2.3. Standar Kualitas Air Minum**

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	
			Permenkes RI No.416/Menkes/Per/IX/1990(lama)	Kepmenkes Ri No. 907/Menkes/SK/VII/2002(baru)
I	<u>FISIKA</u>			
1.	Warna	TCU	15	15
2.	Rasa dan Bau	-	Tdk berasa/berbau	Tdk berasa/berbau
3.	Temperatur	°C	Suhu udara ±3°C	Suhu udara ±3°C
4.	kekeruhan	NTU	5	5
II	<u>KIMIA</u>			
1.	Antimony	-	Tidak dipersyaratkan	0,005
2.	Air raksa	mg/l	0,001	0,001
3.	Arsenic	mg/l	0,05	0,01
4.	Barium	mg/l	1	0,7
5.	Boron	mg/l	Tidak dipersyaratkan	0,3
6.	Cadmium	mg/l	0,005	0,003
7.	Chromium	mg/l	0,005	0,01
8.	Tembaga	mg/l	1	2
9.	Sianida	mg/l	0,1	0,07
10.	Flourida	mg/l	1,5	1,5
11.	Timah	mg/l	Tidak dipersyaratkan	0,01
12.	Molybdenum	mg/l	Tidak dipersyaratkan	0,07
13.	Nikel	mg/l	Tidak dipersyaratkan	0,02
14.	Nitrat	mg/l	10	50
15.	Nitrit	mg/l	1	3
16.	Selium	mg/l	0,01	0,01
17.	Ammonia	mg/l	Tidak dipersyaratkan	1,5
18.	Alumunium	mg/l	0,2	0,2
19.	Khlorida	mg/l	250	250
20.	Copper	mg/l	1	1
21.	Kesadahan	mg/l	500	500
22.	Hidrogen Sulfida	mg/l	0,05	0,05
23.	Besi	mg/l	0,3	0,3
24.	Mangan	mg/l	0,1	0,1
25.	pH	-	6,5-8,5	6,5-8,5
26.	Sodium	mg/l	200	200
27.	Sulfat	mg/l	400	250
28.	Total padatan	mg/l	1000	1000
29.	Terlarut	mg/l	5	3
30.	Seng	mg/l	-	600-1000
31.	Chlorine	mg/l	0,05	Tidak dipersyaratkan
32.	Perak	mg/l	0,05	Tidak dipersyaratkan
33.	Timbal Zat Organik (KmnO <sub>4</sub> )	mg/l	10	Tidak dipersyaratkan

(Sumber : PDAM Kota Semarang)

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum Yang Diperbolehkan	
			Permenkes RI No.416/Menkes/Per/IX/1990(lama)	Kepmenkes Ri No. 907/Menkes/SK/VII/2002(baru)
III				
1.	<b>BAKTERIOLOGIS</b>			
	Koliform Tinja			
	➤ Pada air minum	Jml/100 ml	0	0
	➤ Pada air yang masuk sistem distribusi	Jml/100 ml	Tidak dipersyaratkan	0
	➤ Pada sistem distribusi	Jml/100 ml	Tidak dipersyaratkan	0
2.	Total Koliform			
	➤ Pada air minum	Jml/100 ml	0	Tidak dipersyaratkan
	➤ Pada air yang masuk sistem distribusi	Jml/100 ml	Tidak dipersyaratkan	0
	➤ Pada sistem distribusi	Jml/100 ml	Tidak dipersyaratkan	0

(Sumber : PDAM Kota Semarang)

## 2.5 Sistem Distribusi Air

### 2.5.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem penyaluran atau pembagian dengan menyediakan sejumlah air dari *storage* ke konsumen. Sistem distribusi yang ekstensif diperlukan untuk menyalurkan air ke masing-masing konsumen dalam jumlah yang dibutuhkan dengan tekanan yang cukup.

#### 1. Sistem Reservoir Distribusi

Sistem Reservoir Distribusi adalah sistem pembagian air kepada konsumen dengan menggunakan reservoir, baik menggunakan sistem transmisi gravitas maupun sistem transmisi pompa.

Fungsi reservoir :

- Tempat menampung dan menyimpan air.
- Pusat distribusi untuk disalurkan ke jaringan lain.
- Pemerataan aliran dan tekanan akibat perbedaan perbedaan pemakaian di daerah distribusi.

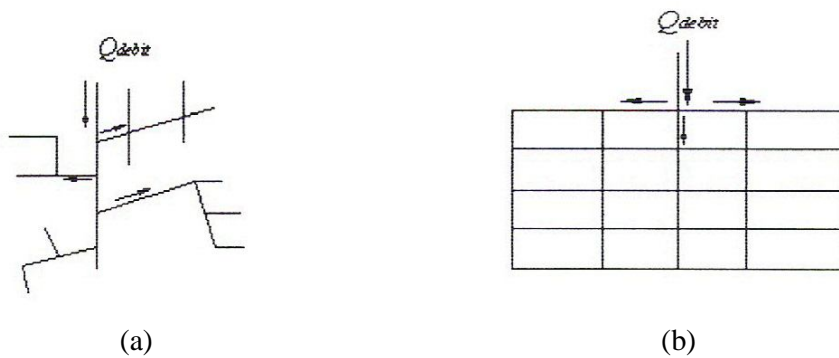
#### 2. Sistem Pipa Distribusi

Sistem Pipa Distribusi adalah sistem pembagian air kepada konsumen dengan menggunakan pipa. Dalam hal ini perlu diperhatikan besarnya kehilangan energi yang terjadi, sehingga tidak mengurangi debit yang ada.

### 2.5.2 Pola Distribusi

Pola distribusi sebagai bentuk (*form*) dari sistem pipa distribusi (*network of pipes*) yang meliputi :

1. *Dead-ends pattern*, pola ini mirip percabangan pada pohon. Keuntungan pola ini adalah kesederhanaannya dan ukuran pipa yang diinginkan cukup ekonomis. Serta kerugian pola ini adalah mudah timbulnya sedimentasi, apabila terjadi perbaikan maka dimungkinkan daerah layanan mengalami gangguan yang bersifat sementara dan ketidakcukupan tekanan air bilamana terjadi penambahan daerah layanan (Gambar 2.1a).



**Gambar 2.1.** Pola Distribusi

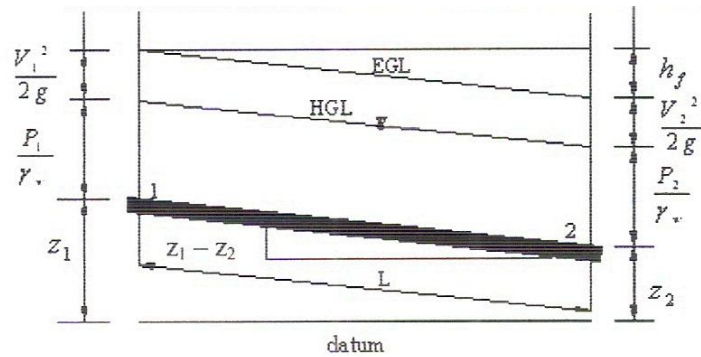
2. *Grid Pattern*, pola ini lebih unggul dibanding dengan *dead-ends pattern*. Keuntungan pola ini yakni air bebas mengalir lebih dari satu arah dan apabila terjadi perbaikan maka daerah layanan masih dapat dilayani dengan baik. Kerugiannya yakni mengenai perhitungan ukuran pipa dan peralatan lainnya (Gambar 2.1b).

### 2.6 Sistem Saluran (*Conduit*)

Dasar analisis perhitungan saluran umumnya mempergunakan persamaan Bernoulli dan persamaan kontinuitas sebagai berikut :

$$+ \text{---} + \text{---} = + \text{---} + \text{---} + h \dots\dots\dots(2.3)$$

$$= \dots\dots\dots(2.4)$$



**Gambar 2.2.** Unsur-unsur dalam persamaan Bernoulli

Secara umum saluran penyediaan air bersih dibedakan menjadi dua bagian :

- Saluran terbuka

Didefinisikan sebagai media penghantar *fluida* (dalam hal ini air) dengan keadaan bahwa permukaan air berhubungan langsung dengan udara. Sehingga tekanan air yang mengenai permukaan air adalah nol, misalnya kanal.

- Saluran tertutup

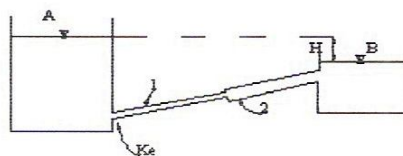
Didefinisikan sebagai media penghantar *fluida* (cair, gas) dengan keadaan bahwa *fluida* tersebut terisolasi dari keadaan luar. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem pada *fluida* tidak berhubungan langsung dengan lingkungannya, misalnya pipa.

Oleh karena dari segi keamanan (*safety*), maka cenderung dipilih dengan memakai saluran tertutup (dalam hal ini jalur perpipaan).

## 2.7 Analisis Perpipaan

### 2.7.1 Tipe Pemipaan

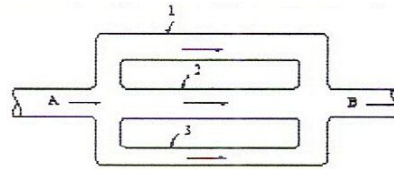
Rangkaian pipa seri, prinsipnya debit sepanjang pipa seri adalah sama yang berbeda hanyalah kecepatannya. Hal ini dikarenakan dimensi pipa berlainan (Gambar 2.10).



**Gambar 2.3.** Sistem pipa seri



Sedangkan pada rangkaian pipa paralel, prinsipnya debit yang menuju ke titik percabangan sama dengan debit yang meninggalkan titik percabangan (Gambar 2.11).



Gambar 2.4. Sistem pipa paralel

### 2.7.1.1 Perhitungan Kehilangan Tekanan (*head loss*) Pipa Tunggal

Air yang mengalir dalam jalur pipa akan mengalami kehilangan energi (*energy grade line*), hilangnya energi tersebut secara garis besar dibedakan menjadi 2 bagian utama yaitu : *major loss* dan *minor loss* (J.K., Robert, 2002).

Adapun mengenai *major loss* disebabkan oleh adanya *friksi fluida* (air) dengan bagian dalam saluran. Sedangkan untuk *minor loss* disebabkan adanya perubahan penampang meliputi pelebaran dan penyempitan, belokan, katup yang menyebabkan hilangnya energi dalam *fluida* yang mengalir.

Bentuk kehilangan energi akibat gesekan (*friction*) dalam analisis aliran air pada pipa, persamaan yang akan digunakan diantaranya (J.K., Robert, 2002) :

- Persamaan Darcy- Weisbach, yang dirumuskan

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :  $h$  = head loss akibat gesekan (meter)

$f$  = faktor gesek (tak berdimensi)

$L$  = panjang pipa (meter)

$D$  = diameter pipa (meter)

$V$  = kecepatan aliran (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi (m/dt)

persamaan Colebrook-White, yang dirumuskan untuk mencari harga  $f$  (*friction*)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{k}{3.7D} + \frac{2.5}{\sqrt{Re}} \right] \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :  $k$  = kekasaran efektif dinding dalam pipa (meter)

$D$  = diameter dalam pipa (*inner diameter*) (meter)

= bilangan Reynolds =  $\frac{V \cdot D}{\nu}$  dengan  $\nu$  adalah kekentalan kinematis cairan ( $m^2/dt$ ).

Nilai  $f$  di atas dapat juga dicari dari diagram *Moody*. Untuk kehilangan minor akibat penyempitan (*contraction*) dirumuskan :

$$h = K_c \frac{V_2^2}{2g} \dots \dots \dots (2.7)$$

- dimana :  $h$  = *head loss* akibat penyempitan (meter)
- = koefisien kehilangan energi akibat penyempitan (tak berdimensi)
- = kecepatan rerata di bagian hilir ( $m/dt$ )

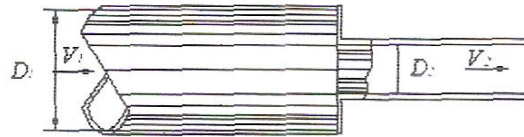
Untuk nilai  $K_c$  dapat diperoleh dengan menentukan rasio  $\frac{D_2}{D_1}$ , dapat dilihat pada tabel

2.4.

**Tabel 2.4.** Koefisien Kehilangan Akibat Penyempitan

$\frac{D_2}{D_1}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$K_c$	0,5	0,45	0,38	0,28	0,14	0,0

(Sumber : Kodoatie, Robert J., Hidrolika Terapan pada saluran terbuka dan tertutup)



**Gambar 2.5.** Kondisi penyempitan

Untuk kehilangan minor akibat pelebaran (*expansion*) dirumuskan :

$$h = K_e \frac{V_1^2}{2g} \dots \dots \dots (2.8)$$

=  $1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4$ , merupakan koefisien ekspansi.



**Gambar 2.6.** Kondisi pelebaran

Dan untuk kehilangan minor melewati katup maupun aksesoris lainnya dalam pemipaan (*fitting*), dirumuskan :  $h = K_L \frac{V^2}{2g}$ , dengan  $K_L$  koefisien tinggi hilang yang besarnya tergantung jenis aksesoris yang terpasang. (lihat tabel 2.5)

**Tabel 2.5.** Koefisien Kehilangan *fitting* tertentu

No.	Fitting	Keterangan	
1.	Katup bola ( <i>Globe valve</i> )	Terbuka penuh	10.0
2.	Katup bersudut ( <i>Angle valve</i> )	Terbuka penuh	5.0
3.	Katup searah ( <i>Swing check valve</i> )	Terbuka penuh	2.5
4.	Katup gerbang ( <i>Gate valve</i> )	Terbuka penuh	0.2
5.	Penyambung siku ( <i>Short-radius elbow</i> )	Berjari-jari pendek	0.9
6.	Penyambung siku ( <i>Medium-radius elbow</i> )	Berjari-jari medium	0.8
7.	Penyambung siku ( <i>Long-radius elbow</i> )	Berjari-jari panjang	0.6
8.	Penyambung siku ( <i>45 degree elbow</i> )	45 derajat	0.4
9.	<i>Closed return bend</i>		2.2
10.	Penyambung T ( <i>Standard tee-flow through run</i> )	Aliran menerus	0.6
11.	Penyambung T ( <i>Standard tee-flow through branch</i> )	Aliran bercabang	1.8
12.	Masukan persegi ( <i>Square entrance</i> )	-	0.5
13.	Keluaran ( <i>Exit</i> )	-	1.0

(Sumber : Epanet User Manual, 2000)

- Persamaan Hazen Williams, yang dirumuskan :

$$h = \frac{10,675 \cdot L \cdot Q^m}{C^2 \cdot D^5} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan

$$= \frac{10,675}{C^2 \cdot D^5} \dots \dots \dots (2.10)$$

untuk n = 1,852 dan m = 4,8704.

Dimana : *h* = head loss akibat gesekan (meter)

*R* = faktor gesek tak berdimensi)

*L* = panjang pipa (meter)

*D* = diameter pipa (meter)

*Q* = laju aliran (m<sup>3</sup>/dt)

*C* = angka kekasaran (lihat tabel 2.6)

Dengan nilai *C* besarnya adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.6.** Nilai *C* pada rumus Hazen Williams

<i>C</i>	Keadaan
140	Pipa lurus licin istimewa, semen asbes
130	Pipa sangat licin, beton, besi tuang baru
120	Papan kayu, baja yang dilas baru
110	Tanah liat dikacakan, baja dikeling yang baru
100	Besi tuang setelah dipakai bertahun-tahun
95	Baja dikeling setelah dipakai bertahu-tahun
68-80	Pipa lama dalam keadaan buruk

(Sumber : L, Streeter Victo; Wylie, E. Benjamin, Mekanika Fluida)

### 2.7.1.2 Kriteria Kecepatan dan Tekanan Aliran Dalam Pipa

Pada sistem pengaliran air baik dalam sistem pentransmision maupun pendistribusian harus memperhatikan kriteria teknis yakni besarnya tekanan dan kecepatan aliran pada pipa. Sedangkan untuk dapat mengetahui besarnya kedua nilai di atas, salah satunya harus diketahui besarnya ukuran diameter yang akan dipasang.

Untuk menghitung diameter pipa dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Hazen Williams persamaan 2.20. Dalam mendisain kecepatan, dilakukan setelah didapat diameter awal (berdasar kecepatan awal asumsi) tidak boleh terlalu besar ataupun kecil.

**Tabel 2.7.** Kecepatan aliran air dalam pipa

Kecepatan minimum	V min	0,3 - 0,6 m/det
Kecepatan maksimum Pipa PVC atau ACP	V.max	3,0 - 4,5 m/det
Pipa baja atau DCIP	V.max	6,0 m/det

(Sumber : Permen PU 18/2007)

Selanjutnya dalam sistem distribusi yang perlu diperhatikan adalah batas tekanan maksimum pada titik terjauh yang akan dilayani. Hal tersebut diperlukan agar pada titik terjauh dapat memperoleh kecukupan (*head/pressure*) ketersediaan air secara optimal.

### 2.7.1.3 Kriteria Pemilihan Jalur Pipa

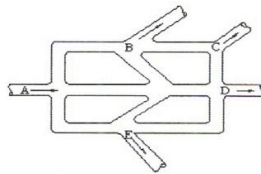
Dalam perencanaan sistem pengaliran air bersih dengan perpipaan perlu dilakukan survei pendahuluan terhadap kondisi lapangan sehingga lebih memudahkan dalam penetapan jalur pipa. Dalam mendesain jalur pipa harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Desain dimana aliran air pada titik-titik dengan jarak terpendek, paling mudah dalam pengerjaan dan resiko terkecil.
2. Desain yang optimal secara hidrolika, dengan jalur pemipaan memerlukan energi paling kecil. Sehingga secara praktis dalam mendesain harus :
  - Memanfaatkan kondisi alam secara maksimal yaitu dengan memanfaatkan kondisi topografi daerah perencanaan.
  - Menggunakan pipa yang mempunyai nilai headloss yang kecil.
  - Meminimalkan penggunaan pipa.
  - Meminimalkan penggunaan aksesoris dan kelengkapan pipa lainnya.

### 2.7.1.4 Perhitungan Kalang Distribusi (Analisis Jaringan Perpipaan)

Analisis perhitungan pada sistem jaringan pipa memerlukan penyelesaian coba- coba dengan menyeimbangkan rangkaian dasar secara bergantian sampai semua syarat-syarat alirannya dipenuhi (L. Streeter, V & Wylie E. Benjamin, 1985).

- Jumlah aljabar penurunan tekanan seputar tiap rangkaian harus sama dengan nol.
- Aliran ke tiap titik hubung harus sama dengan aliran yang meninggalkan titik hubung tersebut.
- Persamaan Darcy-Weisbach, atau rumus gesekan eksponensial yang sederajat, harus dipenuhi untuk tiap pipa.



Gambar 2.7 Sistem jaringan pipa

Untuk perhitungan diberikan oleh rumusan perhitungan dengan menggunakan metode Hardy cross, yang didasarkan pada persamaan :

$$Q = \sum \Delta Q$$

Dengan besarnya nilai  $\Delta Q$  dirumuskan oleh persamaan :

$$\Delta Q = - \frac{\sum r Q^n}{\sum n r Q^{n-1}}$$

Dimana :  $\Delta Q$  = nilai ralat atau koreksi debit (satuan  $m^3/dt$ )

= nilai debit pada kondisi awal perkiraan (satuan  $m^3/dt$ )

r = nilai yang dirumuskan

n = nilai yang besarnya 1,852 – 2

Langkah-langkah dalam prosedur perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan distribusi aliran terbaik yang memenuhi kontinuitas dengan memperhatikan jaringan secara seksama.
2. Untuk tiap pipa dalam suatu rangkaian dasar, dijumlahkan kerugian tinggi tekan bersih  $\sum h = \sum r Q^n$ . Dihitung juga  $\sum n r Q^{n-1}$  untuk rangkaian, kemudian dimasukkan dalam persamaan  $\Delta Q$  di atas, yang selanjutnya ditambahkan secara aljabar tiap aliran dalam rangkaian untuk mengkoreksinya.

3. Dilanjutkan dengan rangkaian dasar lainnya dan diulangi proses koreksi 2. Diteruskan untuk seluruh rangkaian dasar.
4. Diulangi langkah 2 dan 3 sampai koreksi atau nilai  $\Delta Q$  sekecil yang dikehendaki.

Langkah perhitungannya dilakukan dengan menggunakan *software* yakni program EPANET versi 2.0, diperlukan untuk menghindari kesalahan manual (*human error*) yang terjadi.

### **2.7.2 Material Pipa**

Seperti halnya pada struktur bangunan seperti baja ataupun beton, pipa juga terdiri dari beberapa jenis yang didasarkan pada material penyusunnya. Adapun jenis pipa yang digunakan tersebut diantaranya :

1. Pipa besi tuang.
2. Pipa baja.
3. Pipa plastik.
4. Pipa beton.
5. Pipa dari bahan asbestos.

Semua jenis pipa di atas memiliki karakteristik yang berbeda-beda, baik dari segi keuntungan maupun kerugian.

### **2.7.3 Reservoir**

Dari saluran transmisi, air ditampung dalam *reservoir* (tandon) untuk diteruskan pada konsumen. Dalam penempatan *reservoir*, tergantung dari kondisi lingkungan sekitar. *Reservoir* bisa ditempatkan pada lokasi instalasi pengolahan, diakhir sistem transmisi atau dekat dengan sistem distribusi. Dengan bentuk dapat berupa *reservoir* di bawah tanah (*underground*), di atas tanah (*ground level*) dan *reservoir* yang ditinggikan (*elevated tower*).

Adapun kriteria penempatan *reservoir* menurut Japan Water Work Association, 1978 sebagai berikut :

1. Lokasi harus menampung air minimum yang berarti lokasi harus cukup untuk desain *reservoir* yaitu dari segi luas lokasi penempatan.
2. *Reservoir* harus didukung oleh kondisi topografi dan faktor geologi yang baik.

3. Pembangunan diupayakan bersifat ekonomis, dimana untuk *elevated reservoir/tower* yang besar tidak ekonomis sehingga desain *reservoir* bukan akumulasi kebutuhan perhari namun keseimbangan volume kebutuhan.
4. Tidak memiliki efek negatif terhadap lingkungan.

Kemudian dalam merencanakan kapasitas *reservoir* dapat ditentukan dari segi komponen penentu *reservoir* meliputi besarnya cadangan air untuk kestabilan dan besarnya cadangan untuk keadaan darurat. Serta termasuk tinjauan dari variasi sistem pengaliran dan waktu pemompaan. Dengan volume *reservoir* terdiri dari :

- *Emergency volume*, diperlukan untuk perencanaan pemeliharaan sistem, bila terjadi kegagalan dalam produksi atau jaringan dan untuk kebutuhan pemadam kebakaran.
- *Dead volume*, volume ini tidak pernah digunakan namun berguna untuk menghindari *reservoir* dari kekeringan. Umumnya mempunyai ketinggian  $\pm 15$  cm terukur dari dasar *reservoir* (bagian dalam), sedangkan bila terjadi pengoperasian dengan pompa maka kedalaman yang harus dipenuhi adalah  $-+0,1$  meter.
- Volume untuk pompa, digunakan apabila pompa dioperasikan dengan beberapa pompa. Hal ini dikhawatirkan jika pada saat pompa bekerja dan tidak dengan kedalaman yang sama akan menyebabkan terjadinya *fluktuasi* kedalaman air di *reservoir*.

Sedangkan beberapa rumusan yang digunakan dalam perencanaan *reservoir* adalah :

1. Volume total *reservoir* (V), oleh standar dari Ditjen Cipta Karya, tahun 1985 ditentukan bahwa besarnya volume *reservoir* adalah 30 – 40 % dari total kebutuhan harian maksimum.
2. Volume tiap *reservoir*, ini dimaksudkan bilamana terjadi kombinasi pengoperasian *reservoir*. Misalnya dalam sistem yang ada dikombinasikan antara *ground reservoir* dengan *elevated reservoir*, yang tiap-tiap besarnya adalah  $0,667*V$  dan  $0,333V$ .

### 2.7.4 Pompa

Pompa merupakan alat yang digunakan untuk mengalirkan *fluida* ke tingkat yang lebih tinggi atau tingkat yang sama. Prinsipnya adalah dengan menambahkan sejumlah tekanan/energi tertentu pada *fluida* agar dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Beberapa bentuk head dalam perhitungan pompa diantaranya :

1. *Static Suction Head* ( $h_s$ ) adalah jarak vertikal dari permukaan air yang dihisap dengan pusat pompa.
2. *Static Discharge Head* ( $h_d$ ) adalah jarak vertikal antara datum pompa dengan permukaan air pada sisi keluarannya air.
3. *Static Head* ( $h_s$ ) adalah perbedaan elevasi antara cairan tekan dengan cairan hisap.
4. *Friction Head* ( $f_d$ ) adalah *head* yang dikenakan pada air untuk mengatasi *friction loss* akibat aliran *fluida* yang melalui sistem perpipaan.
5. *Velocity Head* ( $V^2/2g$ ) adalah *head* yang timbul diakibatkan oleh air untuk menjaga kecepatan. Ini merupakan kecepatan yang ditambahkan ke *fluida* dengan pompa.

Adapun perhitungan *head* pompa dapat ditinjau dari dua keadaan, pertama kondisi muka air yang akan dipompa di bawah pompa dan kedua muka air di atas pompa.

- Kondisi pertama :

$$H = \quad + \quad + \quad + \quad - \dots\dots\dots(2.11)$$

- Kondisi kedua :

$$H = \quad - \quad + \quad + \quad - \dots\dots\dots(2.12)$$

Besarnya daya pompa yang dibutuhkan yaitu ;

$$P = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} \text{ (Watt) } \dots\dots\dots(2.13)$$

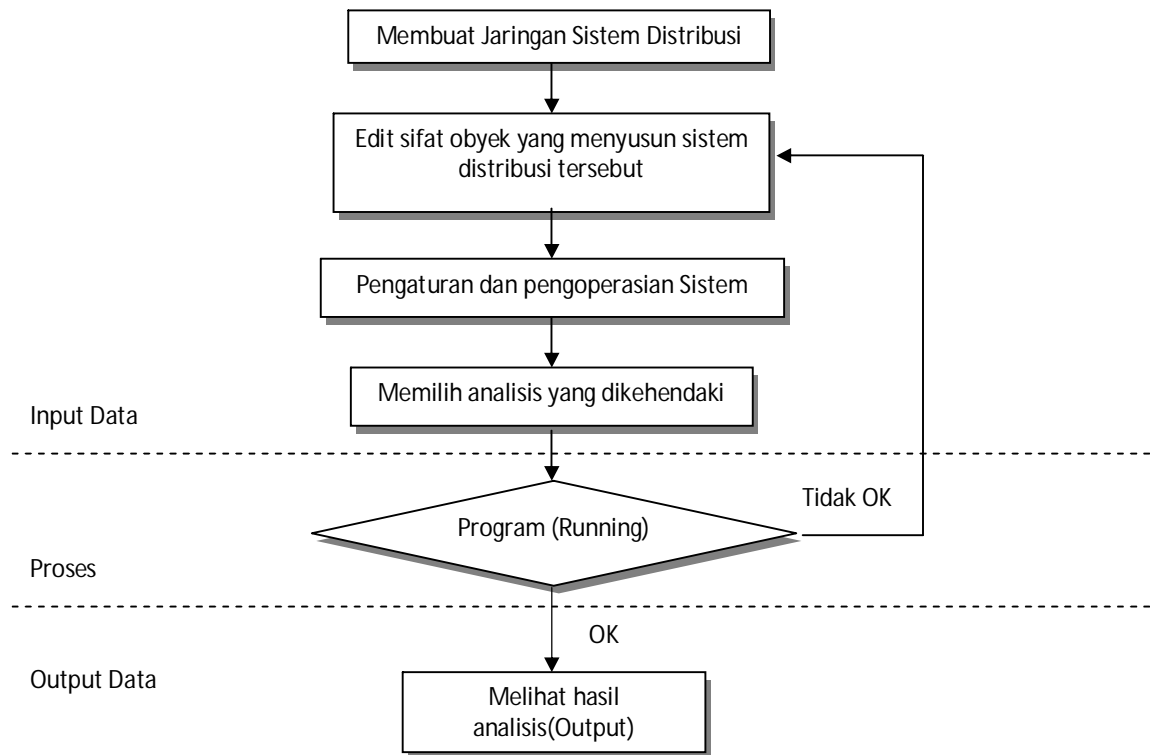
$$P = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} \text{ (Hp) } \dots\dots\dots(2.14)$$

- Dimana : P = daya yang dibutuhkan (*Watt/Horse power*)  
 = berat jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )  
 Q = debit air ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )  
 H = tinggi total/*head* (meter)



### 2.7.5 Aplikasi EPANET

Metode yang dipergunakan dalam analisis pendistribusian air bersih yaitu dengan memakai program EPANET versi 2.0. program tersebut merupakan program komputer (*software*) dengan tampilan Windows yang dapat melakukan simulasi periode tunggal atau majemuk dari perilaku hidrolis dan kualitas air pada jaringan pipa bertekanan. Dengan analisis simulasi yaitu melacak aliran air (*flow*) pada pipa, tekanan (*pressure*) di setiap titik (*node*), kedalaman (*height*) air dalam tangki serta konsentrasi bahan kimia dalam sistem distribusi air bersih maupun air minum.

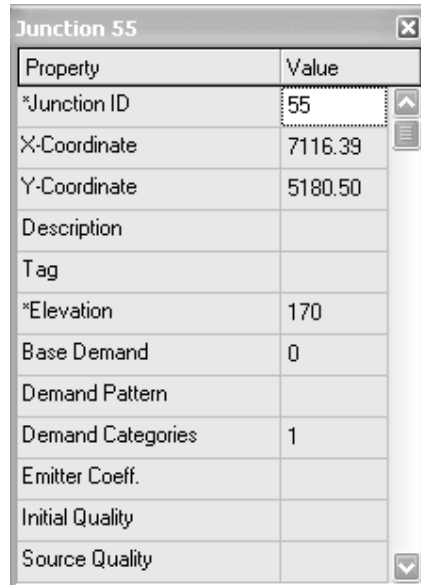


**Gambar 2.8** Diagram Langkah Pengoperasian EPANET

Dengan penjelasannya pada tiap bagian (*input, proses dan output*) yaitu :

1. Membuat jaringan sistem distribusi atau mengimport file jaringan (dalam bentuk *text file*). Maksudnya adalah dalam tampilan windows EPANET dapat dibuat skema jaringan pendistribusian yang dikehendaki maupun dapat dilakukan dengan mengambil jaringan yang sudah ada (tersimpan dalam format/program lain) misalnya *computer aided drawing (CAD)* atau *geography information system (GIS)*.
2. Mengedit sifat objek atau komponen fisik yang terlihat dalam sistem distribusi. Yang termasuk komponen fisik dalam sistem distribusi diantaranya:

- *Junctions* adalah titik – titik yang merupakan tempat penyambungan antar *links* (pipa, pompa dan katup) sekaligus penanda masuk maupun keluarnya air dalam jaringan distribusi dengan format input pada *junction* seperti terlihat pada gambar 4.3



**Gambar 2.9** *junction editor*

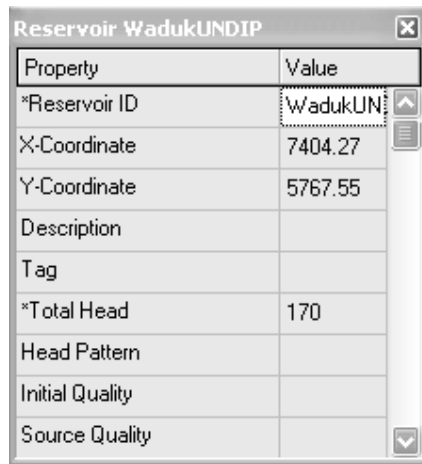
Mengenai keterangan istilah (property) pada kotak input di atas dijelaskan pada tabel 4.1.

**Tabel 2.8** *junction's property*

<i>property</i>	Penjelasan
Identitas <i>junction/mode</i> (ID)	Label penanda <i>junction</i> . Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar node satu dengan lainnya.
X-Koordinat	Lokasi dalam arah horizontal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak)
Y-koordinat	Lokasi dalam arah vertikal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak)
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu
Elevasi	Ketinggian dalam kaki atau meter diukur dari datum tertentu (biasanya MSL)
Kebutuhan dasar	Kebutuhan nominal atau rata-rata air yang diambil dinyatakan dalam satuan debit
Pola kebutuhan	Label pola waktu dipakai untuk mengetahui keragaman kebutuhan air.
<i>property</i>	Penjelasan
Kategori Kebutuhan	Untuk menandai termasuk dalam kebutuhan domestik atau nondomestik dari kebutuhan yang dimasukkan dalam input tersebut.
<i>Emitter coefficient</i>	Koefisien debit pada emmitter ( <i>sprinkler</i> atau <i>nozzle</i> ) dalam <i>node</i>
Kualitas awal	Tingkat kualitas air pada <i>node</i> saat periode simulasi dimulai
Sumber kualitas	Kualitas air yang memasuki jaringan distribusi

(Sumber : Epanet User Manual, 2000)

- *Reservoir* merupakan titik yang mewakili sumber luar tak hingga atau cekungan air dalam jaringan distribusi misalnya danau, sungai dan akuifer air tanah. Dengan format input dan *property* dari *resevoir* terdapat pada gambar 4.4 serta tabel 4.2



**Gambar 2.10** *resevoir editor*

**Tabel 2.9** *Resevoir's property*

<i>property</i>	Penjelasan
Identitas <i>resevoir</i> (ID)	Label penanda <i>junction</i> . Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar node satu dengan lainnya.
X-Koordinat	Lokasi dalam arah horizontal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak)
Y-koordinat	Lokasi dalam arah vertikal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak)
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu
<i>Total Head</i>	Tinggi hidrolik (elevasi + tinggi tekan) air pada <i>resevoir</i> yang dinyatakan dalam satuan panjang/ketinggian.
<i>Head Patern</i>	Label pola waktu yang digunakan untuk memodelkan <i>head</i> pada <i>resevoir</i> .
Kualitas awal	Tingkat kualitas air pada <i>node</i> saat periode simulasi dimulai
Sumber kualitas	Kualitas air yang memasuki jaringan distribusi

(Sumber : *Epanet User Manual*, 2000)

- *Tank* merupakan *node* dengan kapasitas tampungan yang dapat beragam selama waktu simulasi (*running*). Dengan tampilan/format inputnya pada Gambar 4.5 serta penjelasan mengenai *property* pada Tabel 4.3



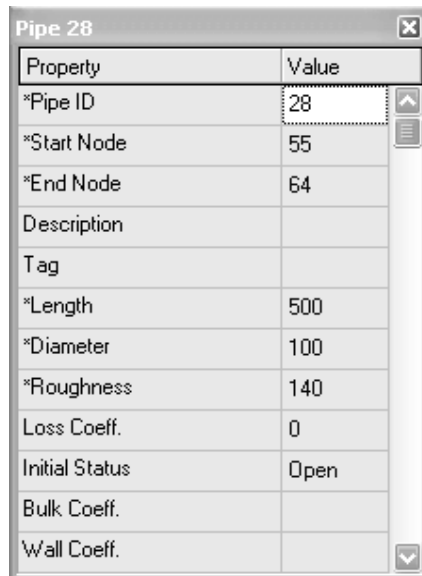
**Gambar 2.11** Tank editor

**Tabel 2.10** Tank's Property

<i>property</i>	Penjelasan
Identitas Tank (ID)	Label penanda <i>junction</i> . Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar node satu dengan lainnya.
X-Koordinat	Lokasi dalam arah horizontal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Y-koordinat	Lokasi dalam arah vertikal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Elevasi	Ketinggian dalam kaki atau meter diukur dari datum tertentu (biasanya MSL).
<i>Initial Level</i>	Kedalaman air (satuan panjang) di atas dasar <i>tank</i> saat awal simulasi.
<i>Minimum level</i>	Kedalaman minimum (satuan panjang) air diatas dasar <i>tank</i> .
<i>Maximum level</i>	Kedalaman maksimum (satuan panjang) air diatas dasar bak.
Diameter	Diameter <i>tank</i> (satuan panjang).
Volume minimum	Volume saat kedalaman air pada kondisi <i>minimumlevel</i> (satuan volume)
Kurva volume	Label untuk menyatakan hubungan <i>volume tank</i> dan kedalaman air..
<i>Mixing model</i>	Jenis pencampuran mutu air yang terjadi dalam <i>tank</i> .
Pemisahan pencampuran	Pemisahan volume total <i>tank</i> yang terdiri dari ruang <i>inlet-outlet</i> pada pilihan <i>mixing model</i> bila ditentukan <i>two-compartment</i> ..
Koefisien reaksi	Koefisien reaksi terpenting dalam tank.
Kualitas awal	Tingkat kualitas air pada node saat periode simulasi dimulai.
Sumber kualitas	Kualitas air yang memasuki jaringan distribusi.

(Sumber : Epanet User Manual, 2000)

- Pipa merupakan penghubung yang membawa air dari satu titik ke titik lainnya dalam jaringan distribusi. Mengenai format *input* serta penjelasannya pada gambar 4.6 dan tabel 4.4.



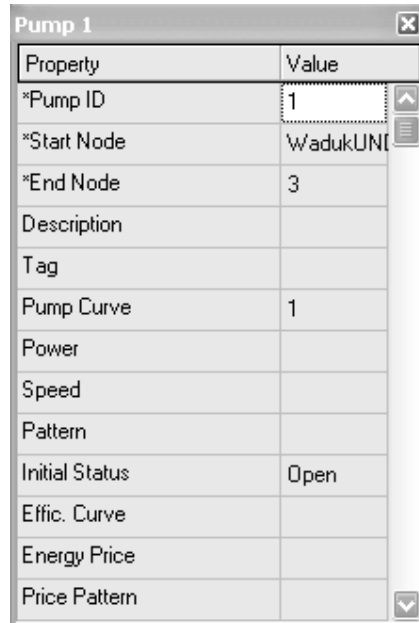
**Gambar 2.12** *Pipe editor*

**Tabel 2.11** *Pipe's property*

<i>property</i>	Penjelasan
Identitas pipa (ID)	Label penanda pipa. Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar node satu dengan lainnya.
Ujung awal	ID <i>node</i> dimana pipa berawal.
Ujung akhir	ID <i>node</i> dimana pipa berakhir.
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Panjang	Panjang aktual pipa (satuan panjang).
Diameter	Ukuran diameter pipa (satuan panjang).
Angka kekasaran	Koefisien kekasaran dari pipa.
Koefisien kehilangan	Koefisien kehilangan kecil ( <i>minor loss</i> ) pada <i>bend, fitting</i> .
Keadaan awal	Menentukan apakah pipa pada kondisi terbuka, tertutup atau terdiri dari <i>check valve</i> .
<i>bulk coefficient</i>	Koefisien reaksi <i>bulk</i> pada pipa.
<i>Wall coefficient</i>	Koefisien reaksi dinding pada pipa.

(Sumber : *Epanet User Manual, 2000*)

- Pompa merupakan penghubung yang memberi energi ke fluida (air) sehingga fluida tersebut bertambah nilai tinggi hidrolis (*hydraulic head*). Dengan format *input* dan penjelasannya pada gambar 4.7 serta tabel 4.5.



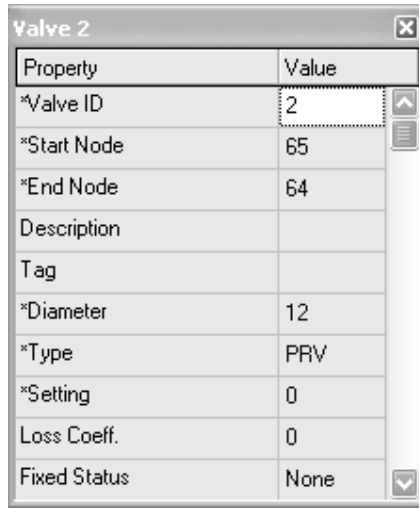
**Gambar 2.13** Pump editor

**Tabel 2.12** Pump's property

<i>property</i>	Penjelasan
Identitas pompa (ID)	Label penanda pipa. Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar node satu dengan lainnya.
Ujung awal	ID <i>node</i> dimana pipa berawal.
Ujung akhir	ID <i>node</i> dimana pipa berakhir.
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
kurva pompa	Label yang menyatakan hubungan antara <i>head</i> (satuan panjang) dengan <i>flow</i> (satuan debit).
Kecepatan	Daya yang dapat disediakan oleh pompa.
Keadaan awal	Menentukan apakah pompa pada kondisi terbuka, tertutup saat awal simulasi.
Kurva efisiensi	Label yang menyatakan efisiensi pompa (dalam %) terhadap laju aliran ( <i>flow</i> ), pengisian property ini diperlukan bilamana ingin dihitung penggunaan energi.
<i>Energy price</i>	Harga rata-rata energi dalam uang.
<i>Price pattern</i>	Label pola waktu ( <i>time pattern</i> ) dipakai untuk menyatakan keragaman harga energi tiap hari.

(Sumber : Epanet User Manual, 2000)

- Katup merupakan penghubung yang membatasi tekanan atau aliran pada titik tertentu dalam jaringan distribusi. Dengan format *input* serta penjelasannya pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.6.



Gambar 2.14 Valve editor

Tabel 2.13 Valve's property

<i>property</i>	Penjelasan
Identitas katup (ID)	Label penanda pipa. Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki indentitas yang sama antar node satu dengan lainnya.
Ujung awal	ID <i>node</i> dimana pipa berawal.
Ujung akhir	ID <i>node</i> dimana pipa berakhir.
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Diameter	Ukuran diameter katup (satuan panjang).
Jenis	Jenis katup yang digunakan, didasarkan pada tujuan yang diinginkan (tipe PRV, PSV, PBV, FCV, TCV atau GPV).
<i>Setting</i>	Parameter <i>setting</i> disesuaikan dengan tipe katup yang dipasang :  Tipe <i>setting</i> PRV tekanan (satuan tekanan/tinggi kolom air) PSV tekanan (satuan tekanan/tinggi kolom air) PBV tekanan (satuan tekanan/tinggi kolom air) FCV debit alir (satuan debit) TCV koefisien kehilangan energi GPV label kurva kehilangan energi ( <i>headloss</i> )
Koefisien kehilangan	Koefisien kehilangan kecil diterapkan ketika katup terbuka penuh.
<i>Fixed status</i>	Keadaan katup saat awal simulasi.

(Sumber : Epanet User Manual, 2000)

3. Pengaturan dan pengoperasian sistem lebih ditekankan sebagai *editing* pada komponen yang tidak nampak dalam sistem (*non-visual components*), terdiri atas :
  - *Curve editor* ditujukan untuk mengatur bagaimana *link* (pompa) maupun *node* bekerja sesuai standar atau keadaan yang dikehendaki. *Curve editor* diantaranya hubungan tinggi tekan dengan debit (*pump curve*), biaya atas penggunaan energi/hubungan efisiensi dengan debit (*efficiency curve*), hubungan volume dengan kedalaman air (*volume curve*) dan hubungan kehilangan energi dengan debit (*headloss curve*).
  - *Pattern editor* ditujukan untuk mengatur pola distribusi air bila dilakukan simulasi berjangka (*extended period simulation*) sesuai dengan waktu yang dikehendaki.
  - *Controls editor* merupakan pengaturan yang dilakukan terhadap *node* dan *links* pada saat simulasi terjadi, apakah dikehendaki tertutup, terbuka maupun keadaan lainnya.
  - *Demand editor* ditujukan untuk pengaturan kebutuhan sekaligus dilakukan penggolongan kebutuhan tersebut berdasarkan kategori yang ditetapkan saat simulasi berjalan.
  - *Source quality editor* merupakan pengaturan dengan memasukkan komponen *water quality* ketika simulasi berjalan. *Editor* ini dapat diabaikan bilamana ditujukan hanya untuk simulasi hidrolis.
4. Memilih analisis yang diinginkan untuk menjalankan simulasi, diperlukan untuk kesesuaian dengan penggunaan formula, sistem satuan serta karakteristik lain yang dikehendaki, apakah menggunakan formula Hazen-Williams, Darcy-Weisbach atau Chezy-Manning.
5. Menjalankan program (*running*) dilakukan setelah proses *input* terjadi, adapun komentar ketika *running* dilakukan diantaranya :
  - *Run was succesfull* yang berarti bahwa proses *running* berjalan baik sehingga bisa dilanjutkan dengan mengetahui outputnya.
  - *Run was unsuccesfull. See status report for reason* yang berarti bahwa proses berhenti dikarenakan beberapa hal namun dapat diketahui kesalahan yang terjadi dengan melihat komentar kesalahan tersebut.
  - *Warning message were generated. See status report for reason* yang berarti bahwa ada beberapa *input* yang menyebabkan kegagalan simulasi ketika



simulasi sedang berjalan. Kesalahan ini dapat terjadi misalnya karena pompa yang tidak bekerja, jaringan tidak terhubung, adanya tekanan negatif, sistem tidak seimbang serta persamaan hidrolis tidak terpecahkan.

6. Mengetahui hasil keluaran, tahapan akhir ini dapat diketahui bila proses analisis yang berlangsung berjalan dengan baik (*running was succesfull*). Adapun hasil keluaran tersebut dapat ditampilkan dalam tabel dan grafik.

## 2.8 Perhitungan Reservoir

### 2.8.1 Perencanaan Pelat

Pelat adalah struktur kaku yang terbuat dari material monolit dengan tinggi yang kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Pelat merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar  $< 3$ , maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh balok pendukung sekeliling panel pelat, dengan demikian pelat akan melentur pada kedua arah. Apabila panjang pelat sama dengan lebarnya, perilaku keempat balok keliling dalam menopang pelat akan sama. Sedangkan apabila perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek  $> 3$ , balok yang lebih panjang akan memikul beban yang lebih besar dari balok yang pendek (penulangan satu arah).

Dimensi bidang pelat  $L_x$  dan  $L_y$  dapat dilihat pada gambar 3.2 :



Gambar 2.15. Dimensi Bidang Pelat

Langkah-langkah perencanaan penulangan pelat adalah :

- a) Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
- b) Menentukan tebal pelat.

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 maka tebal pelat ditentukan berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

$$h_{min} = \frac{\ln 0.8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 9\beta}$$

$$h_{mak} = \frac{\ln 0.8 + \frac{f_y}{1500}}{36}$$

$h_{min}$  pada pelat lantai ditetapkan sebesar 12 cm, sedang  $h_{min}$  pada pelat atap ditetapkan sebesar 10 cm.

- c) Menghitung beban yang bekerja berupa beban mati dan beban hidup terfaktor.
- d) Menghitung momen-momen yang menentukan.

Pada pelat yang menahan dua arah dengan terjepit pada keempat sisinya bekerja empat macam momen yaitu (Tabel 4.2b Perhitungan Beton Bertulang Seri 4 Hal. 26, W.C Vis & Gideon, 1993):

1. Momen lapangan arah x ( $M_{lx}$ ) = koef.  $W_u \cdot l_x^2 \cdot x$
2. Momen lapangan arah y ( $M_{ly}$ ) = koef.  $W_u \cdot l_x^2 \cdot x$
3. Momen tumpuan arah x ( $M_{tx}$ ) = koef.  $W_u \cdot l_x^2 \cdot x$
4. Momen tumpuan arah y ( $M_{ty}$ ) = koef.  $W_u \cdot l_x^2 \cdot x$

- e) Menghitung tulangan pelat

Langkah-langkah perhitungan tulangan :

1. Menetapkan tebal penutup beton.
2. Menetapkan diameter tulangan utama yang direncanakan dalam arah x dan arah y.
3. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.
4. Membagi  $M_u$  dengan  $b \times d^2 \left( \frac{M_u}{b \times d^2} \right)$

dengan  $b$  = lebar pelat per meter panjang (mm)

$d$  = tinggi efektif (mm)

5. Mencari rasio penulangan ( $\rho$ ) dengan persamaan :

$$\left( \frac{Mu}{b \times d^2} \right)$$

6. Memeriksa syarat rasio penulangan ( $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = \frac{\beta \times 450}{600 + f_y} \times \frac{0,85 \times f'c}{f_y}$$

7. Mencari luas tulangan yang dibutuhkan

$$(As = \rho \times b \times d \times 10^6)$$

## 2.8.2 Perencanaan Balok

### 2.8.2.1 Perbandingan Tulangan Minimum, *Balance* dan Maksimum

1 Rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

2 Rasio tulangan *balance* ( $\rho_b$ )

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

3 Rasio tulangan maksimum ( $\rho_{\max}$ )

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

### 2.8.2.2 Pemeriksaan *coeffisient of resistance* yang dinyatakan dengan $R_n$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,75 \cdot f'c}$$

$$R_{nb} = \rho_b \cdot f_y \cdot (1 - 0,5 \rho_b \cdot m)$$

Dengan :

$R_n < 0,75 R_{nb}$ .....dipakai tulangan tunggal

$0,75 R_{nb} < R_n < R_{nb}$ .....dipakai tulangan rangkap

$R_n > R_{nb}$ .....penampang diperbesar

### 2.8.2.3 Perhitungan Tulangan Tunggal

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

### 2.8.3 Perencanaan Kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI / \lambda_u)_{kolom}}{\sum (EI / \lambda_n)_{balok}}$$

$$\frac{k\lambda_u}{r} < 34 - \frac{12M_{1b}}{M_{2b}}$$

dimana:

$k\lambda_u$  = panjang efektif kolom

$r$  = radius girasi, diambil sebesar 0,3h atau 0,3b

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k\lambda_u)^2}$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \geq 0,4$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - P_u / 0,75P_c}$$

Momen yang menentukan:

$$M_c = \delta_b \times M_u = 0,716 \times 75,347 = 53,952 \text{ KNm}$$

### 2.8.4 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan reservoir ini digunakan pondasi sumuran, keuntungan pemakaian pondasi sumuran, antara lain :

- 1) Pembangunannya tidak menyebabkan getaran dan penggembungan tanah, seperti pada pemancangan pondasi tiang pancang.
- 2) Penggalian tidak mengganggu tanah di sekitarnya.
- 3) Biaya pelaksanaan umumnya relatif rendah, berhubung alat yang dipakai adalah alat ringan.
- 4) Kondisi-kondisi tanah atau batu pada dasar sumuran sering dapat diperiksa dan diuji secara fisik.
- 5) Alat gali tidak banyak menimbulkan suara.

Adapun kriteria dari pondasi sumuran adalah :

- 1) Tekanan konstruksi ke tanah < daya dukung tanah pada dasar sumuran
- 2) Aman terhadap penurunan yang berlebihan, gerusan air dan longsor tanah

- 3) Cara galian terbuka tidak disarankan
- 4) Kedalaman dasar pondasi sumuran harus dibawah gerusan maksimum
- 5) Biasanya digunakan sebagai pengganti pondasi tiang pancang apabila lapisan pasir tebalnya > 2,00 m dan lapisan pasirnya cukup padat.

Perhitungan daya dukung pondasi sumuran :

- a) Berdasarkan Kekuatan Bahan

Menurut SNI Beton 2002, tegangan tekan beton yang diijinkan yaitu:

$$\sigma_b = 0,6 \times f'_c$$

$$P_{sumuran} = \sigma_b \times A_b$$

Dimana :

$P_{sumuran}$  = kekuatan pikul tiang yang diijinkan (kg)

$f'_c$  = mutu beton yang digunakan (Mpa)

$\sigma_b$  = tegangan tekan tiang yang diijinkan (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_b$  = luas penampang pondasi (cm<sup>2</sup>)