

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk digunakan sebagai dasar untuk menghitung tingkat kebutuhan air bersih pada masa mendatang. Proyeksi jumlah penduduk di masa mendatang dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu :

1. Metode Eksponensial
2. Metode Aritmatik
3. Metode Geometrik

#### 2.1.1 Metode Eksponensial

Proyeksi jumlah penduduk dengan metode eksponensial menggunakan persamaan berikut: (Muliakusumah, 2000: 255).

$$P_n = P_0 \cdot e^{r \cdot n} \quad (2 - 1)$$

Dengan :

$P_n$  = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

$r$  = angka pertambahan penduduk (%)

$n$  = periode tahun yang ditinjau (tahun)

$e$  = bilangan logaritma natural (2,7182818)

#### 2.1.2 Metode Aritmatik

Proyeksi jumlah penduduk dengan metode aritmatik menggunakan persamaan berikut: (Muliakusumah, 2000: 255).

$$P_n = P_0 + m \cdot n \quad (2 - 1)$$

Dengan :

$P_n$  = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

$r$  = angka pertambahan penduduk per tahun (%)

$n$  = jumlah tahun proyeksi (tahun)

#### 2.1.3 Metode Geometrik

Proyeksi jumlah penduduk dengan metode aritmatik menggunakan persamaan berikut: (Muliakusumah, 2000: 255).

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

Dengan :

$P_n$  = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

$r$  = angka pertambahan penduduk tiap tahun (%)

$n$  = jumlah tahun proyeksi (tahun)

## 2.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

### 2.2.1 Standar deviasi

Standar deviasi dapat diartikan sebagai nilai atau standar yang menunjukkan besar jarak sebaran terhadap nilai rata-rata. Jadi semakin besar nilai standar deviasi, maka data menjadi kurang akurat. Berikut merupakan rumusan dari perhitungan standar deviasi (Soewarno, 1995: 75).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2-4)$$

dimana:

$S$  = standar deviasi

$X_i$  = nilai varian (penduduk proyeksi)

$\bar{X}$  = nilai rata-rata

### 2.2.2 Koefisien korelasi

Koefisien korelasi merupakan koefisien yang sesuai bila variabel Y dianggap sebagai dependen terhadap X. Nilai korelasi dapat bervariasi dari -1 melalui nol hingga terbesar mendekati +1. Semakin besar nilai korelasi ( $r = +1$  atau mendekati 1) maka korelasi antara dua variabel dapat dikatakan positif dan sangat kuat. Adapun rumusan untuk menentukan besarnya koefisien korelasi sebagai berikut (Dejan, 1974:301).

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2-5)$$

Dengan :

$r$  = koefisien korelasi

$X$  = jumlah penduduk data (jiwa)

$Y$  = jumlah penduduk hasil proyeksi (jiwa)

### 2.3 Kebutuhan Air bersih

Kebutuhan air adalah jumlah air yang dipergunakan secara wajar untuk keperluan pokok manusia (domestik) dan kegiatan-kegiatan lainnya yang memerlukan air. Pada umumnya banyak diperlukan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-sehari.

Besarnya pemakaian oleh masyarakat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti tingkat hidup, pendidikan, tingkat ekonomi, dan kondisi sosial. Dengan demikian, dalam perencanaan suatu sistem penyediaan air, kemungkinan penggunaan air dan variasinya haruslah diperhitungkan secermat mungkin.

Untuk menentukan kebutuhan air minum di suatu daerah/kawasan, maka diperlukan data pemakaian air yang dapat diterapkan untuk kota yang bersangkutan. Untuk menentukan data tersebut dapat dipertimbangkan beberapa standar yang ada sebagai acuan, yaitu kebutuhan air minum berdasarkan kategori kota dan standar pemakaian air minum yang dikeluarkan oleh Kementerian PU Cipta Karya Direktorat Air bersih.

Untuk kategori dan tingkat pelayanan tersebut, Pemerintah Indonesia telah menyusun program pelayanan air minum sesuai dengan kategori daerah yang dikelompokkan berdasarkan jumlah penduduk. Pengelompokkan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Kategori Tingkat Pelayanan Air Minum.

No	Kategori	Jumlah Penduduk	Tingkat Pemakaian Air
1	Kota Metropolitan	> 1.000.000	120 lt/org/hari
2	Kota Besar	1.000.000	100 lt/org/hari
3	Kota Sedang	500.000	90 lt/org/hari
4	Kota Kecil	100.000	60 lt/org/hari
5	Kota Kecamatan	3.000 - 20.000	45 lt/org/hari

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum RI Ditjen Cipta Karya (1994: 40)

Selain berdasarkan kategori tingkat pelayanan atau jumlah penduduk di atas dapat juga kebutuhan air diperhitungkan berdasarkan masing-masing fasilitas.

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Berdasarkan Fasilitas (liter/jiwa/hari).

No	Jenis fasilitas	Populasi yang diperhitungkan	Jumlah kebutuhan air rata-rata
1	Perumahan	Jumlah penghuni	100
2	Sekolah	Jumlah orang di dalam gedung	35
3	Hotel	Jumlah orang di dalam gedung	70
4	Perkantoran	Jumlah pegawai	50
5	Rumah sakit	Jumlah tempat tidur	250

Sumber: Sularso dan Tahara (2000:17)

Macam kebutuhan air bersih umumnya dibagi atas dua kelompok yaitu:

1. Kebutuhan Domestik.
2. Kebutuhan Non Domestik.

### 2.3.1 Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik merupakan kebutuhan air yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum. Besar kebutuhan domestik yang diperlukan dihitung rerata kebutuhan air per satuan orang perhari. Kebutuhan air perorang perhari disesuaikan dengan dimana orang tersebut tinggal. Setiap kategori kota tertentu mempunyai kebutuhan akan air yang berbeda satu sama lainnya. Semakin besar suatu kota maka tingkat kebutuhan air juga akan semakin besar.

Kebutuhan air untuk keperluan domestik digunakan di tempat-tempat hunian pribadi, rumah-rumah apartemen, dan sebagainya untuk minum, mandi, penyiraman taman, dan tujuan-tujuan yang lain. Kebutuhan domestik akan air berbeda-beda dari satu kota ke kota yang lain, dipengaruhi:

#### 1. Iklim

Kebutuhan air disaat cuaca atau suhu yang tinggi cenderung meningkat dibanding kebutuhan air ketika cuaca atau suhu relatif lebih rendah.

#### 2. Karakteristik Penduduk

Penduduk yang berkarakter secara ekonomi kuat atau kaya maka penggunaan airnya jauh lebih besar dibandingkan dengan orang-orang yang kurang mampu secara ekonomi.

#### 3. Permasalahan Lingkungan Hidup

Peningkatan permasalahan lingkungan hidup akhir-akhir ini mengakibatkan adanya penemuan-penemuan alat baru yang membuat penghematan penggunaan air sehingga jumlah kebutuhan akan air juga berubah.

#### 4. Harga Air

Dengan naiknya harga pemakaian air maka mendorong orang-orang untuk melakukan penghematan air.

#### 5. Kualitas Air

Peningkatan kualitas air mendorong orang untuk meningkatkan pemakaian airnya, tetapi sebaliknya penurunan kualitas air yang terjadi mengakibatkan keengganan orang untuk memakai air.

### 2.3.2 Kebutuhan non domestik

Kebutuhan non domestik merupakan kebutuhan air selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, seperti penyediaan air untuk sarana sosial, tempat ibadah, sekolah, rumah sakit, asrama, dan juga untuk keperluan komersil seperti industri, hotel, perdagangan, serta untuk pelayanan jasa umum.

### 2.3.3 Kehilangan Air

Kehilangan air merupakan kehilangan air pada pipa distribusi dan tidak termasuk dalam katagori pemakaian air, akan tetapi dalam perencanaannya besarnya angka kehilangan air harus diperhitungkan. Faktor kehilangan air dibedakan menjadi dua, yaitu:

#### 1. Kehilangan air akibat faktor teknis

- Adanya lubang atau celah pada pipa atau pada sambungan.
- Pipa pada jaringan distribusi pecah.
- Meter yang dipasang pada pipa konsumen kurang baik.
- Kehilangan air pada instalasi pengolahan.
- Pemasangan perpipaan yang kurang baik.

#### 2. Kehilangan air akibat faktor non teknis

- Kesalahan membaca meter teknis
- Kesalahan dalam penjumlahan atau pengurangan data
- Kesalahan pencatatan hasil pembacaan meter air
- Pencurian air atau pemasangan sambungan air

### 2.3.4 Rencana Alokasi Air bersih

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Lampiran I, maka perencanaan kebutuhan air bersih dapat dihitung sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kriteria Pemakaian Air Bersih.

No	Parameter	Kota			
		Metro	Besar	Sedang	Kecil
1	Kebutuhan Domestik (tingkat pemakaian air) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sambungan Rumah (liter/orang/hari)</li> <li>• Kran Umum (liter/orang/hari)</li> </ul>	190 30	170 30	150 30	130 30
2	Kebutuhan Non domestik : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industri (liter/detik/hektar) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berat</li> <li>- Sedang</li> <li>- Ringan</li> </ul> </li> <li>• Komersial (liter/detik/hektar) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasar</li> <li>- Rumah Makan (liter/unit/hari)</li> <li>- Hotel (liter/kamar/hari) <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lokal</li> <li>➤ Internasional</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Sosial dan Institusi <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sekolah (liter/siswa/hari)</li> <li>- Rumah Sakit (m<sup>3</sup>/unit/hari)</li> <li>- Puskesmas (liter/hari)</li> </ul> </li> </ul>			0,5 - 1,00 0,25 - 0,50 0,15 - 0,25 0,10 - 1,00 15 400 1000 15 - 400	
3	Kebutuhan Air Rata-rata	Kebutuhan domestik + non domestik			
4	Kebutuhan Air Maksimum	Kebutuhan rata-rata x 1,15 -1,2 (faktor kehilangan jam maksimum)			
5	Kehilangan Air Kota Metro dan Besar Kota Sedang dan Kecil	25% x Kebutuhan rata-rata 30% x Kebutuhan rata-rata			
6	Kebutuhan Jam Puncak	Kebutuhan rata-rata x Faktor jam puncak (165% - 200%)			

Sumber: DPU Ditjen Cipta Karya. 2007: 30

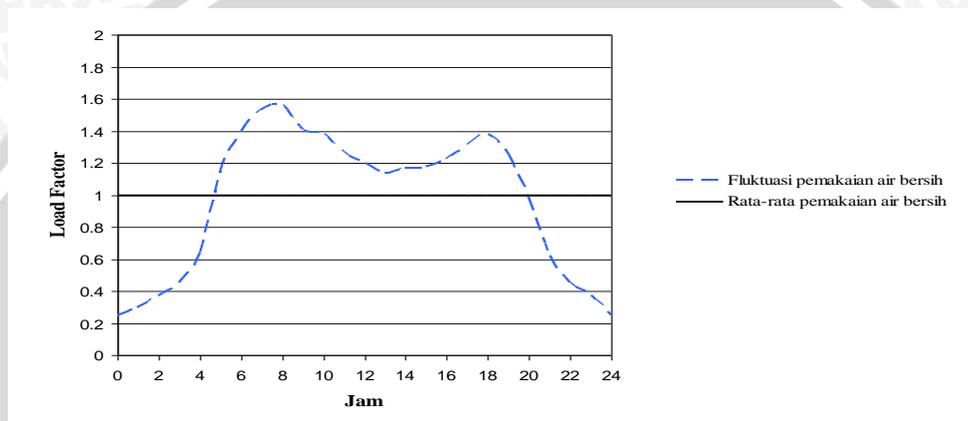
1. Kebutuhan air bersih domestik berdasarkan jumlah proyeksi penduduk dan tingkat pemakaian per orang per hari.
2. Kebutuhan air non domestik diperhitungkan sebesar 15 % dari kebutuhan domestik.
3. Kehilangan air diperhitungkan sebesar 15 % dari total kebutuhan domestik dan non domestik
4. Kebutuhan hari maksimum, diperhitungkan sebesar  $1,15 \times$  kebutuhan air total. Faktor perkalian tersebut diambil untuk mengimbangi kebocoran pipa.
5. Kebutuhan jam puncak, diperhitungkan sebesar  $1,56 \times$  kebutuhan air total. Kebutuhan ini merupakan kebutuhan puncak di mana akan terjadi laju maksimum pada sistem distribusi air. Angka ini penting untuk menentukan ukuran pipa dan sistem distribusi yang akan direncanakan.

Selanjutnya kebutuhan air bersih penduduk dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Keb. Total} = \text{Kebutuhan Domestik} + \text{Kebutuhan non domestik} + \text{kehilangan air}$$

### 2.3.5 Fluktuasi

Besarnya kebutuhan air bersih pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih tidaklah berlangsung konstan, tetapi terjadi fluktuasi setiap waktunya. Fluktuasi kebutuhan air bersih harian yang terjadi pada titik simpul dihitung dengan metode pendekatan penelitian yang dilakukan Dirjen Cipta Karya Departemen PU, karena dianggap dapat mewakili perubahan kebutuhan air bersih di Indonesia.



Gambar 2.1 Grafik Fluktuasi Pemakaian Air bersih Harian

Sumber : DPUD Jenderal Cipta Karya (1994 : 24)

Tabel 2.4 Faktor Pengali (*Load Factor*) Terhadap Kebutuhan Air Bersih.

<b>Jam</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Load Factor</b>	0.3	0.37	0.45	0.64	1.15	1.4	1.53	1.56	1.41	1.38	1.27	1.2
<b>Jam</b>	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Load Factor</b>	1.14	1.17	1.18	1.22	1.31	1.38	1.25	0.98	0.62	0.45	0.37	0.25

Sumber: DPUD Jenderal Cipta Karya (1994 : 24)

## 2.4 Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa

### 2.4.1 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam pipa yang diijinkan adalah 0,3 – 6 m/det, dimana hal ini akan disesuaikan dengan kondisi setempat mengenai kemiringan lahan maupun adanya penambahan tekanan dari adanya pemompaan. Kecepatan tidak boleh terlalu kecil sebab dapat menyebabkan endapan dalam pipa tidak terdorong, selain itu juga diameter pipa jadi berkurang karena adanya endapan itu, dan itu akan membebani biaya perawatan. Sebaliknya, jika kecepatan aliran terlalu tinggi, maka akan berakibat korosi pada pipa dan juga menambah nilai *headloss* yang berakibat elevasi reservoirnya harus tinggi. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus sebagai berikut:



$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (2-9)$$

Dengan :

$$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma} = \text{tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g} = \text{tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$P_1, P_2 = \text{tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m}^2\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{berat jenis air (kg/m}^3\text{)}$$

$$v_1, v_2 = \text{kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/det}^2\text{)}$$

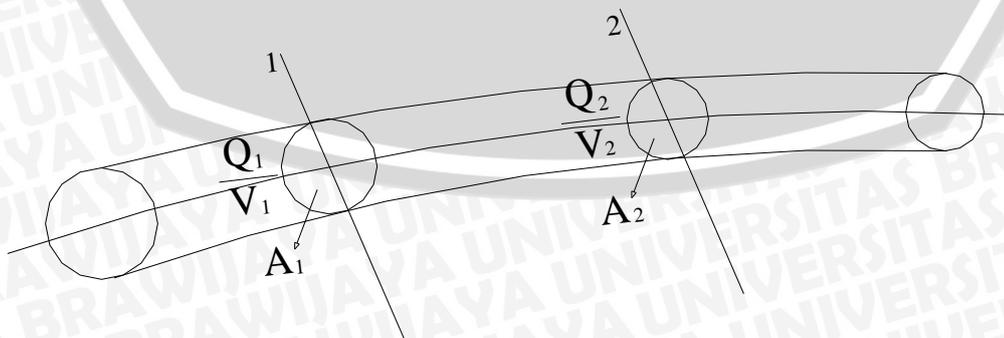
$$h_1, h_2 = \text{tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)}$$

$$h_L = \text{kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)}$$

Pada gambar di atas, terlihat garis yang menunjukkan besarnya tinggi tekan air pada titik tinjauan yang dinamakan garis gradien hidrolis atau garis kemiringan hidrolis. Jarak vertikal antara pipa dengan gradien hidrolis menunjukkan tekanan yang terjadi dalam pipa. Perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2 merupakan kehilangan energi yang terjadi sepanjang penampang 1 dan 2.

### 2.4.3 Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa secara terus menerus yang mempunyai luas penampang dan kecepatan 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.



Gambar 2.3 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

Sumber: Priyantoro, 1991:6

Sehingga dapat dituliskan persamaan:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2 - 10)$$

atau,

$$Q = A \cdot V = \text{konstan} \quad (2 - 11)$$

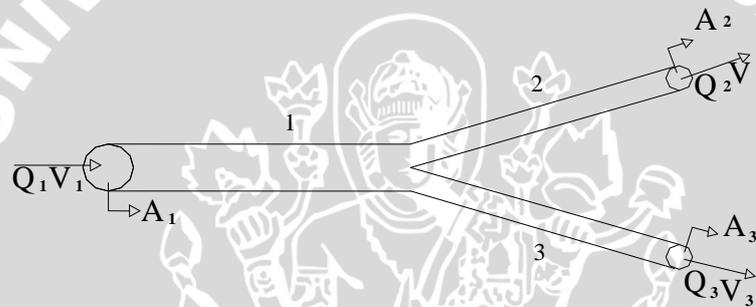
dengan :

$Q_1, Q_2$  = debit pada potongan 1 dan 2 ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$V_1, V_2$  = kecepatan pada potongan 1 dan 2 ( $\text{m}/\text{det}$ )

$A_1, A_2$  = luas penampang pada potongan 1 dan 2 ( $\text{m}^2$ )

Pada aliran percabangan pipa juga berlaku hukum kontinuitas dimana debit yang masuk pada suatu pipa sama dengan debit yang keluar pipa. Hal tersebut diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang

Sumber : DPU Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih (1985 : 2 dari 14)

Sedangkan hukum kontinuitas pada pipa bercabang dapat diuraikan sebagai berikut (Triatmodjo, 1996: 137):

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Atau

$$A_1 \cdot V_1 = (A_2 \cdot V_2) + (A_3 \cdot V_3) \quad (2 - 12)$$

dengan :

$Q_1, Q_2, Q_3$  = debit pada potongan 1, 2 dan 3 ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$V_1, V_2, V_3$  = kecepatan pada potongan 1, 2 dan 3 ( $\text{m}/\text{det}$ )

$A_1, A_2, A_3$  = luas penampang pada potongan 1, 2 dan 3 ( $\text{m}^2$ )

## 2.4.4 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

### 2.4.4.1 Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Fluida yang mengalir di dalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran (Triatmodjo, 2003: 25). Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada

suatu aliran (*major losses*) selain bergantung pada jenis pipa. Ada beberapa teori untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor, tetapi dalam kajian ini digunakan persamaan *Hazen-Williams* sebagai berikut: (Priyantoro, 1991: 21).

$$V = 0,85 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2 - 13)$$

dimana :

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

V = kecepatan pada pipa (m/det)

0.85 = konstanta

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

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

R = Jari-jari hidrolis (m)

$$= \frac{A}{P} = \frac{1/4 \pi D^2}{\pi D}$$

R = D / 4

S = kemiringan garis energi (m/m)

$$= h_f / L$$

Untuk  $Q = V / A$ , didapat persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut Hazen-Williams sebesar (Webber, 1971: 121):

$$h_f = k \cdot Q^{1,85} \quad (2 - 14)$$

$$k = \frac{10,7L}{C_{hw}^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad (2 - 15)$$

Dengan :

$h_f$  = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

D = Diameter pipa (m)

k = koefisien karakteristik pipa

L = panjang pipa (m)

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

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

Tabel 2.5 Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Hazen-Williams

Jenis Pipa	Nilai Koefisien Hazen- Williams (Chw)
PVC	140 - 150
Pipa Asbes	120 - 150
Pipa berlapis semen	100 - 140
Pipa besi digalvani	100 - 120
Cast iron	90 - 125

Sumber: DPU Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih (1985: 8 dari 14)

#### 2.4.4.2 Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Faktor lain yang juga ikut menambah besarnya kehilangan tinggi tekan pada suatu aliran adalah kehilangan tinggi tekan minor. Kehilangan tinggi tekan minor ini disebabkan oleh adanya perubahan mendadak dari ukuran penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan-belokan, adanya katup dan berbagai jenis sambungan. Kehilangan tinggi tekan minor semakin besar bila terjadi perlambatan kecepatan aliran di dalam pipa dibandingkan peningkatan kecepatan akibat terjadi pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa. Untuk jaringan pipa sederhana, kehilangan tinggi tekan minor ini tidak boleh diabaikan karena nilainya cukup berpengaruh. Namun untuk pipa-pipa yang panjang atau  $L/D \gg 1000$ , kehilangan tinggi tekan minor ini dapat diabaikan (Priyantoro, 1991: 37).

Kehilangan energi ditempat-tempat tersebut disebut sebagai kehilangan energi minor. Tidak menutup kemungkinan kehilangan energi minor dapat berpengaruh lebih besar daripada mayor. Dengan demikian kehilangan energi minor juga harus diperhatikan dan dapat ditulis sebagai berikut (Triatmodjo, 2008: 109):

$$h_f = k \frac{Q}{2A^2 g} \quad (2 - 16)$$

Atau

$$h_f = k \frac{v^2}{2g} \quad (2 - 17)$$

dengan:

- $h_f$  = kehilangan energi minor (m)
- $v$  = kecepatan aliran (m/detik)
- $g$  = percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)
- $k$  = koefisien kehilangan energi minor

Koefisien k sangat bervariasi tergantung dari bentuk fisik saluran, bisa dikarenakan belokan, pengecilan, katup, dan sebagainya. Oleh karena itu (Triatmodjo 2008: 110) sudah memberikan range dari setiap parameter k itu tentu saja angka yang ditunjukkan masih berupa pendekatan dikarenakan harga k masih bergantung juga dari bahan, umur, pembuatan fitting, dan faktor manusia.

Tabel 2.6 Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Sesuai Perubahan Bentuk Pipa (K).

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

Sumber: Suroso, 2008: 274;276

### 2.4.5 Pengaruh Pertambahan Umur Pipa

Semakin bertambah umur pipa semakin berkurang kemampuannya untuk melewatkan debit karena adanya kerak atau kotoran pada permukaan dalam pipa yang akan memperbesar koefisien gesekan. Kecepatan munculnya kerak atau kotoran tergantung pada unsur-unsur kimia yang terkandung dalam air dan bahan pipa. Oleh karena itu, dalam merencanakan saluran pipa harus memperhatikan keadaan setelah pipa setelah berapa tahun melakukan fungsinya.

Menurut *Colebrook* dan *White* kekasaran pipa bertambah secara linier dengan umurnya dan ditunjukkan dengan rumus:

$$k_t = k_0 + \alpha t \quad (2 - 18)$$

dengan :  $k_t$  = kekasaran pipa setelah  $t$  tahun

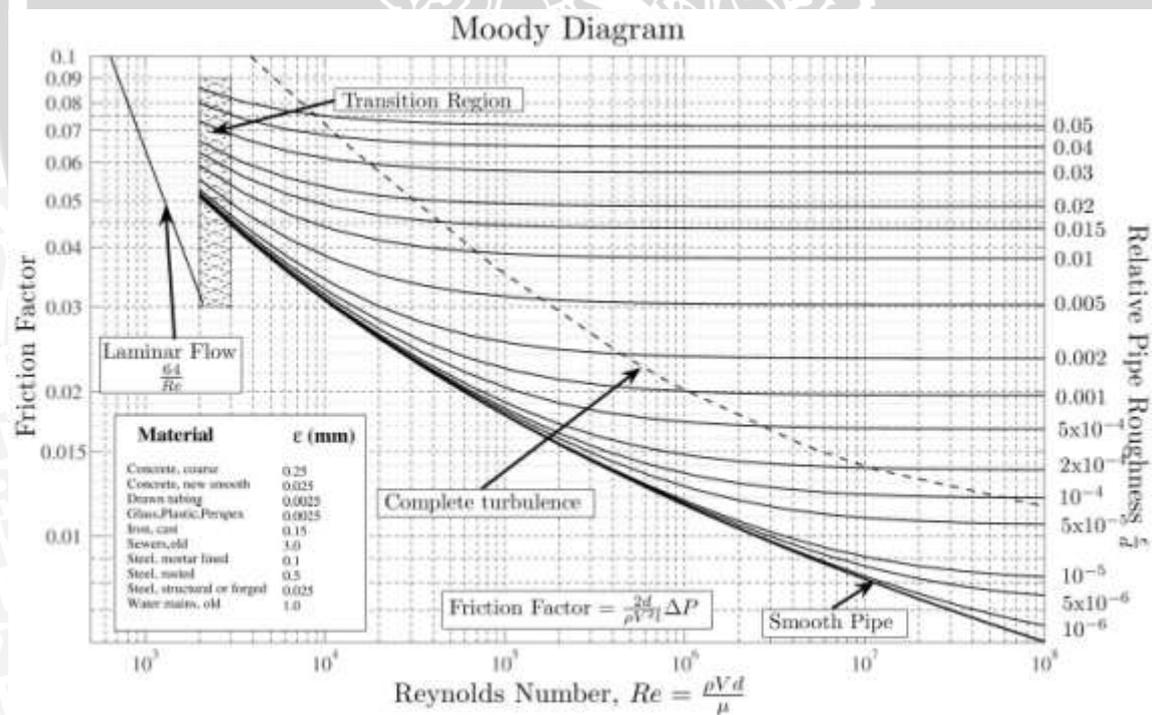
$k_0$  = kekasaran pipa baru

$\alpha$  = pertumbuhan kekasaran pipa

$t$  = jumlah tahun

Nilai  $\alpha$  dapat diperoleh dari percobaan yang dilakukan untuk interfal waktu tertentu.

Selain menggunakan persamaan diatas, untuk menyelesaikannya juga menggunakan grafik *Moody* dibawah ini



Gambar 2.5 Diagram *Moody*  
Sumber: [www.common.wikimedia.org](http://www.common.wikimedia.org)

## 2.5 Elemen-Elemen pada Jaringan Distribusi Air bersih

### 2.5.1 Pipa

Pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih, pipa merupakan komponen yang utama. Pipa ini berfungsi sebagai sarana untuk mengalirkan air dan sumber air ke tandon, maupun dari tandon ke konsumen. Pipa tersebut memiliki bentuk penampang lingkaran dengan diameter yang bermacam-macam.

#### 2.5.1.1 Jenis Pipa

Pipa yang umumnya dipakai untuk sistem jaringan distribusi air dibuat dari bahan-bahan seperti berikut ini:

##### 1. Besi tuang (*cast iron*)

Pipa ini biasanya dicelupkan dalam senyawa bitumen untuk perlindungan terhadap karat. Panjang biasa dari suatu bagian pipa adalah 4m dan 6m. tekanan maksimum pipa sebesar  $2500 \text{ kN/cm}^2$  (350 psi) dan umur pipa jika pada keadaan normal dapat mencapai 100 tahun. (Linsley, 1986: 297).

Keuntungan pipa ini antara lain:

- Pipa cukup murah
- Pipa mudah disambung
- Pipa tahan karat

Kerugian dari pipa ini antara lain :

- Pipa berat sehingga biaya pengangkutan mahal
- Pipa keras sehingga mudah pecah
- Dibutuhkan tenaga ahli dalam penyambungan

##### 2. Besi galvanis (*galvanized iron*)

Pipa jenis ini bahannya terbuat dari pipa baja yang dilapisi seng. Umur pipa pada keadaan normal bisa mencapai 40 tahun. Pipa berlapis seng digunakan secara luas untuk jaringan pelayanan yang kecil di dalam sistem distribusi (Linsley, 1986: 297)

Keuntungan dari pipa ini antara lain:

- Harga murah dan banyak tersedia di pasaran
- Ringan sehingga mudah diangkut
- Pipa mudah disambung

Kerugian dari pipa ini adalah :

- Pipa mudah berkarat

##### 3. Plastik (PVC)

Pipa ini lebih dikenal dengan sebutan PVC (*Poly Vinyl Chloride*) dan di pasaran mudah didapat dengan berbagai ukuran. Panjang pipa 4m-6m dengan ukuran diameter pipa mulai 16 mm hingga 350 mm. umur pipa dapat mencapai 75 tahun. (Linsley, 1986: 301)

Keuntungan dari pipa ini adalah:

- Harga murah dan banyak tersedia di pasaran
- Ringan sehingga mudah diangkut
- Mudah dalam pemasangan dan penyambungan
- Pipa tahan karat

Kerugian dari pipa ini adalah:

- Pipa jenis ini mempunyai koefisien muai yang besar sehingga tidak tahan panas
- Mudah bocor dan pecah

#### 5. Pipa HDPE (*High Density Polyethylene*)

Pipa plastik bertekanan yang banyak digunakan untuk pipa air dan pipa gas. Disebut pipa plastik karena material HDPE berasal dari polymer minyak bumi. (<http://pipahdpehitam.blogspot.com>)

Keuntungan dari pipa ini adalah:

- Tersedia dalam berbagai ukuran panjang
- Tahan hingga 50 tahun pemakaian
- Aman bagi kesehatan karena bersifat "*Food Grade*"
- Tahan Karat

Kerugian dari pipa ini adalah:

- Diameter pipa maksimal 400 mm
- Tidak dapat digunakan untuk pipa transmisi dalam skala besar

#### 2.5.1.2 Sarana Penunjang

Pipa yang digunakan dalam distribusi air minum harus dilengkapi alat bantu agar bisa berfungsi dengan baik, seperti:

##### 1. Sambungan antar pipa

- Mangkok (*bell*) dan Lurus (*Spigol*)

Spigol dari suatu pipa dimasukkan ke dalam bell (*socket*) pipa lainnya untuk menghindari kebocoran.

- *Flange Joint*

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

- Belokan (*Bend/elbow*)

Digunakan untuk mengubah arah dari arah lurus dengan sudut perubahan standar yang merupakan sudut dari belokan tersebut. Besar belokan standar adalah  $11\frac{1}{4}^{\circ}$ ,  $22\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ , dan  $90^{\circ}$ . bahan belokan itu biasanya sama dengan pipa.

- Perlengkapan *Tee*

Digunakan untuk menyambung pipa yang bercabang, misalnya sambungan pipa sekunder dipasang tegak lurus ( $90^{\circ}$ ) pada pipa primer sehingga sambungan akan terbentuk T.

- Perlengkapan “Y”

Digunakan untuk menyambung pipa yang bercabang, misalnya sambungan untuk pipa sekunder yang dipasang pada pipa primer dengan sudut  $45^{\circ}$ .

- *Increaser dan Reducer*

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

## 2. Katup (*valve*)

- *Pressure Reducer Valve (PRV)* atau katup penurun tekanan

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



Gambar 2.6 Pressure Reducer Valve (PRV)

Sumber: [www.bimex.lu](http://www.bimex.lu)

- *Pressure Sustaining Valve (PSV)* atau katup penstabil tekanan

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.



Gambar 2.7 Pressure Sustaining Valve (PSV)

Sumber: [www.bimex.lu](http://www.bimex.lu)

### 3. Meter Air

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

#### 2.5.2 Menara Air

Menara air merupakan komponen dari sistem jaringan distribusi air bersih yang memiliki fungsi menampung dan menyimpan air untuk digunakan pada kondisi tertentu. Pengisian tampungan menara air dilakukan apabila kebutuhan air bersih tidak mencapai puncak atau menurun. Disamping berfungsi untuk memenuhi fluktuasi permintaan pada keadaan darurat, menara air juga berfungsi meratakan tekanan untuk operasi.

#### 2.5.3 Titik Simpul (*Junction*)

Titik simpul merupakan titik-titik pada sistem jaringan pipa dimana air akan masuk dan keluar dari jaringan melalui titik tersebut, sedangkan yang dimaksud dengan titik simpul persimpangan adalah titik simpul yang merupakan penghubung dua pipa atau lebih. Titik simpul mempunyai kondisi tetap jika tekanan dan elevasinya tetap.

#### 2.5.4 Penghubung (*Link*)

Penghubung adalah elemen yang menghubungkan titik-titik simpul dimana bagian awal dan akhir dari *link* merupakan titik-titik simpul dimana bagian awal dan akhir dari *link* merupakan titik simpul itu sendiri. Penghubung dapat berupa pipa maupun katup.

### 2.6 Tandon

Secara umum tandon adalah tempat tampungan sementara air bersih dari sumber. Adapun fungsi yang sangat penting dari tandon diantaranya sebagai berikut:

- Menampung kelebihan air pada pemanfaatan atau pemakaian air
- Mensuplay air pada saat pemakaian puncak pada daerah pelayanan
- Menambah tekanan pada jaringan pipa
- Tempat pengendapan kotoran
- Tempat pembubuhan desinfektan

Volume jumlah dan lokasi tandon air disesuaikan dengan rencana daerah layanan sehingga pemenuhan kebutuhan air bersih dapat dipenuhi sepanjang waktu dan terdistribusi ke seluruh rencana daerah layanan. Sumber air untuk tandon air dapat berasal dari jaringan pipa air bersih yang diambil dari sumber air ataupun dari *supply* melalui jalan darat (truk tanki, dll).

Persyaratan yang harus dipenuhi baik untuk perencanaan tandon air maupun hydrant umum adalah: mudah dijangkau, terletak dekat/di pinggir jalan darat, terdistribusi merata untuk daerah layanan, dekat dengan pusat kegiatan, bebas dari gangguan dan lain-lain.

Elevasi pada tandon diidentifikasi sebagai elevasi dasar tandon. Elevasi muka air tandon adalah jarak vertikal dari dasar tandon muka air bebas, sehingga tekanannya lebih besar dari nol. Besarnya kapasitas tandon bergantung pada variasi kebutuhan air minimum, maksimum, kapasitas konstan pemompaan dan faktor kegunaan dari tandon tersebut. Rencana volume tandon ditentukan dengan memperhitungkan debit pada jam puncak dan perkiraan lama jam puncak.

Volume = jumlah jam puncak dalam sehari x debit jam puncak

Untuk keamanan diberikan volume untuk ruang udara dalam tandon yang di ambil sebesar 10 % dari volume tandon. Kemudian volume tandon ditambah dengan volume udara dijadikan sebagai volume rencana dalam pembuatan tandon. Dengan demikian diperoleh dimensi tandon dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = T \cdot L \cdot P \quad (2 - 19)$$

dengan:

V = volume tandon (m<sup>3</sup>)

T = tinggi tandon (m)

L = lebar tandon (m)

P = panjang tandon (m)

Setiap tandon paling tidak memiliki perlengkapan sebagai berikut:

- a. Pipa air masuk (*inlet*) dan pipa air keluar (*outlet*).

Pipa air masuk berfungsi untuk mengalirkan air ke dalam tandon. Tandon biasanya mempunyai inlet dan outlet yang terpisah. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan sirkulasi aliran di dalam tandon sehingga air yang keluar mempunyai kualitas yang terjamin.

b. Lubang inspeksi (*manhole*)

Setiap tandon harus dilengkapi dengan lubang inspeksi untuk memudahkan perawatan yang masuk ke dalam tandon tidak sulit.

c. Tangga naik dan turun ke dalam bak

Tangga harus disiapkan untuk menjaga keamanan dan kemudahan akses ke beberapa bagian tandon.

d. Pipa pelimpah untuk kelebihan air

Pipa pelimpah terutama digunakan pada saat pengukur ketinggian air dalam keadaan rusak. Ujung dari pipa peluap ini tidak boleh disambung langsung ke pipa buangan, harus ada celah udara yang cukup. Pada ujung pipa peluap juga harus dilengkapi dengan saringan serangga.

e. Pipa penguras

Pipa penguras dipakai untuk menguras tandon. Pada pipa ini dibuat pengamanan seperti pipa peluap.

f. Alat penunjuk level air

Alat penunjuk level air digunakan untuk menunjukkan tinggi rendahnya permukaan air.

g. Ventilasi udara

Ventilasi udara dipasang pada tandon untuk keluar masuknya udara pada saat air turun dan naik, juga harus dipasang saringan serangga.

## 2.7 Mekanisme Pengaliran dalam Pipa

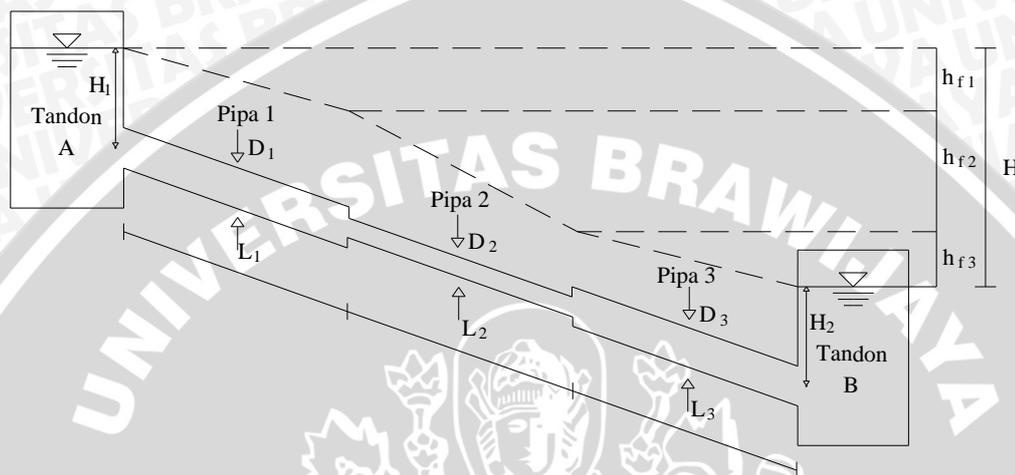
### 2.7.1 Sistem Pipa

Sistem pemipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakannya pompa. Beberapa contoh sistem pemipaan adalah pengaliran minyak antar kota/daerah, pipa pembawa dan pipa pesat dari waduk ke turbin pembangkit listrik tenaga air, jaringan air minum di perkotaan, dan sebagainya. (Triatmodjo, 1996: 69).

Sistem pengaliran dalam pipa pada jaringan distribusi air bersih dapat dibagi menjadi dua yaitu hubungan seri dan hubungan paralel.

### 2.7.1.1 Pipa Hubungan Seri

Pada hubungan seri, debit aliran di semua titik adalah sama sedangkan kehilangan tekanan di semua titik berbeda. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Hubungan Pipa Seri

Sumber: Triatmodjo, 2003 :74

Adapun persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2003: 74):

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2 - 20)$$

Sedangkan untuk total kehilangan tekanan pada pipa yang terpasang secara seri dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 1996: 74):

$$H = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} \quad (2 - 21)$$

dengan :

$Q$  = total debit pada pipa yang terpasang secara seri ( $m^3/det$ )

$Q_1, Q_2, Q_3$  = debit pada tiap pipa ( $m^3/det$ )

$H$  = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara seri (m)

$H_{f1}, H_{f2}, H_{f3}$  = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)

### 2.7.1.2 Pipa Hubungan Pararel

Pada keadaan dimana aliran melalui dua atau lebih pipa dihubungkan secara paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 maka persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2003: 78):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2-22)$$

Persamaan energi untuk pipa sambungan paralel:

$$H = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} \quad (2-23)$$

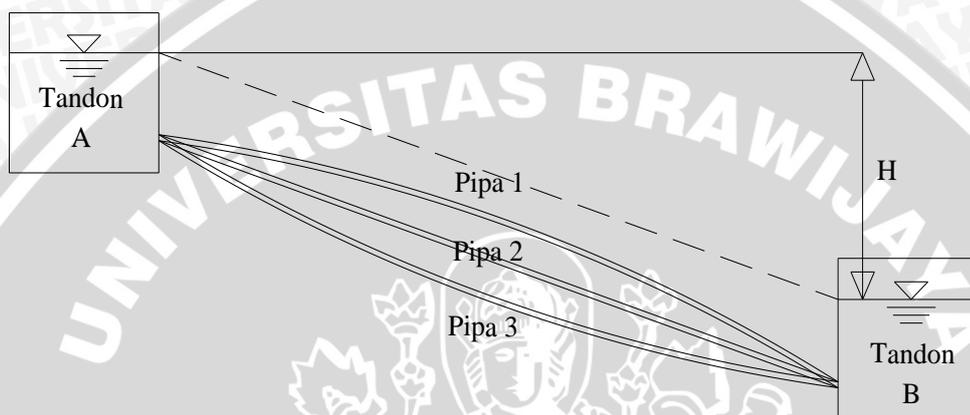
dengan:

$Q$  = total debit pada pipa yang terpasang secara paralel ( $m^3/det$ )

$Q_1, Q_2, Q_3$  = debit pada tiap pipa ( $m^3/det$ )

$H$  = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara paralel (m)

$H_{f1}, H_{f2}, H_{f3}$  = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)



Gambar 2.9 Hubungan Pipa Paralel

Sumber: Triatmodjo, 2003: 79

## 2.8 Simulasi Aliran pada Sistem Jaringan Distribusi

Dalam kajian ini hanya dibahas analisa tekanan dan aliran di sistem jaringan distribusi pada kondisi tidak permanen.

### 2.8.1 Analisa pada Kondisi Permanen

Analisa pada kondisi permanen akan mengevaluasi kondisi aliran, tekanan dan kapasitas dari komponen sistem distribusi air bersih termasuk sistem pipa, penampungan dan sistem pompa pada corak permintaan tunggal. Simulasi ini dilakukan pada saat kondisi kritis pada harian maksimum, jam puncak, kebutuhan puncak dan pengisian tampungan sehingga memberikan suatu informasi dari kondisi jaringan pada waktu yang diberikan.

### 2.8.2 Analisa pada Kondisi Tidak Permanen

Analisa pada kondisi tidak permanen akan mengevaluasi kondisi aliran, tekanan dan kapasitas dari komponen sistem distribusi air bersih termasuk sistem pipa, penampungan dan sistem pompa pada corak rangkaian permintaan serial dengan permintaan sistem berubah-ubah. Dalam simulasi ini terdapat beberapa parameter yang digunakan seperti : karakteristik tandon, kontrol operasi, pompa, durasi dan nilai tahap

waktu, rasio dan faktor beban (*loading factor*). Beberapa kriteria dan asumsi yang digunakan yaitu : simulasi didasarkan pada perhitungan fluktuasi beban titik simpul sebagai akibat corak perubahan permintaan yang dilakukan pada kondisi normal dimana variasi kebutuhan titik simpul disebabkan oleh fluktuasi kebutuhan pelanggan tiap jam dengan durasi 24 jam.

### 2.8.3 Perencanaan Teknik Unit Distribusi

Dalam perencanaan jaringan distribusi, air yang dihasilkan dari instalasi pengelolaan air dapat ditampung dalam *reservoir* yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan antara produksi dengan kebutuhan, sebagai penyimpan kebutuhan air dalam kondisi darurat dan sebagai penyediaan kebutuhan air untuk keperluan instalasi. *Reservoir* dibangun dalam bentuk *reservoir* tanah yang umumnya untuk menampung produksi air dari sistem instalasi pengelolaan air, atau dalam bentuk menara air yang umumnya untuk mengantisipasi kebutuhan puncak pada daerah distribusi.

Ketentuan – ketentuan yang harus dipenuhi dalam perencanaan denah (*lay-out*) sistem distribusi adalah sebagai berikut:

- a) Denah (*lay-out*) sistem distribusi ditentukan berdasarkan keadaan topografi wilayah pelayanan dan lokasi instalasi pengelolaan air.
- b) Tipe sistem distribusi ditentukan berdasarkan keadaan topografi wilayah pelayanan.
- c) Jika keadaan topografi tidak memungkinkan untuk sistem grafitasi seluruhnya, diusulkan kombinasi sistem grafitasi dan pompa. Jika semua wilayah pelayanan relatif datar, maka dapat digunakan sistem pemompaan langsung, kombinasi dengan menggunakan menara air, atau penambahan pompa penguat (*Booster pump*).
- d) Jika terdapat perbedaan elevasi wilayah pelayanan terlalu besar atau lebih dari 40 m, wilayah pelayanan dibagi menjadi beberapa zona sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan tekanan minimum. Untuk mengatasi tekanan yang berlebihan dapat digunakan katup pelepas tekan (*Pressure Reducing Valve*). Untuk mengatasi kekurangan tekanan dapat digunakan pompa penguat.

Tabel 2.7 Kriteria Pipa Distribusi

No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit perencanaan	Q puncak	Kebutuhan air jam puncak $Q_{\text{peak}} = F_{\text{peak}} \times Q_{\text{rata-rata}}$
2	Faktor jam puncak	F puncak	1,15 - 3
3	Kecepatan aliran air dalam pipa		
	a) Kecepatan Minimum	V min	0,3 - 0,6 m/det
	b) Kecepatan Maksimum		
	- Pipa PVC atau ACP	V max	3,0 - 4,5 m/det
	- Pipa Baja atau DICP	V max	6,0 m/det
4	Tekanan air dalam pipa		
	a) Tekanan Minimum	h min	(0,5 - 1,0) atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh
	b) Tekanan Maksimum		
	- Pipa PVC atau ACP	h max	6 - 8 atm
	- Pipa Baja atau DICP	h max	10 atm
	- Pipa PE 100	h max	12,4 Mpa
	- Pipa PE 80	h max	9,0 Mpa

Sumber: Peraturan Menteri PU No : 18/PRT/M/2007: 30

## 2.9 Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air bersih dengan Aplikasi Software

Analisis sistim jaringan distribusi air bersih merupakan suatu perencanaan yang rumit. Penyebab utama rumitnya analisis dikarenakan banyaknya jumlah proses *trial and error* yang harus dilakukan pada seluruh komponen yang ada pada sistim jaringan distribusi air bersih jaringan tersebut.

Pada saat ini program-program komputer di bidang perencanaan sistim jaringan distribusi air bersih sudah demikian berkembang dan maju sehingga kerumitan dalam perencanaan sistim jaringan distribusi air bersih dapat diatasi dengan menggunakan program tersebut. Proses *trial and error* dapat dilakukan dalam waktu singkat dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil karena programlah yang akan menganalisisnya.

Beberapa program komputer di bidang rekayasa dan perencanaan sistim jaringan distribusi air bersih diantaranya adalah program *LOOPS*, *WADISO*, *EPANET 1.1*, *EPANET 2.0*, *WaterCAD*, dan *WaterNet*. Dalam studi ini digunakan program *WaterCAD v.8 XM Edition* karena program ini tergolong menganalisis sistem jaringan distribusi air bersih.

### 2.9.1 Deskripsi Program *WaterCad v8 Edition*

Program *WaterCAD v.8 XM Edition* merupakan produksi dari *Bentley* dengan jumlah pipa yang mampu dianalisis yaitu lebih dari 250 buah pipa sesuai pemesanan spesifikasi program *WaterCAD v.8 XM Edition* pada *Bentley*. Program ini dapat bekerja pada sistim *Windows 95*, *98* dan *2000* serta *Windows NT 4.0*. Program ini memiliki tampilan *interface* yang memudahkan pengguna untuk menyelesaikan lingkup perencanaan dan pengoptimalisasian sistim jaringan distribusi air bersih, seperti:

- menganalisis sistim jaringan distribusi air pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
- menganalisis tahapan-tahapan atau periodisasi simulasi pada sistim jaringan terhadap adanya kebutuhan air yang berfluktuatif menurut waktu (kondisi tidak permanen).
- menganalisis skenario perbandingan atau alternatif jaringan pada kondisi yang berlainan pada satu file kerja.
- menganalisis kondisi jaringan pada saat kondisi ekstrim untuk keperluan pemadam kebakaran atau *hydrant (fire flow analysis)*.
- menganalisis kualitas air pada sistim jaringan distribusi air bersih.
- menghitung konstruksi biaya dari sistim jaringan distribusi air bersih yang dibuat.

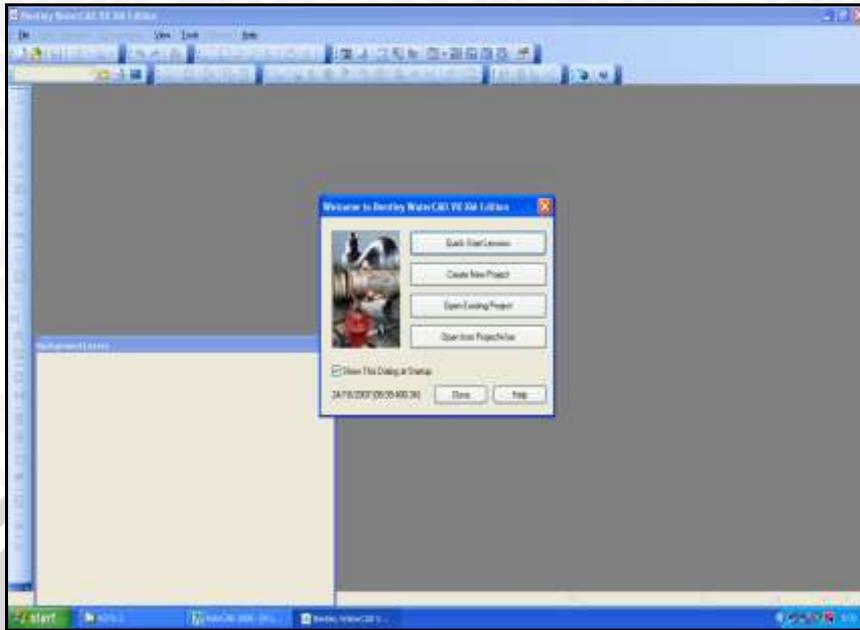
Adapun kelebihan program *WaterCAD v8 XM Edition* dibandingkan dengan program lain adalah:

- Mendukung *GIS database connection* (Sistim Informasi Geografis) pada program *ArcView*, *ArcCAD*, *MapInfo* dan *AutoCAD* yang memudahkan untuk penggabungan model hidrolik *WaterCad* dengan database utama pada program tersebut.
- Mendukung program *Microsoft Office*, *Microsoft Excel* dan *Microsoft Access* untuk *sharing* data pada file *WaterCad*.
- Mendukung program *EPANET* versi *Windows* sehingga dapat mengubah *file* jaringan pipa program tersebut ke dalam bentuk *file WaterCAD (.wtg)*.

## 2.9.2 Tahapan dalam Penggunaan Program *WaterCAD v8 XM Edition*

### a. *Welcome Dialog*

Pada setiap pembukaan awal program *WaterCAD v.8 XM Edition*, akan diperlihatkan sebuah *dialog box* yang disebut *Welcome Dialog*. Kotak tersebut memuat *Quick Start Leason*, *Create New Project*, *Open Existing Project* serta *Open from Project Wise* seperti terlihat pada gambar di bawah. Melalui *Welcome Dialog* ini pengguna dapat langsung mengakses ke bagian lain untuk menjalankan program ini.



Gambar 2.10 Tampilan *Welcome Dialog*  
Sumber: *Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition*

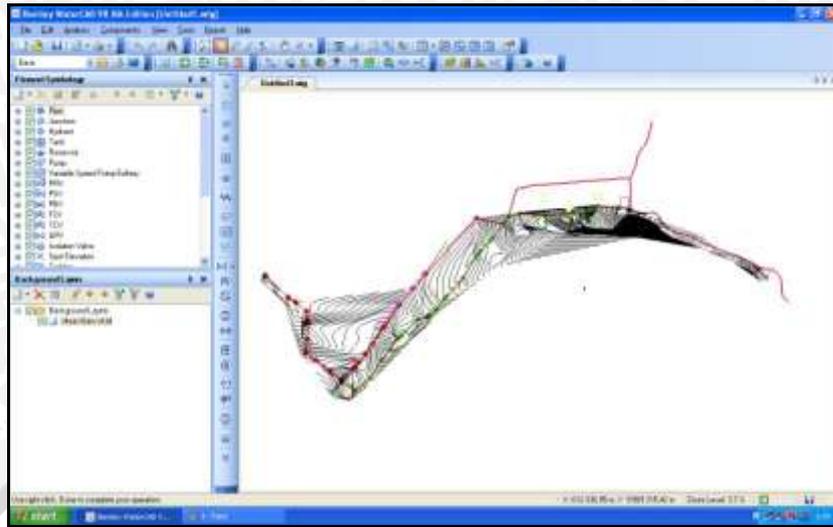
*Quick Start Lesson*, digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCAD v.8 XM Edition* akan menuntun kita memahami cara menggunakan program ini. Untuk membuka *Quick Start Lesson* dilakukan dengan cara klik 2 kali kotak *Quick Start Lesson*. Dan *Create New Project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru.

#### **b. Pembuatan Lembar Kerja**

Pembuatan lembar kerja baru atau *Create New Project* pada program *WaterCAD v.8 XM Edition* ini dapat dilakukan dengan cara klik 2 kali *Create New Project* pada *Welcome Dialog*. Setelah masuk ke dalam lembar kerja baru tampilkan *Background Layers* dengan cara mengklik kanan *Background Layers – New – File* dan pilih file *DXF*.

Setelah file *dxf* terpilih masuk dalam *DXF. Properties* dan unit diganti dalam m (meter). Setelah itu klik OK dan *Zoom Extents*.

Setelah *Background Layers* muncul dalam tampilan maka perencanaan atau penggambaran jaringan bisa dilakukan.



Gambar 2.11 Tampilan *Background Layers*  
Sumber: Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition

Setelah penggambaran jaringan dilakukan adalah pengisian data-data teknis dan pemodelan komponen-komponen sistim jaringan distribusi air bersih yang akan dipakai dalam penggambaran yang memudahkan untuk pengecekan. Komponen tersebut terdiri dari *reservoir*, pipa, titik simpul (*junction*), tandon, dan lain-lain

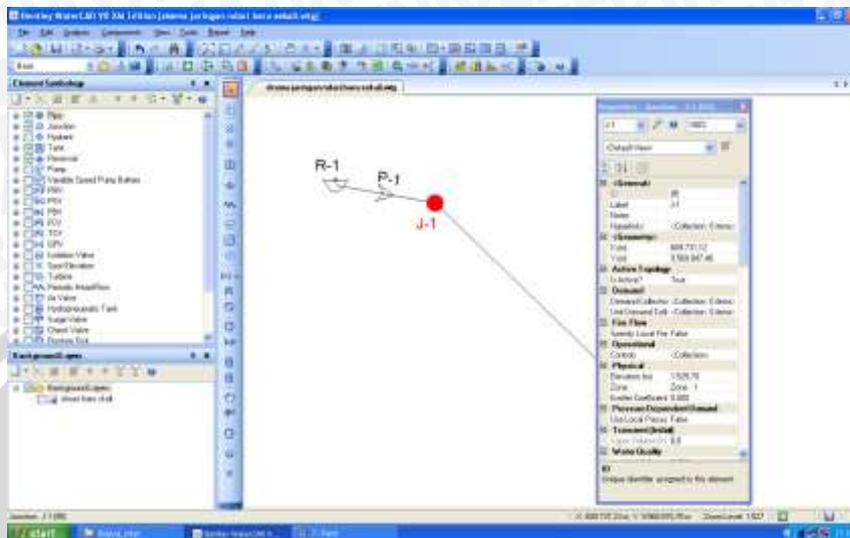
### c. Pemodelan Komponen-Komponen Sistim Jaringan Distribusi Air bersih

Dalam *WaterCAD v.8 XM Edition*, komponen-komponen sistim jaringan distribusi air bersih seperti titik reservoir, pipa, titik simpul (*junction*), tandon tersebut dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *WaterCAD v.8 XM Edition* telah memberikan penamaan setiap komponen tersebut secara otomatis yang dapat diganti sesuai dengan keperluan agar memudahkan dalam pengerjaan, pengamatan, penggantian ataupun pencarian suatu komponen tertentu. Agar dapat memodelkan setiap komponen sistim jaringan distribusi air bersih dengan benar, perancang harus mengetahui cara memodelkan komponen tersebut dalam *WaterCAD v.8 XM Edition*. Adapun jenis-jenis pemodelan komponen sistim jaringan distribusi air bersih dalam *WaterCAD v.8 XM Edition* adalah sebagai berikut:

#### 1. Pemodelan titik-titik simpul (*junction*)

Titik simpul merupakan suatu simbol yang mewakili atau komponen yang bersinggungan langsung dengan konsumen dalam hal pemberian air bersih. Ada dua tipe aliran pada titik simpul ini, yaitu berupa kebutuhan air (*demand*) dan berupa aliran masuk (*inflow*). Jenis aliran yang berupa kebutuhan air bersih 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 bersih pada titik simpul tersebut.



Gambar 2.12 Tampilan Pengisian Data Teknis Junction

Sumber: Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition

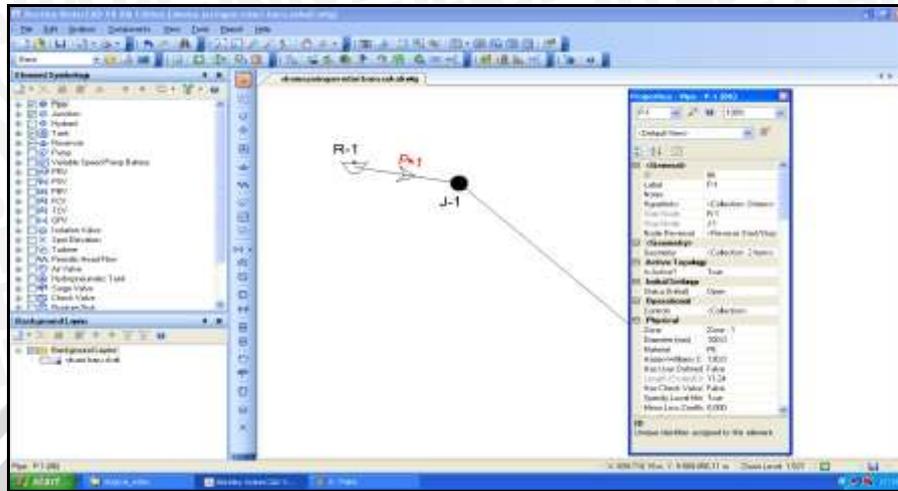
## 2. Pemodelan kebutuhan air bersih

Kebutuhan air bersih pada tiap-tiap titik simpul dapat berbeda-beda yang bergantung dari luas cakupan layanan dan jumlah konsumen pada titik simpul tersebut. Kebutuhan air menurut *WaterCAD v.8 XM Edition* dibagi menjadi dua yaitu kebutuhan tetap (*fixed demand*) dan kebutuhan berubah (*variable demand*). Kebutuhan tetap adalah kebutuhan air rerata tiap harinya sedangkan kebutuhan berubah atau berfluktuatif adalah kebutuhan air yang berubah setiap jamnya sesuai dengan pemakaian air.

## 3. 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, kekasaran (*roughness*) dan status pipa (buka-tutup). Jenis bahan pipa oleh *WaterCAD v.8 XM Edition* telah disediakan sehingga dapat dipilih secara langsung sesuai dengan jenis bahan pipa yang digunakan di lapangan. 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.

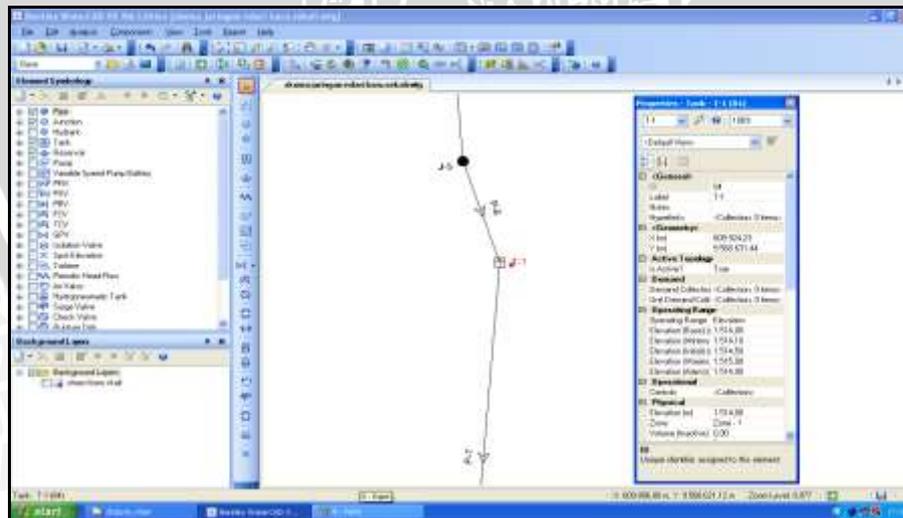


Gambar 2.13 Tampilan Pengisian Data Teknis Pipa

Sumber: Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition

#### 4. Pemodelan tandon

Untuk pemodelan tandon 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.



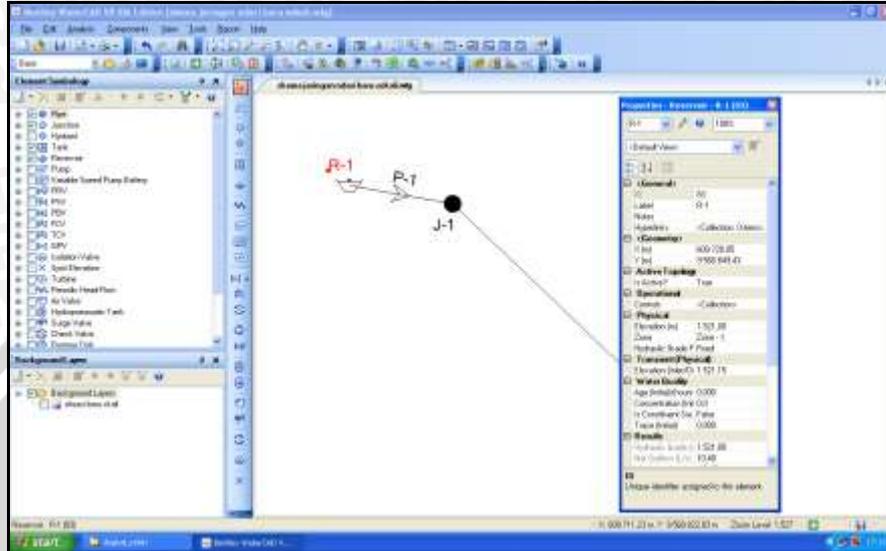
Gambar 2.14 Tampilan Pengisian Data Teknis Tandon

Sumber: Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition

#### 5. Pemodelan mata air

Pada program *WaterCAD v.8 XM Edition*, *reservoir* digunakan sebagai model dari suatu sumber air seperti danau dan sungai. Di sini *reservoir* dimodelkan sebagai

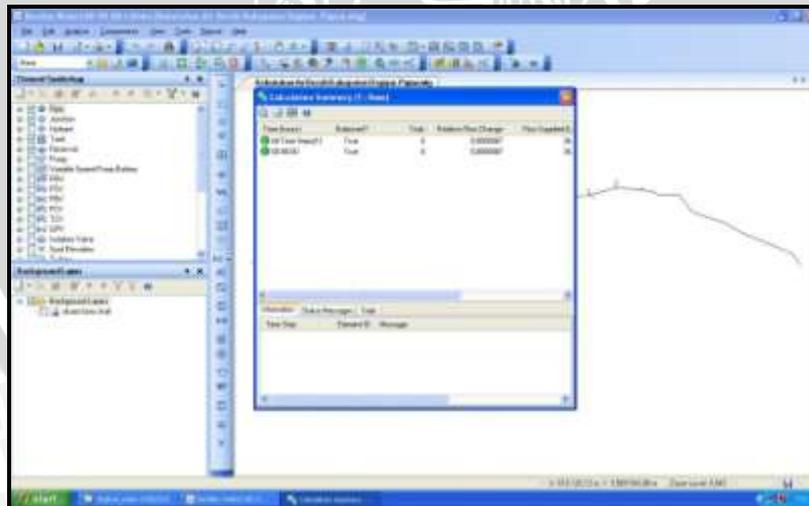
sumber air yang tidak bisa habis atau elevasi air selalu berada pada elevasi konstan pada saat berapapun kebutuhan airnya. Data yang dibutuhkan untuk memodelkan sebuah mata air adalah kapasitas debit dan elevasi mata air tersebut.



Gambar 2.15 Tampilan Pengisian Data Teknis Reservoir Pada  
 Sumber: Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition

**d. Perhitungan dan Analisis Sistem Jaringan Distribusi Air bersih**

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



Gambar 2.16 Tampilan Hasil *Running* (*Calculate*)  
 Sumber: Bentley Program WaterCAD v.8 XM Edition

BAB II.....	4
LANDASAN TEORI.....	4
2.1  Pertumbuhan Jumlah Penduduk.....	4
2.1.1  Metode Eksponensial.....	4
2.1.2  Metode Aritmatik.....	4
2.1.3  Metode Geometrik.....	4
2.2  Uji Kesesuaian Metode Proyeksi.....	5
2.2.1  Standar deviasi.....	5
2.2.2  Koefisien korelasi.....	5
2.3  Kebutuhan Air bersih.....	6
2.3.1  Kebutuhan Domestik.....	7
2.3.2  Kebutuhan non domestik.....	8
2.3.3  Kehilangan Air.....	8
2.3.4  Rencana Alokasi Air bersih.....	8
2.3.5  Fluktuasi.....	10
2.4  Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa.....	10
2.4.1  Kecepatan Aliran.....	10
2.4.2  Hukum Bernoulli.....	11
2.4.3  Hukum Kontinuitas.....	12
2.4.4  Kehilangan Tinggi Tekan ( <i>Head Loss</i> ).....	13
2.4.4.1  Kehilangan Tinggi Tekan Mayor ( <i>Major Losses</i> ).....	13
2.4.4.2  Kehilangan Tinggi Tekan Minor ( <i>Minor Losses</i> ).....	15
2.4.5  Pengaruh Pertambahan Umur Pipa.....	17
2.5  Elemen-Elemen pada Jaringan Distribusi Air bersih.....	18
2.5.1  Pipa.....	18
2.5.1.1  Jenis Pipa.....	18
2.5.1.2  Sarana Penunjang.....	19
2.5.2  Menara Air.....	21
2.5.3  Titik Simpul ( <i>Junction</i> ).....	21
2.5.4  Penghubung ( <i>Link</i> ).....	21
2.6  Tandon.....	21
2.7  Mekanisme Pengaliran dalam Pipa.....	23

2.7.1	Sistem Pipa .....	23
2.7.1.1	Pipa Hubungan Seri .....	24
2.7.1.2	Pipa Hubungan Pararel .....	24
2.8	Simulasi Aliran pada Sistem Jaringan Distribusi .....	25
2.8.1	Analisa pada Kondisi Permanen .....	25
2.8.2	Analisa pada Kondisi Tidak Permanen .....	25
2.8.3	Perencanaan Teknik Unit Distribusi .....	26
2.9	Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air bersih dengan Aplikasi Software.....	27
2.9.1	Deskripsi Program <i>WaterCad v8 Edition</i> .....	27
2.9.2	Tahapan dalam Penggunaan Program <i>WaterCAD v8 XM Edition</i> .....	28
Tabel 2.1	Kategori Tingkat Pelayanan Air Minum. ....	6
Tabel 2.2	Kebutuhan Air Berdasarkan Fasilitas (liter/jiwa/hari).....	6
Tabel 2.3	Kriteria Pemakaian Air Bersih.....	9
Tabel 2.4	Faktor Pengali ( <i>Load Factor</i> ) Terhadap Kebutuhan Air Bersih.....	10
Tabel 2.5	Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Hazen-Williams.....	15
Tabel 2.6	Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Sesuai Perubahan Bentuk Pipa (K).....	16
Tabel 2.7	Kriteria Pipa Distribusi .....	27
Gambar 2.1	Grafik Fluktuasi Pemakaian Air bersih Harian.....	10
Gambar 2.2	Diagram Energi dan Garis Tekanan.....	11
Gambar 2.3	Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda.....	12
Gambar 2.4	Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang.....	13
Gambar 2.5	Diagram <i>Moody</i> .....	17
Gambar 2.6	Pressure Reducer Valve (PRV).....	20
Gambar 2.7	Pressure Sustaining Valve (PSV).....	21
Gambar 2.8	Hubungan Pipa Seri .....	24
Gambar 2.9	Hubungan Pipa Paralel.....	25
Gambar 2.10	Tampilan <i>Welcome Dialog</i> .....	29
Gambar 2.11	Tampilan <i>Background Layers</i> .....	30
Gambar 2.12	Tampilan Pengisian Data Teknis Junction.....	31
Gambar 2.13	Tampilan Pengisian Data Teknis Pipa .....	32
Gambar 2.14	Tampilan Pengisian Data Teknis Tandon .....	32

Gambar 2.15 Tampilan Pengisian Data Teknis Reservoir Pada..... 33  
Gambar 2.16 Tampilan Hasil *Running (Calculate)*..... 33

