

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Proyeksi Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk merupakan perkiraan jumlah penduduk di masa datang. Perhitungan proyeksi jumlah penduduk sangat penting dilakukan sebagai dasar perhitungan perencanaan pengembangan penyediaan air bersih pada suatu wilayah dalam kurun waktu perencanaan. Beberapa faktor yang mempengaruhi proyeksi penduduk adalah:

1. Jumlah populasi dalam suatu wilayah
2. Kecepatan pertumbuhan penduduk
3. Kurun waktu proyeksi

Hasil analisa ini selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan perencanaan pengembangan penyediaan air bersih. Metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk di masa mendatang yaitu:

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

2.1.1 Metode Geometrik

Dengan menggunakan metode geometrik, maka perkembangan penduduk suatu daerah dapat dihitung dengan formula sebagai berikut (Muliakusumah, 2000:115). Metode ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

dengan:

- P_n = Jumlah penduduk dalam tahun ke-n (jiwa)
 P_o = Jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)
 r = Angka pertambahan penduduk tiap tahun (%)
 n = Jumlah tahun proyeksi (tahun)

2.1.2 Metode Aritmatik

Jumlah perkembangan penduduk dengan menggunakan metode ini dirumuskan sebagai berikut (Muliakusumah, 2000:115):

$$P_n = P_0(1 + rn) \quad (2-2)$$

dengan:

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

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk per tahun (%)

n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

2.1.3 Metode Eksponensial

Perkiraan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dapat dengan persamaan berikut (Muliakusumah, 2000:115):

$$P_n = P_0 \cdot e^{r \cdot n} \quad (2-3)$$

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)

2.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Uji kesesuaian metode proyeksi dilakukan dengan cara menentukan metode proyeksi penduduk yang dipakai sebagai dasar perencanaan yaitu memilih satu metode yang paling mewakili pola pertumbuhan penduduk di wilayah perencanaan. Diperlukan perhitungan standar deviasi.

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).

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

dengan:

S = Standar deviasi

X_i = Nilai varian (penduduk proyeksi)

n = Jumlah data

\bar{X} = Nilai rata-rata

2.2.2 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi merupakan suatu angka yang dapat dijadikan petunjuk untuk mengetahui seberapa besar kekuatan korelasi di antara variabel yang sedang diselidiki korelasinya. Besar angka koefisien korelasi berkisar antara nol sampai plus minus satu.

Berikut merupakan rumusan dari perhitungan koefisien korelasi:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (2-5)$$

dengan:

r = faktor korelasi

x = jumlah penduduk dari data yang diketahui

y = jumlah penduduk pada tahun ke n

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-hari.

Pemakaian air oleh masyarakat tidak terbatas pada keperluan domestik, namun digunakan pula untuk keperluan industri dan keperluan perkotaan. 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 (Linsley, 1996:91).

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 dari rerata kebutuhan air per satuan orang perhari. Kebutuhan air perorang perhari

disesuaikan dengan dimana orang itu tinggal. Setiap kategori kota tertentu mempunyai kebutuhan akan air yang berbeda.

Tabel 2.1 Kebutuhan Air Bersih berdasarkan Kategori Kota dan Jumlah Penduduk

Kategori kota	Keterangan	Jumlah Penduduk	Kebutuhan air (lt/oro/hr)
I	Kota Metropolitan	>1.000.000	> 150
II	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	120-150
III	Kota Sedang	100.000 - 500.000	90-120
IV	Kota Kecil	20.000 - 100.000	80-120
V	Desa	< 20.000	60-80

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996.

2.3.2 Kebutuhan Non Domestik

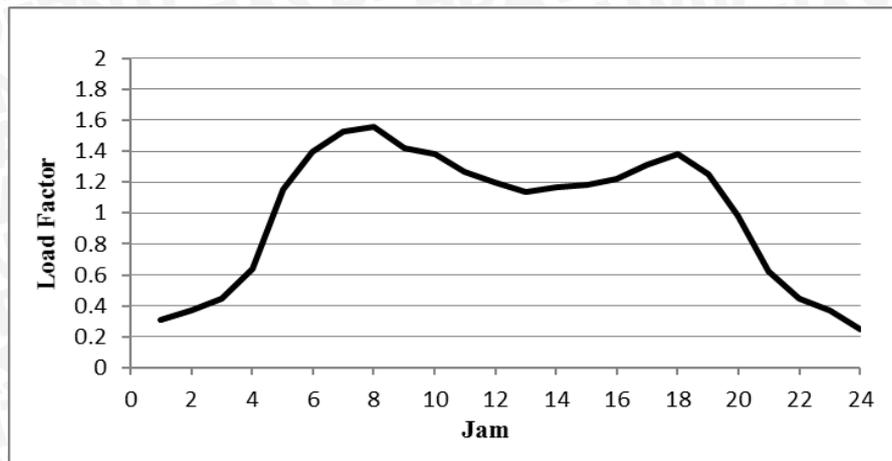
Kebutuhan non domestik merupakan kebutuhan air selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, seperti penyediaan air untuk sarana sosial, tempat ibadah, sekolah, rumah sakit, asrama dan juga untuk keperluan komersil seperti industri, hotel, perdagangan serta untuk pelayanan jasa umum. Adapun besarnya kebutuhan non domestik berdasarkan Permen PU Tentang Penyelenggaraan Pengembangan SPAM adalah sebesar 15% dari kebutuhan domestik.

2.4 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Pada umumnya masyarakat/pelanggan di Indonesia melakukan aktifitas penggunaan air pada pagi dan sore hari, dengan tingkat pemakaian air lebih banyak dibandingkan jam-jam lainnya, dan pada malam hari, pemakaian air yang relatif kecil. Dari keseluruhan aktifitas dan konsumsi selama sehari (24 jam) dapat diketahui konsumsi rata-rata dan koefisien jam puncak untuk hari yang dimaksud.

Besarnya pemakaian air oleh masyarakat pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih tidaklah berlangsung konstan, namun terjadi fluktuasi antara waktu yang satu dengan waktu yang lain. Dengan memasukkan faktor kehilangan air ke dalam kebutuhan dasar, maka selanjutnya disebut sebagai fluktuasi kebutuhan air.

Corak variasi kebutuhan air bersih harian yang terjadi pada titik simpul dihitung dengan menggunakan metode pendekatan penelitian corak fluktuasi kebutuhan air bersih harian yang dilakukan oleh Dirjen Cipta Karya Departemen PU, karena metode pendekatan berdasarkan penelitian variasi kebutuhan air bersih tersebut diasumsikan dapat mewakili perubahan kebutuhan air bersih sepanjang waktu di Indonesia.



Gambar 2.1 Fluktuasi Pemakaian Air Harian

Sumber: Ditjen Cipta Karya Departemen PU (1994:24)

Tabel 2.2 Kriteria Pemakaian Air Bersih

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LF	0,31	0,37	0,45	0,64	1,15	1,4	1,53	1,56	1,42	1,38	1,27	1,2
Jam	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LF	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: Grafik Fluktuasi Pemakaian Air Bersih oleh Ditjen Cipta Karya Departemen PU (1994:24)

2.5 Sistem Hidraulika dalam Distribusi Air Bersih

Pendistribusian air bersih kepada konsumen dengan kuantitas, kualitas, dan tekanan yang cukup memerlukan *reservoir* dan sistem perpipaan yang baik. Metode pendistribusian air tergantung pada kondisi topografi dari sumber air dan posisi daerah pelayanan. Menurut Hoaward, S. Peavy et al. (1985) sistem pengaliran yang dipakai adalah sebagai berikut :

➤ Cara Gravitasi

Cara pengaliran gravitasi digunakan apabila elevasi sumber air mempunyai perbedaan cukup besar dengan elevasi daerah pelayanan. Sistem gravitasi memberikan energi potensial yang cukup tinggi hingga pada daerah pelayanan terjauh. Cara ini dianggap cukup ekonomis karena hanya memanfaatkan beda ketinggian lokasi.

➤ Cara Pemompaan

Sistem ini digunakan untuk meningkatkan tekanan yang diperlukan untuk mendistribusikan air dari *reservoir* distribusi ke konsumen. Pemompaan digunakan jika elevasi antara sumber air atau instalasi pengolahan dan daerah pelayanan tidak dapat memberikan tekanan yang cukup.

➤ Cara Gabungan

Sistem pengaliran air dari sumber ke tempat *reservoir* dengan cara menggabungkan dua sistem pengaliran yaitu sistem gravitasi dan sistem pompa.

2.6 Hidraulika Aliran pada Sistem Jaringan Pipa Air Bersih

Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil. Aliran tersebut memiliki tiga macam energi yang bekerja di dalamnya, yaitu (Priyantoro, 1991:5):

1. Energi kinetik, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan kecepatannya.
2. Energi tekanan, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan tekanannya.
3. Energi ketinggian, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan ketinggiannya terhadap garis referensi (*datum line*).

2.6.1 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam pipa berbeda-beda tergantung jenis pipa yang digunakan, dimana hal ini juga 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 kondisi ini, dan akan membebani biaya perawatan. Sebaliknya, jika kecepatan aliran terlalu tinggi, maka akan berakibat korosi pada pipa dan juga menambah nilai *head loss* yang berakibat elevasi reservoirnya harus tinggi. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = A.V \quad (2-6)$$

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V \quad (2-7)$$

dengan:

Q = Debit yang mengalir (m³/detik)

A = Luas penampang (m²)

V = Kecepatan (m/detik)

2.6.2 Hukum Bernoulli

Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil, prinsip Bernoulli adalah tinggi

energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_{\text{Tot}} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan}$$

$$E_{\text{Tot}} = h + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \quad (2-8)$$

dengan:

p = Tekanan (kg/m^2)

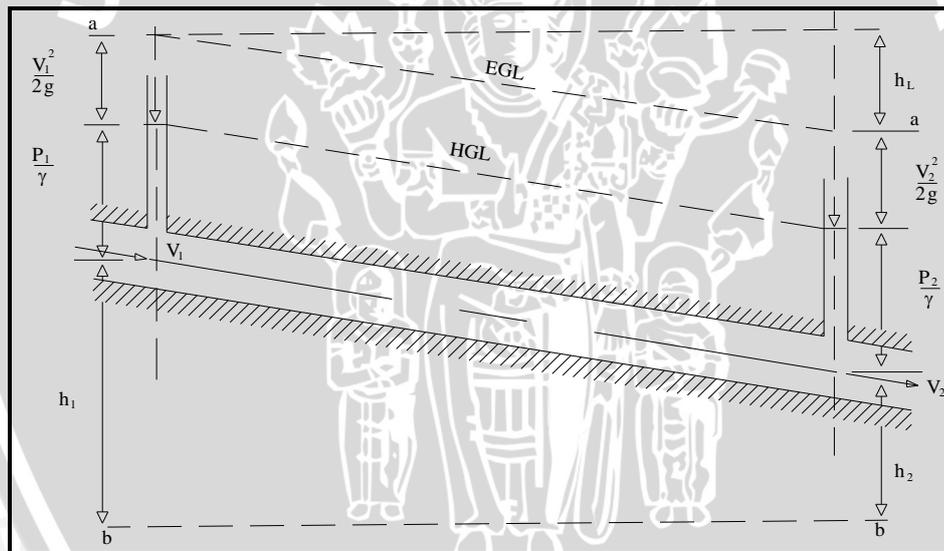
γ_w = Berat jenis air (kg/m^3)

V = Kecepatan aliran (m/det)

g = Percepatan gravitasi (m/det^2)

h = Tinggi (m)

Menurut teori Kekekalan Energi dari Hukum Bernoulli apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Garis Tenaga dan Tekanan pada Zat Cair

Sumber: Priyantoro (1991:7)

Adapun Persamaan *Bernoulli* dalam gambar diatas dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991:8):

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

dengan:

$\frac{p_1}{\gamma_w}, \frac{p_2}{\gamma_w}$ = Tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)

$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$ = Tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)

p_1, p_2 = Tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m^2)

γ_w = Berat jenis air (kg/m^3)

V_1, V_2 = Kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det)

g = Percepatan gravitasi (m/det^2)

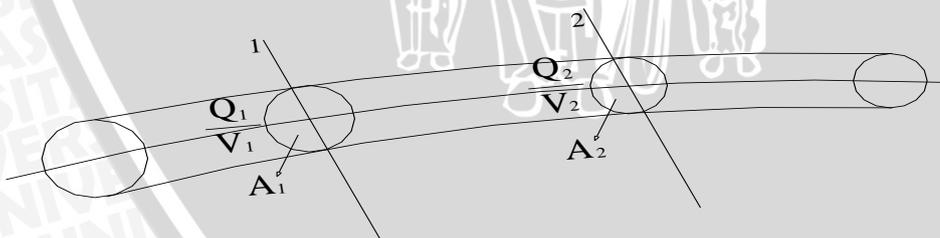
h_1, h_2 = Tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

H_f = Kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

Pada Gambar 2.2 tampak garis yang menunjukkan besarnya tekanan air pada penampang tinjauan. Garis tekanan ini pada umumnya disebut garis gradien hidrolis atau garis kemiringan hidrolis. Jarak vertikal antara pipa dengan garis gradien hidrolis menunjukkan tekanan yang terjadi dalam pipa. Pada gambar juga tampak adanya perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2 merupakan kehilangan energi (*headloss*) yang terjadi sepanjang antara penampang 1 dan 2.

2.6.3 Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa secara terus menerus yang mempunyai luas penampang ($A=\text{m}^2$) dan kecepatan ($v=\text{m/det}$) akan memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya. Dalam persamaan Hukum *Kontinuitas* dinyatakan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

Sumber: Triatmodjo (1996:137)

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

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

dengan:

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

A = Luas penampang (m^2)

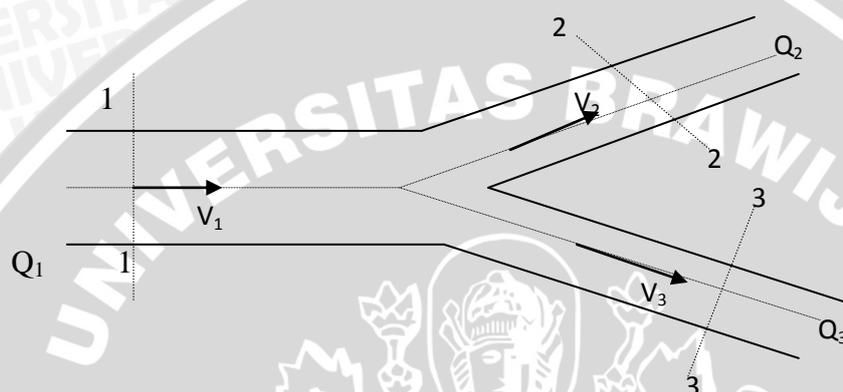
V = Kecepatan (m/detik)

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

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2-11)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3$$

Hukum Kontinuitas pada pipa bercabang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Pipa Bercabang

Sumber: Linsley (1996:276)

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

2.6.4 Kehilangan Tinggi Tekan (*HeadLoss*)

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

2.6.4.1 Kehilangan Tinggi Mayor (*Major Losses*)

Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain bergantung juga pada jenis pipa. Ada beberapa teori dan formula untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor ini yaitu dari *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach*, *Manning*, *Chezy*, *Colebrook-White* dan *Swamme-Jain*. Adapun besarnya kehilangan tinggi tekan mayor dalam kajian ini dihitung dengan persamaan *Hazen-Williams* (Anonim, 2000):

$$Q = 0.354 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54} \quad (2-12)$$

$$V = 0.354 \cdot C_{hw} \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54} \quad (2-13)$$

dengan:

V = Kecepatan aliran pada pipa (m/det)

C_{hw} = Koefisien kekasaran pipa *Hazen-Williams* (Tabel 2.3)

A = Luas penampang aliran (m^2)

Q = Debit aliran pada pipa (m^3 /det)

S = Kemiringan hidraulis

$$= h_f / L$$

R = Jari-jari hidrolis (m)

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

$$= D / 4$$

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)

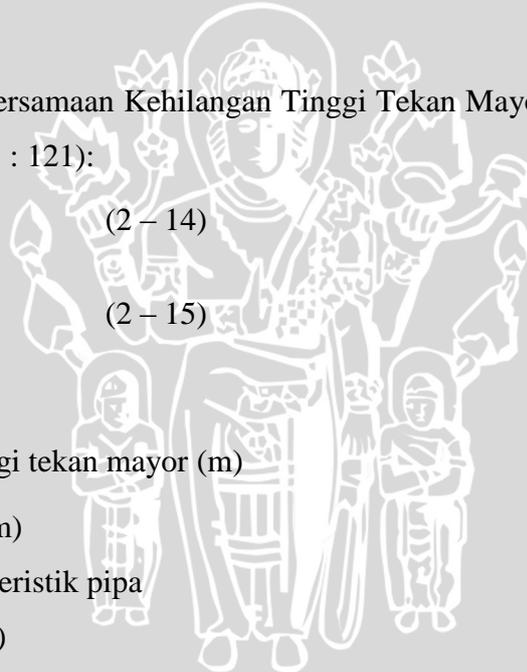
D = Diameter pipa (m)

k = Koefisien karakteristik pipa

L = Panjang pipa (m)

Q = Debit aliran pada pipa (m^3 /det)

C_{hw} = koefisien kekasaran *Hazen-Williams*



Tabel 2.3 Koefisien Kekasaran Pipa *Hazen-Williams* (C_{HW})

<i>Pipe Materials</i>	C_{HW}
<i>Asbestos Cement</i>	140
<i>Brass</i>	130-140
<i>Brick sewer</i>	100
<i>Cast Iron</i>	
<i>New Unlined</i>	130
<i>10 years old</i>	107-113
<i>20 years old</i>	89-100
<i>30 years old</i>	75-90
<i>40 years old</i>	64-83
<i>Concrete or concrete lined</i>	
<i>Steel forms</i>	140
<i>Wooden forms</i>	120
<i>Centrifugally spun</i>	135
<i>Copper</i>	130-140
<i>Galvanized iron</i>	120
<i>Glass</i>	140
<i>Lead</i>	130-140
<i>Plastic (PVC)</i>	140-150
<i>Steel</i>	
<i>Coal-tarenamel lined</i>	145-150
<i>New Unlined</i>	140-150
<i>Riveted</i>	110
<i>Tin</i>	130
<i>Vitrified clay</i>	110-140
<i>Wood stave</i>	120

Sumber: Priyantoro Dwi (1991 : 20)

Adapun penggunaan metode *Hazen-Williams* ini disebabkan karena metode *Hazen-Williams* ini paling sering digunakan oleh para teknisi dalam analisis sistem pipa bertekanan (Bentley, 2007:934). Selain itu penentuan nilai koefisien kekasaran pada masing-masing jenis bahan pipa juga lebih mudah karena tidak dalam bentuk grafik seperti pada metode yang lain sehingga kesalahan dalam penentuan nilai kekasaran dapat lebih diminimalisir.

2.6.4.2 Kehilangan Tinggi Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan energi minor diakibatkan oleh adanya belokan pada pipa sehingga menimbulkan turbulensi. Selain itu juga dikarenakan adanya penyempitan maupun pembesaran penampang secara mendadak.

Pada pipa-pipa yang panjang, kehilangan minor ini sering diabaikan tanpa kesalahan yang berarti ($L/D \gg 1000$), tetapi dapat menjadi cukup penting pada pipa yang pendek (Priyantoro, 1991:37). Kehilangan minor pada umumnya akan lebih besar bila terjadi

perlambatan kecepatan aliran di dalam pipa dibandingkan peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa (Linsley, 1989:273). Adapun kehilangan tinggi tekan minor dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

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

dengan:

- h_{Lm} = Kehilangan tinggi minor (m)
- V = Kecepatan rata-rata dalam pipa (m/det)
- g = Percepatan gravitasi (m/det²)
- K = Koefisien kehilangan tinggi tekan minor (Tabel 2.4)

Atau

$$h_{Lm} = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2-17)$$

dengan:

- h_{Lm} = kehilangan tinggi minor (m)
- V = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/det)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)
- K = koefisien kehilangan tinggi tekan minor (Tabel 2.4)

Besarnya nilai koefisien K sangat beragam, tergantung dari bentuk fisik pengecilan, pembesaran, belokan, dan katup. Namun nilai K ini masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan. Adapun nilai K dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Berdasarkan Perubahan Bentuk Pipa (K)

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K	Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K
Inlet		Belokan 90°	
<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		
Pengecilan Tiba-tiba		Belokan Tertentu	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,18	$\theta = 15^\circ$	0,05
$D_2/D_1 = 0,50$	0,37	$\theta = 30^\circ$	0,10
$D_2/D_1 = 0,20$	0,49	$\theta = 45^\circ$	0,20
		$\theta = 60^\circ$	0,35
		$\theta = 90^\circ$	0,80
Pengecilan Mengerucut		T (Tee)	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,05	Aliran searah	0,03-0,04
$D_2/D_1 = 0,50$	0,07	Aliran bercabang	0,75-1,80
$D_2/D_1 = 0,20$	0,08		
Pembesaran Tiba-tiba		Persilangan	
$D_2/D_1 = 0,80$	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		
Pembesaran Mengerucut		45° Wye	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,03	Aliran searah	0,30
$D_2/D_1 = 0,50$	0,08	Aliran bercabang	0,50
$D_2/D_1 = 0,20$	0,13		

Sumber: Haestad, 2001

2.7 Komponen Sistem Jaringan Pipa Air

2.7.1 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.

2.7.1.1 Jenis Pipa

Pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih, pipa merupakan komponen yang utama. Dalam pelayanan penyediaan air bersih lebih banyak digunakan pipa bertekanan karena lebih sedikit kemungkinan tercemar dan biayanya lebih murah dibandingkan menggunakan saluran terbuka atau talang. Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri air dalam keadaan penuh (Linsley, 1996:280).

Pipa yang umumnya dipakai untuk sistem jaringan distribusi air terbuat dari bahan-bahan seperti di bawah ini:

1. Pipa Besi Tuang (*Cast Iron*)

Pipa besi tuang telah digunakan lebih dari 200 tahun yang lalu. Pipa ini biasanya dicelupkan dalam larutan kimia untuk perlindungan terhadap karat. Umumnya panjang pipa adalah 4 m dan 6 m. Tekanan maksimum pipa sebesar 25 kg/cm² dan umur pipa dapat mencapai 100 tahun (Linsley, 1996:297).

Keuntungan dan kerugian dari pipa ini seperti tersaji pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Keuntungan dan Kerugian Pipa *Cast Iron*

Keuntungan	Kerugian
- Pipa cukup murah	- Pipa berat sehingga biaya pengangkutan mahal
- Pipa mudah disambung	- Pipa keras sehingga mudah pecah
- Pipa tahan karat	- Dibutuhkan tenaga ahli dalam penyambungan

Sumber : Linsley (1996:297)

2. Pipa Besi Galvanis (*Galvanized Iron*)

Pipa jenis ini bahannya terbuat dari pipa baja yang dilapisi seng. Pelapisan dengan cara ini merupakan pengendalian karat yang efektif. Umur pipa pendek yaitu antara 7 – 10 tahun. Pipa berlapis seng digunakan secara luas untuk jaringan pelayanan sistem distribusi yang kecil (Linsley, 1996:297).

Keuntungan dan kerugian dari pipa ini seperti tersaji pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Keuntungan dan Kerugian Pipa *Galvanized Iron*

Keuntungan	Kerugian
- Harga murah dan banyak tersedia di pasaran	- Pipa mudah berkarat dalam air yang asam
- Ringan sehingga mudah diangkut	
- Pipa mudah disambung	

Sumber : Linsley (1996:297)

3. Pipa Plastik (PVC)

Pipa ini lebih dikenal dengan sebutan pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*). Panjang pipa 4 m atau 6 m dengan ukuran diameter pipa mulai 16 mm hingga 350 mm. Dan umur pipa dapat mencapai 75 tahun (Linsley, 1996:301).

Keuntungan dan kerugian dari pipa ini seperti tersaji pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Keuntungan dan Kerugian Pipa PVC

Keuntungan	Kerugian
- Harga murah dan banyak tersedia di pasaran	- Pipa jenis ini mempunyai koefisien muai besar sehingga tidak tahan panas
- Ringan sehingga mudah diangkut	
- Mudah dalam pemasangan dan penyambungan	
- Pipa tahan karat	- Mudah bocor dan pecah

Sumber: Linsley (1996:301)

4. Pipa Baja (*Steel Pipe*)

Pipa ini terbuat dari baja lunak dan mempunyai banyak ragam di pasaran, mempunyai garis tengah sampai lebih dari 6 m. Umur pipa baja yang cukup terlindungi paling sedikit 40 tahun (Linsley, 1996:296).

Keuntungan dan kerugian dari pipa ini seperti tersaji pada Tabel 2.8

Tabel 2.8 Keuntungan dan Kerugian Pipa Baja

Keuntungan	Kerugian
- Tersedia dalam berbagai ukuran panjang	- Pipa tidak tahan karat
- Mudah dalam pemasangan dan penyambungan	- Pipa berat, biaya mahal
- Kekuatan lentur yang kuat, dan dilapisi campuran	

Sumber: Linsley (1996:296)

5. Pipa Beton (*Concretel Pipe*)

Pipa ini tersedia dalam ukuran garis tengah 750 mm – 3.600 mm, sedangkan panjang standar 3,6 – 7,2 m. Pipa ini berumur 30 – 50 tahun (Linsley, 1996:299).

Keuntungan dan kerugian dari pipa ini seperti tersaji pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Keuntungan dan Kerugian Pipa Beton

Keuntungan	Kerugian
- Bermutu tinggi	- Air alkali bisa menyebabkan berkarat
- Tidak menggunakan tulangan	

Sumber: Linsley (1996:296)

6. 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>).

Pipa-pipa HDPE memiliki daya tahan lama karena adanya rekayasa teknologi canggih. Teknologi yang digunakan untuk memproduksi pipa ini dikenal sebagai Process Intensification (Intensifikasi Proses) atau PI singkatnya.

Pipa HDPE dapat disambungkan dengan cara pemanasan (*heat fusion*) untuk membentuk sambungan bersama yang kuat atau lebih kuat daripada pipa itu sendiri dan tanpa kebocoran. Benefit Pipa HDPE tidak akan menimbulkan korosi pada pipa, *tuberculate* atau mendukung pertumbuhan biologis (jamur).

Tabel 2.10 Keuntungan dan Kerugian Pipa HDPE

Keuntungan	Kerugian
-Tersedia dalam berbagai ukuran panjang	- Diameter pipa maksimal 400 mm
-Tahan hingga 50 tahun pemakaian	- Lebih mahal daripada pvc
-Teknik penyambungan Ramah	- Pemasangan dan penyambungannya
-Tahan Karat	lebih susah
- Tingkat kelenturan yang tinggi	

Sumber : www.pipahdpehitam.blogspot.com

2.7.1.2 Kriteria Jaringan Pipa Air Bersih

Dalam perencanaan jaringan pipa harus memenuhi kriteria-kriteria agar pada saat pengoperasian dapat berjalan sesuai dengan standar yang ada.

Tabel 2.11 Kriteria Jaringan Pipa

Perubahan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kecepatan 0,1-2,5 m/detik <ul style="list-style-type: none"> - Kecepatan kurang dari 0,1 m/detik <ol style="list-style-type: none"> a. Diameter pipa diperkecil b. Ditambahkan pompa c. Elevasi hulu pipa hendaknya lebih tinggi (d disesuaikan di lapangan) - Kecepatan lebih dari 2,5 m/detik <ol style="list-style-type: none"> a. Diameter pipa diperbesar b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir 2. <i>Headloss Gradient</i> 0 – 15 m/km <ul style="list-style-type: none"> - <i>Headloss Gradient</i> lebih dari 15 m/km <ol style="list-style-type: none"> a. Diameter pipa diperbesar b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir pipa 3. Tekanan 0,5-8 atm <ul style="list-style-type: none"> - Tekanan kurang dari 0,5 atm <ol style="list-style-type: none"> a. Diameter pipa diperbesar b. Ditambahkan pompa c. Pemasangan pipa yang kedua di bagian atas, sebagian atau keseluruhan dari panjang pipa - Tekanan lebih dari 8 atm <ol style="list-style-type: none"> a. Diameter pipa diperkecil b. Ditambahkna bangunan bak pelepas tekan c. Pemasangan <i>Pressure Reducer Valve</i> (PRV)
-----------	--

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Penyelenggaraan Pengembangan SPAM, 2007

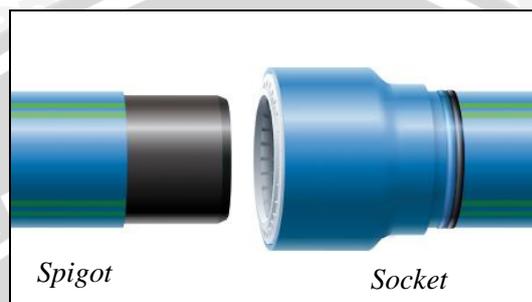
2.7.2 Sarana Penunjang

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

1. Sambungan antar pipa

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

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



Gambar 2.5 *Spigot* dan *Socket*

Sumber: www.egeplast.de

- *Flange Joint*

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



Gambar 2.6 *Flange Joint*

Sumber: www.electrosteelcastings.com

- *Increaser* dan *Reducer*

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



Gambar 2.7 *Increaser* dan *Reducer*

Sumber : www.beritaipetek.com

➤ Perlengkapan “T”

Untuk pipa sekunder dipasang tegak lurus (90°) pada pipa primer berbentuk T. Pada ujung-ujungnya perlengkapan dapat terdiri dari kombinasi *spigot*, *socket* dan *flens*.



Gambar 2.8 Sambungan T

Sumber: www.nisipaindonesia.com

➤ Perlengkapan “Y”

Digunakan untuk menyambung pipa yang bercabang, misalnya sambungan untuk pipa sekunder yang dipasang pada primer dengan sudut 45° .



Gambar 2.9 Sambungan Y

Sumber: www.chungwing.com

➤ Belokan (*bend/elbow*)

Belokan (*bend*) digunakan untuk mengubah arah dari lurus dengan sudut perubahan standar yang merupakan sudut dari belokan tersebut. Besar belokan standar adalah $11\ 1/4^\circ$, $22\ 1/2^\circ$, 45° dan 90° .



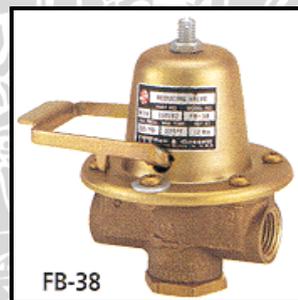
Gambar 2.10 Belokan 90°

Sumber: www.indonetwor.co.id

2. Katup (*valve*)

- PRV (*Pressure Reducin Valve*) atau katup penurun tekanan.

Digunakan untuk menanggulangi tekanan yang terlalu besar di hilir katup. Jika tekanan naik melebihi nilai batas, maka PRV akan menutup dan akan terbuka penuh bila tekanan di hulu lebih rendah dari nilai yang telah ditetapkan pada katup tersebut.



Gambar 2.11 Katup Penurun Tekanan

Sumber : www.bellgossett.com

- *Gate Valve*

Dipergunakan untuk pengaturan aliran, baik dengan membuka ataupun menutup sesuai dengan kebutuhan. Dipergunakan pada pipa induk terutama untuk pipa yang berdiameter besar. Keuntungannya yaitu tahan terhadap tekanan besar. Kehilangan tekanan hampir tidak ada.

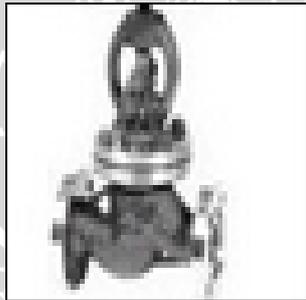


Gambar 2.12 *Gate Valve*

Sumber : www.kitomaindonesia.com

➤ *Globe Valve*

Digunakan untuk mengatur besar kecilnya laju aliran fluida dalam pipa. Keuntungan menggunakan *globe valve* yaitu kemampuan dalam menutup dan mengatur laju aliran cukup baik. Kelemahan penggunaan *globe valve* yaitu peurunan tekanan lebih tinggi dibandingkan dengan *gate valve*.



Gambar 2.13 *Globe Valve*

Sumber : www.kitomaindonesia.com

➤ *Check Valve*

Digunakan untuk membuat aliran fluida hanya mengalir ke satu arah saja atau agar tidak terjadi *back flow*.



Gambar 2.14 *Check Valve*

Sumber : www.kitomaindonesia.com

➤ *Altitude Valve* (Katup Elevasi dengan Pelampung)

Katup jenis ini digunakan pada *reservoir* Apabila reservoir terisi penuh akan menutup secara otomatis dan membuka jika tekanan pada system distribusi lebih rendah daripada tekanan dalam *reservoir*.



Gambar 2.15 *Altitude Valve*

Sumber : www.cla-val.com

➤ Katup Penguras

Katup penguras dipasang pada pipa transmisi yang elevasinya paling rendah pengurasan/pencucian pipa agar kotoran-kotoran yang mengendap pada pipa dapat dibuang dengan mudah. Katup penguras ini modelnya sama dengan katup pengatur debit yang membedakan hanya fungsi penggunaannya.



Gambar 2.16 Katup Penguras

Sumber : www.akwa.com

➤ *Air Release Valve* (Katup Pelepas Udara)

Katup udara dipasang pada jaringan pipa transmisi pada bagian elevasi tertinggi misalnya pada jembatan – jembatan pipa dimaksudkan guna membuang udara yang ada di dalam pipa hal ini guna menjamin kelancaran aliran air. Katup udara ini yang umum digunakan adalah model tunggal dan model ganda yang biasa dikenal dengan nama *air vent valve*.



Gambar 2.17 Air Release Valve

Sumber : www.woojini.com

3. Meter Air

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



Gambar 2.18 Meter Air

Sumber : www.beritaipetek.com

2.8 Tandon

Secara umum tandon adalah tempat tampungan sementara air baku dari sumber air.

Adapun fungsi yang sangat penting dari tandon diantaranya sebagai berikut:

- Menampung kelebihan air pada pemanfaatan atau pemakaian air.
- Mensuplai 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 baku dapat dipenuhi sepanjang waktu dan terdistribusi ke seluruh rencana daerah layanan. Sumber air untuk tandon air dapat berasal dari jaringan pipa air baku 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/dipinggir 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.

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:

$$V = T \cdot L \cdot P \quad (2-18)$$

dengan:

V = Volume tandon (m³)

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 dengan ukuran yang cukup agar orang 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 penguras

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

e. Alat penunjuk level air

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

f. Ventilasi udara

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

2.8.1 Bangunan Perpipaan

1. Bangunan penangkap mata air (*broncaptering*), untuk mengumpulkan air baku dan melindungi mata air dari pencemaran.
2. Bak penampung, adalah bangunan bak kedap air untuk menampung air bersih dari bangunan penangkap. Perhitungan bangunan PMA dilakukan untuk menghitung volume bak penampung yang ditentukan berdasarkan:
 - Debit minimum mata air
 - Besarnya pemakaian dan waktu
 - Asumsi kebutuhan 30 – 60 liter/orang/hari
 - Waktu pengambilan adalah 8 sampai 12 jam sehari
3. Bak pembubuh kimia, adalah bangunan bak kedap air untuk mencampur bahan kimia dan membubuhkannya ke pipa pembubuh atau ke unit proses selanjutnya.
4. Pipa peluap adalah pipa yang dipasang pada bangunan untuk menjamin permukaan air tidak naik/sesuai dengan muka air yang direncanakan.
5. Perpipaan, untuk mengalirkan air dari bak penampung ke sambungan rumah.
6. Sambungan rumah, adalah jenis sambungan pelanggan air minum yang suplai airnya langsung ke rumah-rumah, biasanya berupa sambungan pipa-pipa distribusi air melalui meter air dan instalasi pipanya di dalam rumah.
7. Pagar, untuk melindungi bangunan penangkap mata air dan sekitarnya dari gangguan makhluk hidup (orang, binatang, dll) dan sampah.

2.9 Mekanisme Pengaliran dalam Pipa

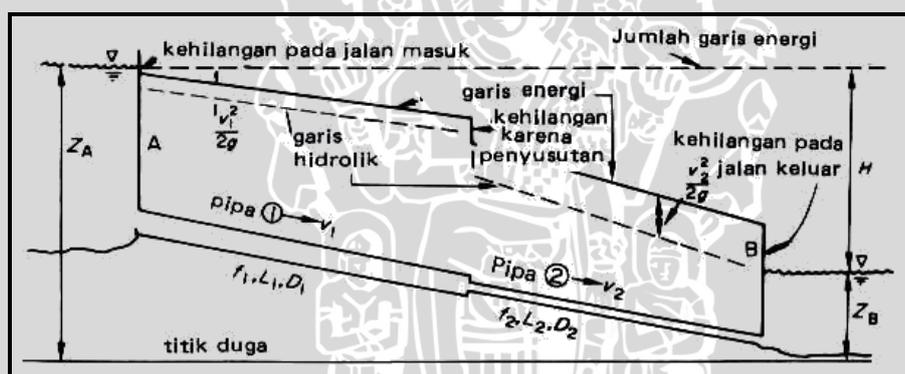
2.9.1 Sistem Perpipaan

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.

2.9.1.1 Pipa Hubungan Seri

Apabila dalam suatu saluran pipa terdiri dari pipa dengan ukuran yang berbeda-beda dengan sambungan diameter yang sama, maka pipa tersebut dalam hubungan seri, pemasangan pipa secara seri akibat adanya dari perbedaan ukuran akan menimbulkan beberapa kehilangan tinggi (Priyantoro, 1991:49).



Gambar 2.19 Pipa Hubungan Seri

Sumber: Dake (1985:78)

Menurut Triatmodjo (1996:74) Persamaan Kontinuitas dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (2-19)$$

dengan:

Q = Total debit pada pipa yang terpasang seri (m^3/det)

Q_1, Q_2 = Debit pada pipa 1 dan 2 (m^3/det)

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

$$H = hf_1 + hf_2 \quad (2-20)$$

dengan:

H = Total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang seri (m)

hf_1, hf_2 = Kehilangan pada tiap pipa (m)

2.9.1.2 Pipa Hubungan Paralel

Apabila dua pipa atau lebih yang terletak sejajar dan pada ujungnya dihubungkan oleh satu simpul maka pipa tersebut dipasang dalam kondisi paralel. Debit total dalam pemasangan seri merupakan hasil dari penjumlahan debit aliran tiap pipa, sedangkan kehilangan tekanan pada tiap pipa adalah sama.

Persamaan garis energi pada pipa paralel:

$$H = hf_1 = hf_2 = hf_3$$

dengan:

hf_1, hf_2 dan hf_3 = Kehilangan tekan tiap pipa (m)

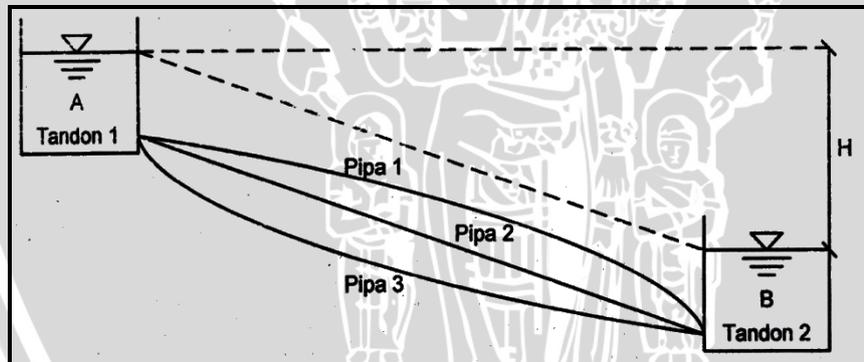
Sedangkan persamaan kontinuitasnya:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2-21)$$

dengan:

Q = Total debit pada pipa paralel (m^3/dt)

Q_1, Q_2, Q_3 = Debit pada tiap pipa (m^3/dt)



Gambar 2.20 Pipa Hubungan Paralel

Sumber: Triatmodjo (1996:79)

2.10 Simulasi Aliran pada Sistem Jaringan Distribusi

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

2.10.1 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.

2.10.2 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.

2.10.3 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 gravitasi seluruhnya, diusulkan kombinasi sistem gravitasi 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*).

2.11 Metode Analisis Jaringan Pipa

Keluaran yang utama dari analisa pada jaringan pipa adalah nilai tinggi tekan pada tiap titik simpul dan besarnya debit pada tiap pipa. Pada setiap jaringan pipa terdapat dua kondisi dasar yang harus dipenuhi (Webber, 1971:122):

1. Hukum konservasi energi, jumlah aljabar dari kehilangan energi yang dikelilingi setiap putaran (*loop*) atau setiap jaringan pipa tertutup harus sama dengan nol. Kekekalan energi pada dasarnya suatu energi tidak dapat hilang, atau dapat dikatakan bahwa jumlah energi selalu tetap (kekal). Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Sigma h_f = 0$$

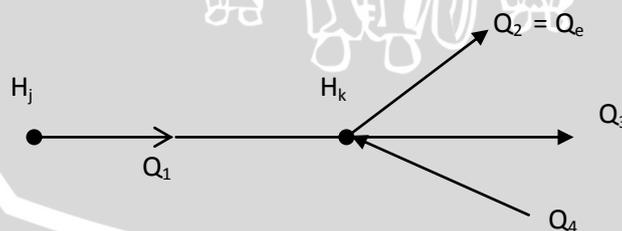
2. Hukum kontinuitas, aliran yang memasuki suatu titik pertemuan harus sama besar dengan yang meninggalkan titik tersebut. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} = \Sigma Q_E$$

Dalam menggunakan dua persamaan di atas, *Handy Cross* (1936) menawarkan dua metode untuk analisa pada jaringan pipa. Dua metode tersebut adalah metode jaringan tertutup (*loop method*) dan metode titik simpul (*node method*). Metode jaringan tertutup menyatakan persamaan energi dipandang dari segi debit aliran pada pipa. Sedangkan metode titik simpul menyatakan persamaan kontinuitas dari segi elevasi tinggi tekan pada suatu titik simpul persimpangan (*junction nodes*).

2.11.1 Metode Titik Simpul (*Node Method*)

Dalam persamaan titik simpul digunakan persamaan kontinuitas aliran dengan lebih mempertimbangkan besarnya debit aliran pada pipa seperti yang dipakai dalam metode jaringan tertutup (*loop method*). Pada Gambar 2.21 ditunjukkan suatu skema jaringan dengan memakai metode titik simpul.



$$Q_{in} - Q_{out} = Q_e$$

$$(Q_1 - Q_4) - Q_3 = Q_2$$

Gambar 2.21 Skema Jaringan Sederhana

Sumber: Webber (1971:126)

Penggunaan sistem keseimbangan debit ini merupakan modifikasi yang diusulkan oleh R.J. Connish dengan langkah sebagai berikut (Webber, 1971:126):

1. Asumsi tinggi tekan h_a pada tiap-tiap titik pertemuan yang tekanannya belum diketahui.
2. Memilih salah satu dari titik-titik pertemuan ini dan hitung nilai H_{fa} untuk masing-masing percabangan.
3. Hitung dan cocokkan debit Q_a dengan menggunakan rumus.
4. Jika tinggi tekanan yang telah diasumsikan pada awal perhitungan tidak sesuai dengan jumlah debit pada titik pertemuan atau tidak sama dengan nol, maka hitung kelebihan atau kekurangan pada debit $\sum Q_a$.

5. Menghitung nilai $\left(\frac{\sum h_{fa}}{Q_a} \right)$ untuk tiap-tiap jaringan tertutup.

6. Menentukan koreksi ΔH pada pipa pertemuan dengan persamaan:

$$\Delta h = \frac{m \sum Q_a}{\sum (Q_a / h_{fa})}$$

7. Kehilangan tinggi tekan pada titik-titik pertemuan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H = h_a + Ah$$

8. Hasil perhitungan tinggi tekanan untuk titik-titik pertemuan diterapkan di dalam jaringan pipa yang diperoleh dari kehilangan tinggi sebelumnya.
9. Ulangi lagi langkah-langkah diatas sampai didapatkan keseimbangan seperti yang diharapkan.

2.12 Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih dengan Aplikasi Software

Analisis sistem 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 sistem jaringan distribusi air bersih jaringan tersebut.

Pada saat ini program-program komputer di bidang perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih sudah demikian berkembang dan maju sehingga kerumitan dalam perencanaan sistem 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 sistem jaringan distribusi air bersih diantaranya adalah program *Loops*, *Wadiso*, *Epanet 1.1*, *Epanet 2.0*, *WaterCAD*, dan *WaterNet*. Dalam studi ini digunakan program *WaterCAD V8i* karena program ini tergolong baru dan lebih detail dalam perencanaan komponen sistem jaringan.

2.12.1 Deskripsi Program *WaterCAD V8i*

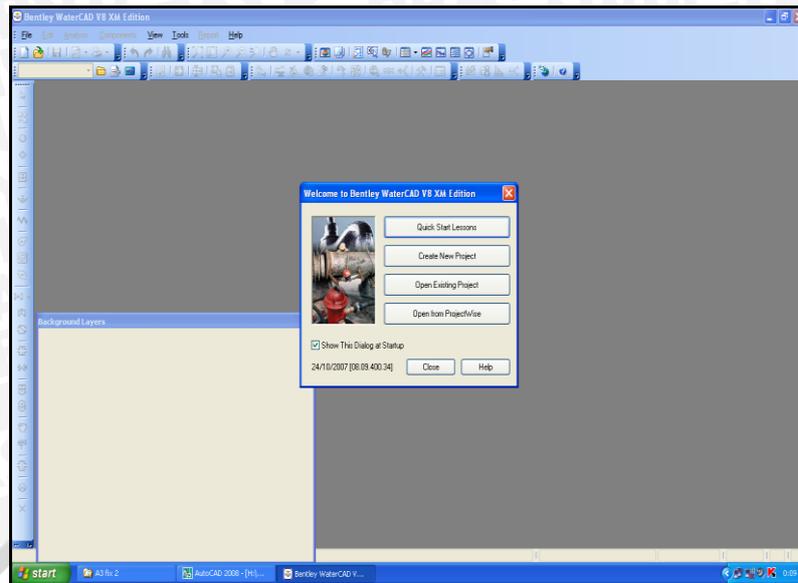
Program *WaterCAD V8i* merupakan produksi dari *Bentley* dengan jumlah pipa yang mampu dianalisis yaitu lebih dari 250 buah pipa sesuai pemesanan spesifikasi program *WaterCAD V8i*. Program ini dapat bekerja pada sistem *Windows 95*, *98* dan *2000* serta *Windows NT 4.0*. Program ini memiliki tampilan *interface* yang memudahkan pengguna untuk menyelesaikan lingkup perencanaan dan pengoptimalisasian sistem jaringan distribusi air baku, seperti (*Bentley*):

- Menganalisis sistem jaringan distribusi air pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
- Menganalisis tahapan-tahapan simulasi pada sistem jaringan terhadap adanya kebutuhan air yang berfluktuatif menurut waktu (kondisi tidak permanen).
- Menganalisis skenario perbandingan atau alternatif jaringan pada kondisi yang berlainan pada satu file kerja.

2.12.2 Tahapan-tahapan dalam Penggunaan Program *WaterCAD V8i*

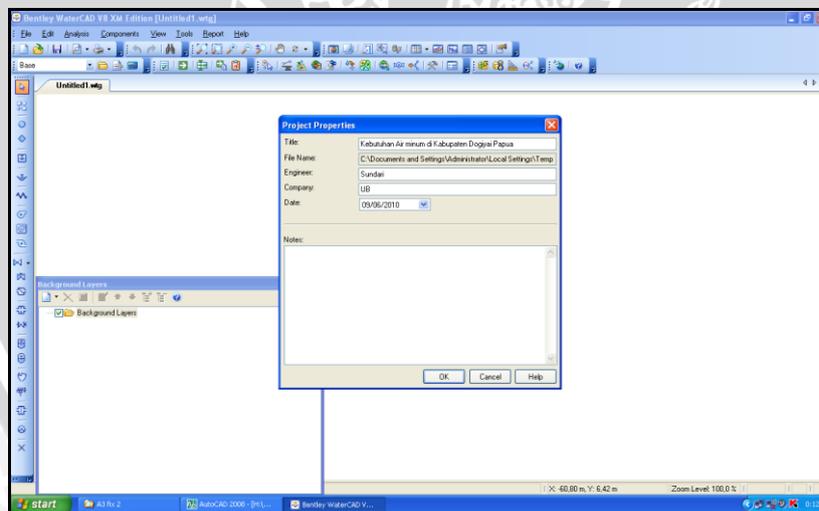
a. *Welcome Dialog*

Pada setiap pembukaan awal program *WaterCAD V8i*, 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.

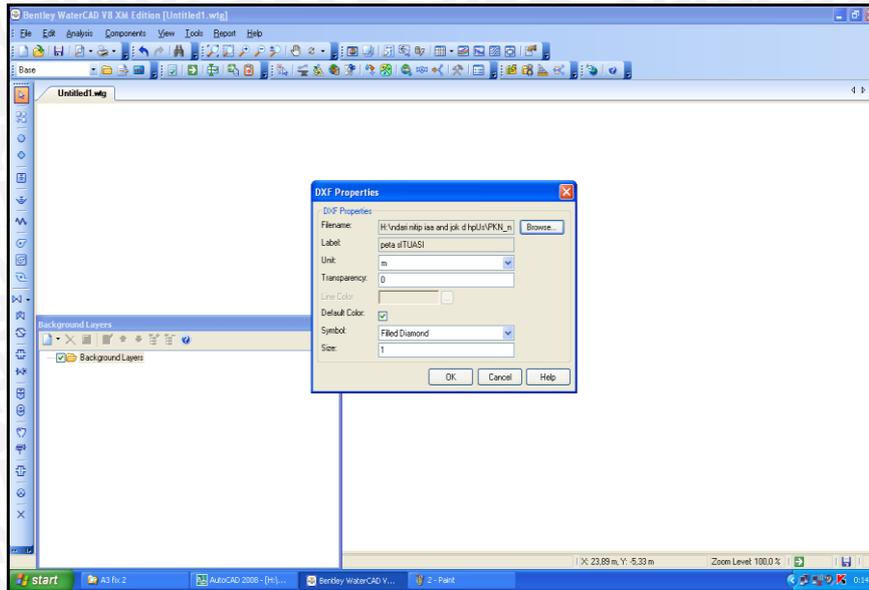


Gambar 2.22 Tampilan *Welcome Dialog* pada *WaterCAD V8i*

Quick Start Lesson, digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCAD V8i* akan menuntun kita memahami cara menggunakan program ini. Untuk membuka *quick start lesson* dilakukan dengan mendouble klik kotak *quick start lesson* dan *create new project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru.



Gambar 2.23 Tampilan *Project Properties* pada *WaterCAD V8i*

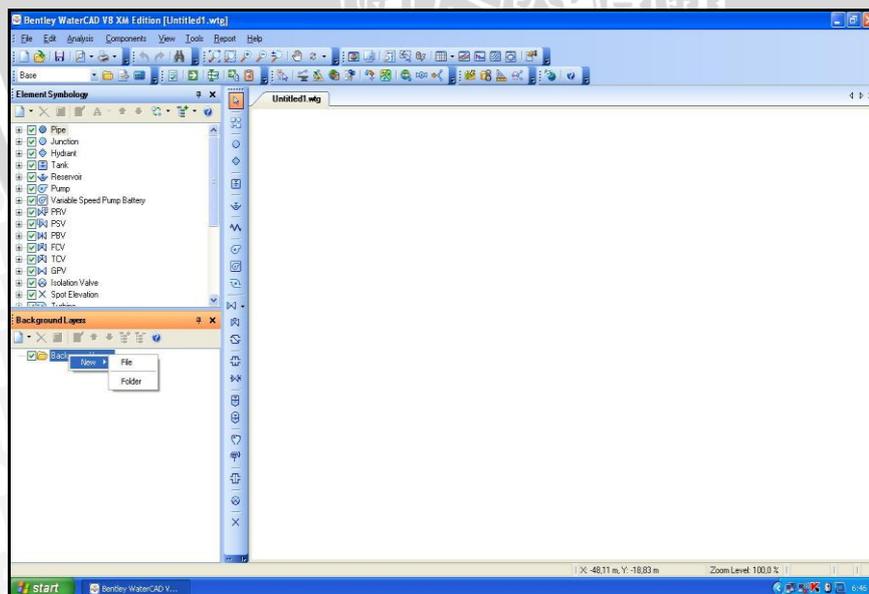


Gambar 2.24 Tampilan *DXF Properties* pada *WaterCAD V8i*

b. Pembuatan Lembar Kerja

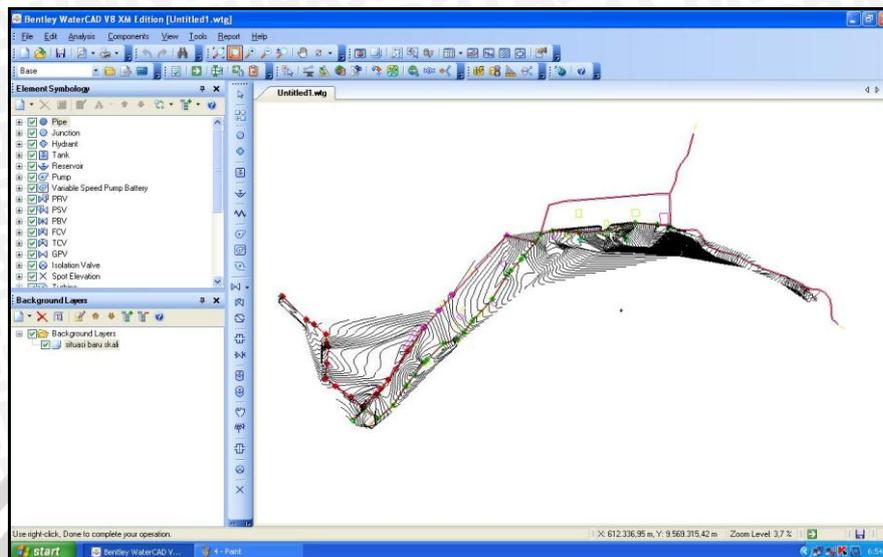
Pembuatan lembar kerja baru atau *create new project* pada program *WaterCAD V8i* ini dapat dilakukan dengan mendouble klik *create new project* pada *Welcome Dialog*. Setelah masuk ke dalam lembar kerja baru tampilkan *Background Layers* dengan cara mengklik kanan *background layers–new–file* dan pilih *file dxf*.

Setelah file dxf terpilih masuk dalam *dxf. Properties* dan unit diganti dalam m (meter). Setelah itu klik (OK) dan *zoom extents*.



Gambar 2.25 Tampilan *Lembar Kerja* pada *WaterCAD V8i*

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



Gambar 2.26 Tampilan *Background Layers* pada *WaterCAD V8i*

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

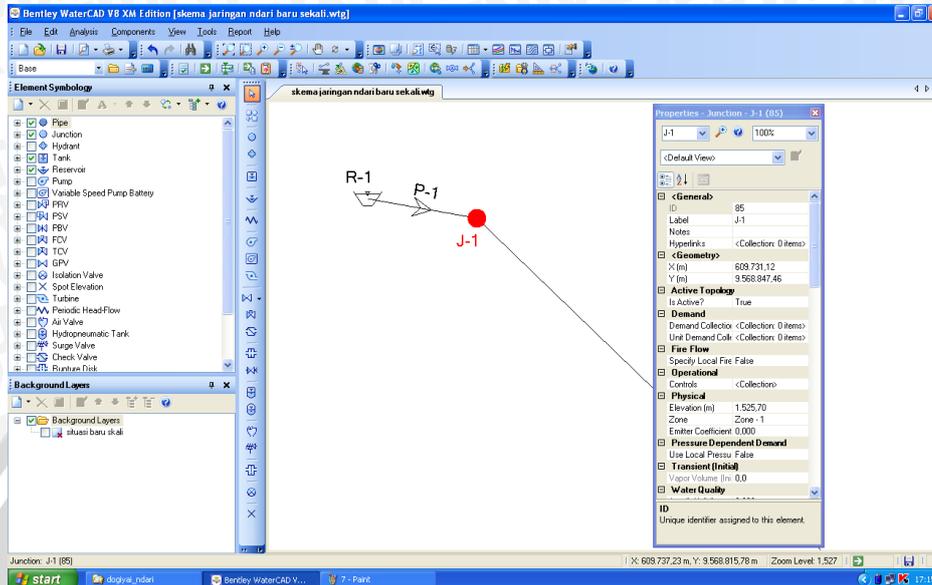
c. Pemodelan Komponen-Komponen Sistem Jaringan Distribusi Air Baku

Dalam *WaterCAD V8i*, komponen-komponen sistem jaringan distribusi air baku seperti titik reservoir, pipa, titik simpul (*junction*), tandon tersebut dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *WaterCAD V8i* 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 sistem jaringan distribusi air baku dengan benar, perancang harus mengetahui cara memodelkan komponen tersebut dalam *WaterCAD V8i*. Adapun jenis-jenis pemodelan komponen sistem jaringan distribusi air baku dalam *WaterCAD V8i* 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 baku. Ada dua tipe aliran pada titik simpul ini, yaitu berupa kebutuhan air (*demand*) dan berupa aliran masuk (*inflow*). Jenis aliran yang berupa kebutuhan air baku digunakan bila pada

simpul tersebut ada pengambilan air, sedangkan aliran masuk digunakan bila pada titik simpul tersebut ada tambahan debit yang masuk. Data yang dibutuhkan sebagai masukan bagi titik simpul antara lain elevasi titik simpul dan data kebutuhan air baku pada titik simpul tersebut.



Gambar 2.27 Tampilan Pengisian Data Teknis *Junction* pada *WaterCAD V8i*

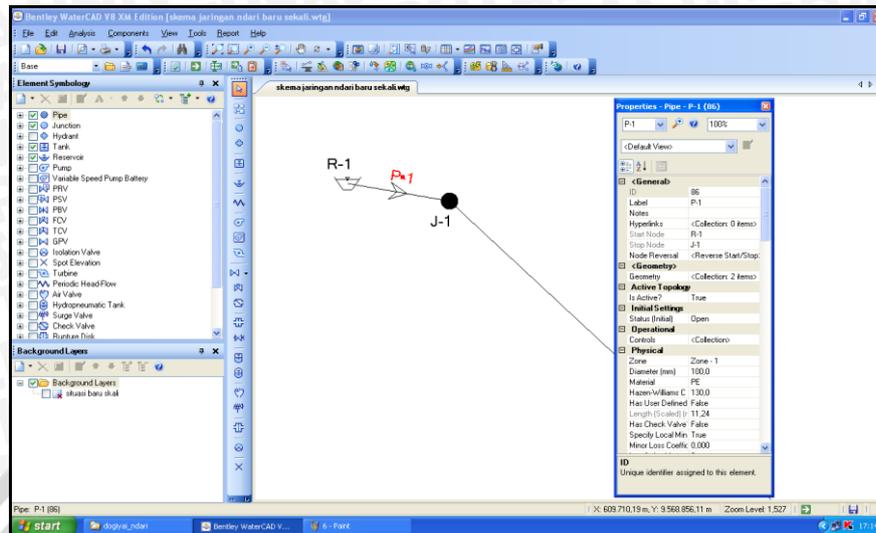
2. Pemodelan kebutuhan air baku

Kebutuhan air baku pada tiap-tiap titik simpul dapat berbeda-beda bergantung dari luas cakupan layanan dan jumlah konsumen pada titik simpul tersebut. Kebutuhan air menurut *WaterCAD V8i* 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 V8i* 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

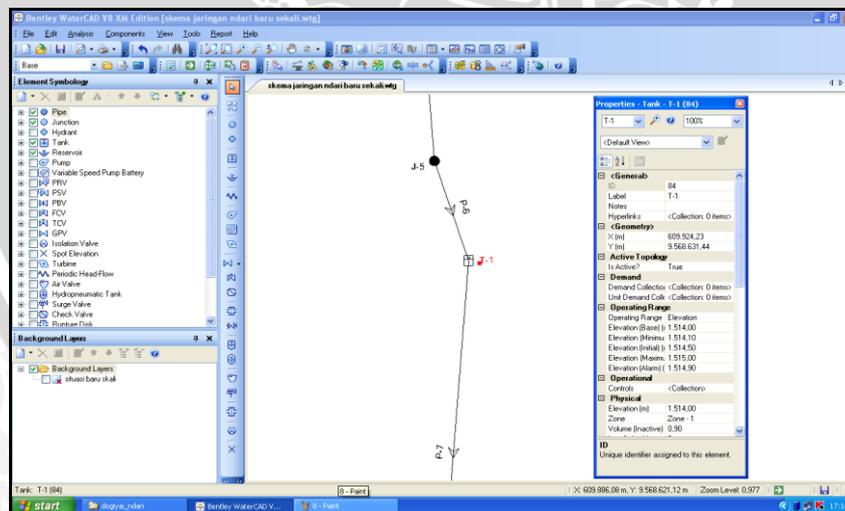
skematis, panjang pipa dapat diatur tanpa memperhatikan panjang pipa di layar komputer.



Gambar 2.28 Tampilan Pengisian Data Teknis Pipa pada *WaterCAD V8i*

4. Pemodelan tandon (*watertank*)

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.

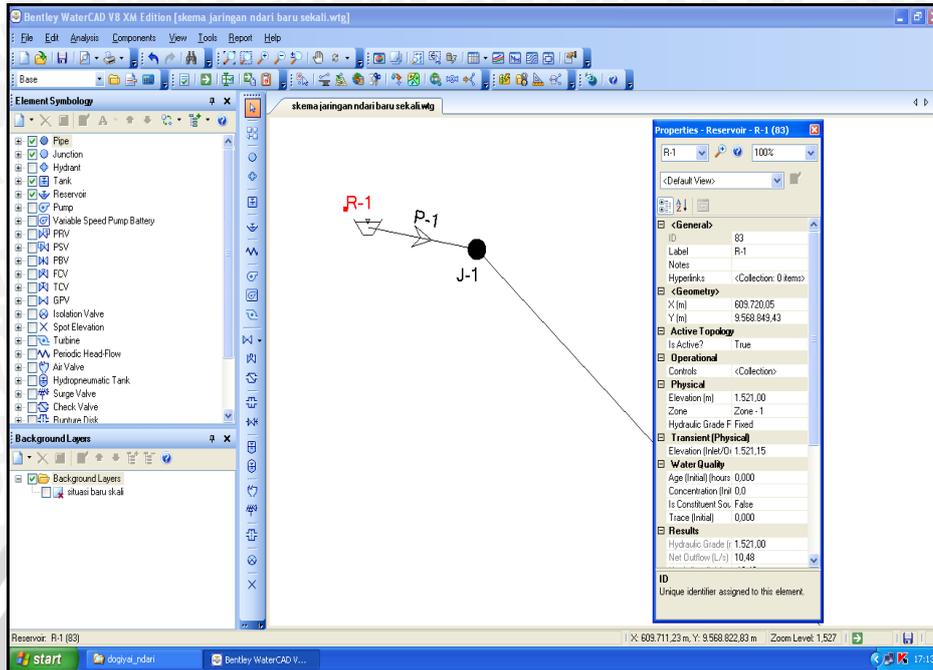


Gambar 2.29 Tampilan Pengisian Data Teknis Tandon pada *WaterCAD V8i*

5. Pemodelan mata air (*reservoir*)

Pada program *WaterCAD V8i*, *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

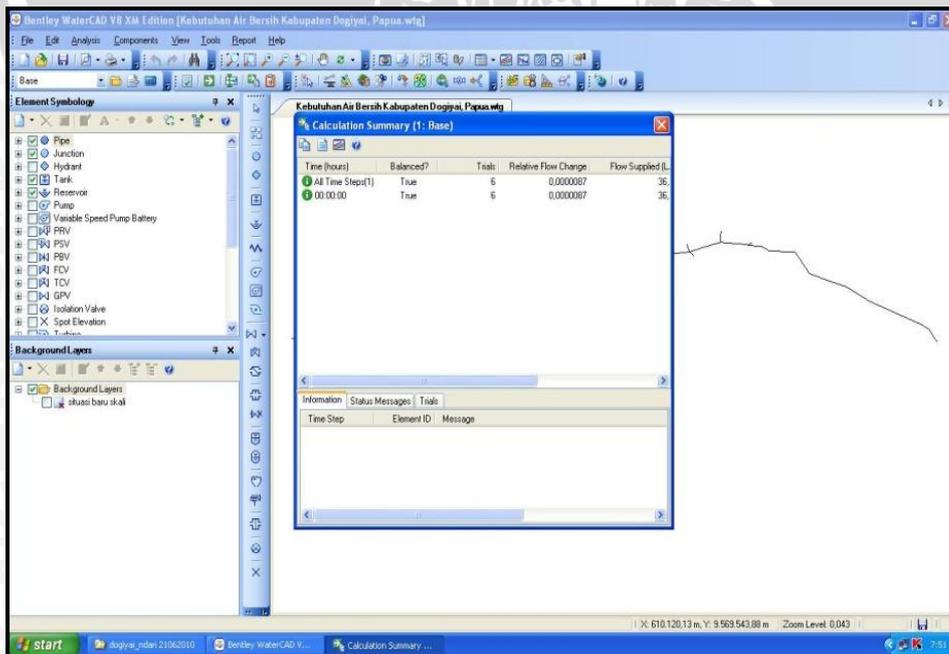
kebutuhan airnya. Data yang dibutuhkan untuk memodelkan sebuah mata air adalah kapasitas debit dan elevasi mata air tersebut.



Gambar 2.30 Tampilan Pengisian Data Teknis Reservoir pada *WaterCAD V8i*

d. Perhitungan dan Analisis Sistem Jaringan Distribusi Air Baku

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



Gambar 2.31 Tampilan Hasil *Running (Calculate)* pada *WaterCAD V8i*

2.13 RAB (Rencana Anggaran Biaya)

RAB merupakan estimasi, ialah suatu rencana biaya sebelum bangunan atau proyek dilaksanakan. Diperlukan baik oleh pemilik bangunan atau *owner* maupun kontraktor sebagai pelaksana pembangunan. RAB yang biasa juga disebut biaya konstruksi dipakai sebagai ancer-ancer dan pegangan sementara dalam pelaksanaan. Karena biaya konstruksi sebenarnya (*actual cost*) baru dapat disusun setelah selesai pelaksanaan proyek.

Estimasi biaya konstruksi dapat dibedakan atas estimasi kasaran (*approximate estimates* atau *preliminary estimates*) dan estimasi teliti atau estimasi detail (*detailed estimates*). Estimasi kasaran biasanya diperlukan untuk pengusulan atau pengajuan anggaran kepada instansi atasan, misalnya pada pengusulan DIP (Daftar Isian Proyek) proyek-proyek pemerintah, dan juga digunakan dalam tahap studi kelayakan suatu proyek. Sedangkan estimasi detail adalah RAB lengkap yang dipakai dalam penilaian penawaran pada pelanggan, serta sebagai pedoman dalam pelaksanaan pembangunan.

Estimasi detail pada hakekatnya merupakan RAB lengkap yang terperinci termasuk biaya-biaya tak langsung atau *overhead*, keuntungan dan pajak diperhitungkan berdasar presentase (%) terhadap biaya konstruksi (*bouwsom*).

Tingkatan RAB atau estimasi dalam pekerjaan teknik sipil, atau proyek pada umumnya, dapat dibagi atas tujuh tingkat atau tahap:

- a. *Preliminary estimate*, merupakan hitungan kasaran sebagai awal estimasi atau estimasi kasaran;
- b. *Appraisal estimates*, dikenal sebagai estimasi kelayakan (*feasibility estimate*); diperlukan dalam rangka membandingkan beberapa estimasi alternatif dan suatu rencana (*scheme*) tertentu;
- c. *Proposal estimate*, adalah estimasi dari rencana terpilih (*selected scheme*); biasanya dibuat berdasarkan suatu konsep desain dan studi spesifikasi desain yang akan mengarah kepada estimasi biaya untuk pembuatan garis-garis besar desain (*outline desain*);
- d. *Approved estimate*, modifikasi dan *proposal estimate* bagi kepentingan *client* atau pelanggan, dengan maksud menjadi dasar dalam pengendalian biaya proyek;
- e. *Pre-tender estimate*, merupakan penyempurnaan dan *approved estimate* berdasarkan desain pekerjaan definitif sesuai informasi yang tersedia dalam dokumen tender atau RKS, dipersiapkan untuk evaluasi penawaran pada lelang;

- f. *Post-contract estimate*, adalah perkembangan lebih lanjut mencerminkan besar biaya setelah pelulusan dan tercantum dalam kontrak; memuat perincian uang dengan masing-masing pekerjaan (*bill of quantities*) serta pengeluaran lainnya;
- g. *Achieved cost*, merupakan besar biaya sesungguhnya atau *real cost*, disusun setelah proyek selesai digunakan sebagai data atau masukan untuk proyek mendatang.

RAB terdiri dari dua macam:

- ✚ RAB kasaran (global) perhitungan lebih sederhana dan bersifat global, misalnya bangunan gedung dihitung berdasarkan besar lantai (m^2), jalan raya berdasarkan panjang ruas jalan (dalam km), jembatan berdasarkan panjang bentang (dalam m), dsb.
- ✚ RAB detail, perhitungan lebih teliti berdasarkan volume masing-masing jenis pekerjaan pada bangunan tersebut, misalnya untuk bangunan gedung ada pekerjaan tanah (galian/timbunan), pekerjaan dinding/tembok, pekerjaan kayu, atap, mengecat, dsb.

Hal-hal yang mencakup dalam perhitungan RAB antara lain:

- Harga material bangunan
- Upah tenaga kerja
- Peralatan (beli atau sewa)
- Metode pelaksanaan
- Waktu penyelesaian

2.13.1 Langkah-langkah Persiapan Perhitungan RAB

Sebagai langkah awal dalam perhitungan RAB perlu dilakukan upaya persiapan agar diperoleh angka yang tepat atau akurat. Adapun kegiatan pada langkah itu mencakup hal-hal berikut:

- a. Peninjauan ruang lingkup proyek: pertimbangan pengaruh lingkungan lokasi dari segi keamanan, tenaga kerja, lalu-lintas dan jalan masuk, ruang untuk gudang, dan sebagainya terhadap biaya.
- b. Penentuan kuantitas atau volume pekerjaan dan konstruksi bangunan/proyek.
- c. Harga material yang akan digunakan.
- d. Harga tenaga (pekerja dan tukang).
- e. Harga peralatan kerja (beli atau sewa).
- f. Biaya tak terduga dan pembulatan.

2.13.2 Dasar Perhitungan

Perhitungan RAB pada prinsipnya diperoleh sebagai jumlah seluruh hasil kali volume tiap jenis pekerjaan yang ada dengan harga satuan masing-masing. Volume pekerjaan dapat diperoleh dan membaca dan menghitung atas gambar desain (lebih dikenal sebagai gambar *bestek*). Biaya konstruksi mencakup harga-harga bahan, upah tenaga, dan peralatan yang digunakan. Dan semua unsur biaya ditentukan harga satuan tiap jenis pekerjaan, dan untuk ini dapat digunakan analisis BOW. Secara umum prosedur perhitungan RAB disusun atas dasar lima unsur harga berikut:

RAB= Jumlah seluruh hasil kali volume tiap jenis pekerjaan x harga satuan masing-masing

a. Bahan-bahan atau material bangunan

Dihitung kuantitas (volume, ukuran, berat, tipe, dsb) masing-masing jenis bahan yang digunakan. Juga harga tiap jenis bahan itu sampai di lokasi pekerjaan (termasuk ongkos angkut), bahkan kadang-kadang mencakup biaya pemeriksaan kualitas dan pengadaan gudang/tempat penyimpanan.

b. Upah tenaga kerja

Dihitung jam kerja yang dibutuhkan dan jumlah biaya/upah. Biasanya digunakan berdasar harian atau per hari sebagai unit waktu, serta volume pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam unit waktu tersebut. Sebagai unit waktu dapat pula atas dasar tiap jam. Perlu diketahui bahwa kemampuan tiap tenaga kerja tidak sama tergantung ketrampilan dan pengalaman, demikian juga besar upahnya.

c. Peralatan

Dihitung banyak dan jenis tiap peralatan yang diperlukan serta harga/biaya (beli atau sewa). Biaya peralatan termasuk ongkos angkut/mobilisasi, upah operator mesin, biaya bahan bakar dan sebagainya. Kemampuan peralatan per satuan waktu perlu diketahui.

d. *Overhead*

Biasanya dikategorikan sebagai biaya tak terduga atau biaya tak langsung, dan dibagi menjadi dua golongan, yakni pertama yang bersifat umum, serta kedua yang berkaitan dengan pekerjaan di lapangan. *Overhead* umum misalnya sewa kantor, peralatan kantor, listrik, telepon, perjalanan, asuransi/jamsostek, termasuk gaji/upah karyawan kantor yang terlibat kegiatan proyek. Sedangkan *overhead* lapangan merupakan biaya yang tak dapat dibebankan pada harga bahan-bahan, upah pekerja dan peralatan, seperti telepon di proyek, pengamanan, biaya perizinan, dan

sebagainya. Biaya *overhead* keseluruhan ditetapkan berdasar pengalaman, biasanya sekitar 12 sampai 30% dari jumlah harga bahan, upah, dan peralatan.

e. Keuntungan dan pajak

Besar keuntungan tergantung pada besar-kecilnya proyek dan besarnya rasio serta tingkat kesulitan pekerjaan. Biasanya keuntungan berkisar antara 8 sampai 15% dari biaya konstruksi (*bouwsom*). Sedangkan pajak besarnya tergantung pada peraturan pemerintah yang berlaku, biasanya antar 10 sampai 18%.

