

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk digunakan sebagai dasar untuk menghitung tingkat kebutuhan air bersih pada masa mendatang. Proyeksi jumlah penduduk di suatu daerah dan pada tahun tertentu dapat dilakukan apabila diketahui tingkat pertumbuhan penduduknya. Oleh karena itu, pertumbuhan penduduk mempunyai peranan yang penting didalam suatu perencanaan kebutuhan air bersih. 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

Perkiraan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dapat didekati dengan persamaan berikut (Rusli, 1996 :115):

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

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

Jumlah perkembangan penduduk dengan menggunakan metode ini dirumuskan sebagai berikut (Muliakusumah,2004:8):

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

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 Geometrik

Dengan menggunakan metode geometrik, maka perkembangan penduduk suatu daerah dapat dihitung dengan formula sebagai berikut (Rusli, 1996 :115):

$$P_n = P_0(1+r)^n \quad (2-3)$$

Dengan :

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

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk tiap tahun (%)

n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

2.2. Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Pemilihan metode proyeksi pertumbuhan penduduk di atas berdasarkan cara pengujian statistik yakni berdasarkan pada nilai koefisien korelasi yang terbesar mendekati +1. Adapun rumusan untuk menentukan besarnya koefisien korelasi adalah sebagai berikut (Dajan, 1986 : 350) :

Koefisien relasi :

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(nX^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2-4)$$

Dengan :

r = koefisien korelasi

X = jumlah penduduk data (jiwa)

Y = jumlah penduduk hasil proyeksi (jiwa)

n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

2.3. Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih adalah jumlah air yang diperlukan secara wajar untuk keperluan pokok manusia (domestik) dan kegiatan-kegiatan lainnya yang memerlukan air (non domestik). Sebuah perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih harus berdasarkan pada standar yang ada dengan mempertimbangkan kondisi yang ada di sekitarnya seperti perkembangan daerah, kondisi daerah dan penduduknya. Dengan demikian dapat dilakukan perencanaan yang mendekati besarnya tingkat kebutuhan air bersih sehari-hari ditambah dengan faktor kehilangan air. Secara umum, kehilangan air atau kebocoran yang terjadi pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih dapat

dibedakan menjadi dua faktor (DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1987 : 158) yaitu :

1. Kehilangan air akibat faktor teknis

- Adanya lubang atau celah pada pipa dan sambungannya.

Hal ini terjadi karena :

- a) Penggunaan pipa yang tidak baik kualitasnya
- b) Terjadinya korosi pada pipa
- c) Pemasangan pipa dan sambungannya tidak baik.
- d) Erosi

- Pipa pada jaringan distribusi pecah.

Hal ini terjadi karena :

- a) Adanya pergeseran tanah disekitar pemasangan pipa
- b) Terjadinya tekanan balik (water hammer)
- c) Adanya getaran pada pipa
- d) Adanya tekanan pada bagian luar pipa, misalnya akibat dilalui kendaraan berat dan sebagainya.

- Meter yang dipasang pada pipa konsumen kurang baik , sehingga angka yang ditunjukkan pada meter tersebut lebih kecil dari jumlah pemakaian yang sebenarnya.

- Pemasangan pipa di rumah konsumen yang kurang baik

2. Kehilangan air akibat faktor non teknis

- Kesalahan membaca meter air
- Kesalahan pencatatan hasil pembacaan meter air
- Kesalahan pemindahan atau pembuatan rekening air
- Angka yang ditunjukkan oleh meter air berkurang akibat adanya aliran udara pada pipa distribusi ke rumah konsumen melalui meter air tersebut .

2.3.1. Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Besarnya pemakaian air oleh masyarakat pada sistem jaringan distribusi air bersih tidak berlangsung konstan tetapi terjadi fluktuasi antara satu jam dengan jam yang lainnya, begitu pula dengan satu hari dengan hari lainnya. Perbedaan pemakaian per jam terjadi oleh karena terjadinya perbedaan aktivitas penggunaan air dalam satu hari oleh suatu masyarakat (*community*).

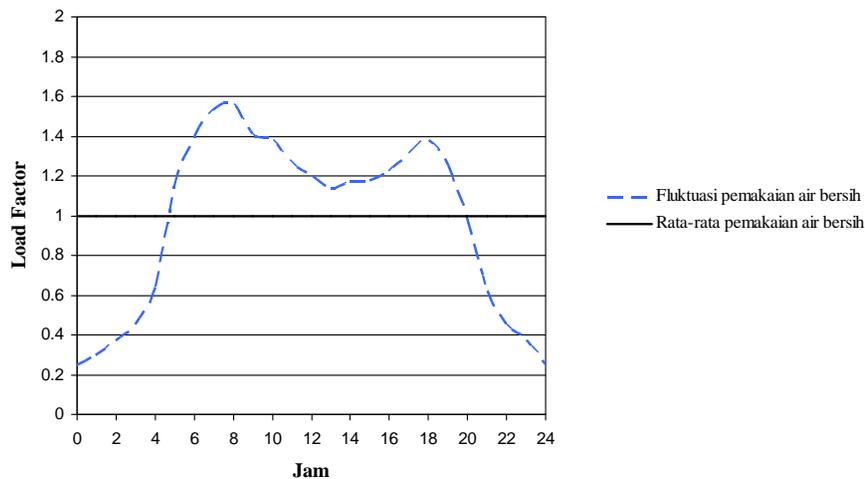
Adapun kriteria tingkat kebutuhan air pada masyarakat dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Kebutuhan air rata-rata, yaitu penjumlahan kebutuhan total (domestik dan non domestik) ditambah dengan kehilangan air
2. Kebutuhan harian maksimum, yaitu kebutuhan air terbesar dari kebutuhan rata-rata harian dalam satu minggu
3. Kebutuhan air pada jam puncak, yaitu pemakaian air tertinggi pada jam-jam tertentu selama periode satu hari

Kebutuhan harian maksimum dan jam puncak sangat diperlukan dalam perhitungan besarnya kebutuhan air baku, karena hal ini menyangkut kebutuhan pada hari-hari tertentu dan pada jam puncak jam pelayanan. Dalam perencanaannya menggunakan pendekatan angka koefisien sebagai berikut (DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1994) :

- Kebutuhan harian maksimum = $1,15 \times$ kebutuhan air rata-rata (2-5)
- Kebutuhan jam puncak = $1,56 \times$ kebutuhan air maksimum (2-6)

Grafik Fluktuasi Pemakaian Air Bersih



Gambar 2.1. Grafik Fluktuasi Pemakaian Air Bersih Harian

Sumber : DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih

Berdasarkan grafik fluktuasi kebutuhan air bersih dari DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih didapatkan nilai *load factor* sebagai berikut :

Tabel 2.1. Faktor Pengali (*Load Factor*) Terhadap Kebutuhan Air Bersih

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Load Factor	0.3	0.37	0.45	0.64	1.15	1.4	1.53	1.56	1.41	1.38	1.27	1.2
Jam	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Load Factor	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 Jendral Cipta Karya 1994 : 24

Tabel 2.2. Nilai Kebutuhan Air Bersih untuk Bangunan Tempat Tinggal

Kategori Kota	Keterangan	Jumlah Penduduk (orang)	Kebutuhan Air Minum (liter/orang/hari)
I	Kota Metropolitan	Diatas 1 juta	190
II	Kota Besar	500.000 s.d 1 juta	170
III	Kota Sedang	100.000 s.d 500.000	150
IV	Kota Kecil	20.000 s.d. 100.000	130
V	Desa	10.000 s.d. 20.000	100
VI	Desa Kecil	3.000 s.d. 10.000	60

Sumber : Pedoman Kebijaksanaan Program pembangunan Prasarana Kota Terpadu (P3KT) Repelita V, DPU Ditjen Cipta Karya, 1994

2.3.2. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan Domestik adalah kebutuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum. Penggunaan air bersih oleh konsumen rumah tangga tidak hanya terbatas untuk memasak dan mandi saja, namun juga hampir untuk setiap aktivitas yang memerlukan air.

Menurut Linsley (1986) kebutuhan air untuk keperluan domestik digunakan di tempat-tempat hunian pribadi, rumah-rumah apartemen, dan sebagainya untuk minum, mandi, penyiraman taman, saniter, 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.

2.3.3. Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik adalah kebutuhan air bersih selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, seperti penyediaan air bersih untuk perkantoran, perdagangan serta fasilitas sosial seperti tempat ibadah, sekolah, hotel, puskesmas, militer, serta pelayanan jasa umum lainnya.

2.4. Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran, dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. (Triatmodjo, 1996 : 25). Dalam kajian ini yang akan dibahas adalah pipa dengan tampang aliran penuh dan zat cair yang digunakan adalah air.

2.4.1. Hukum Bernoulli

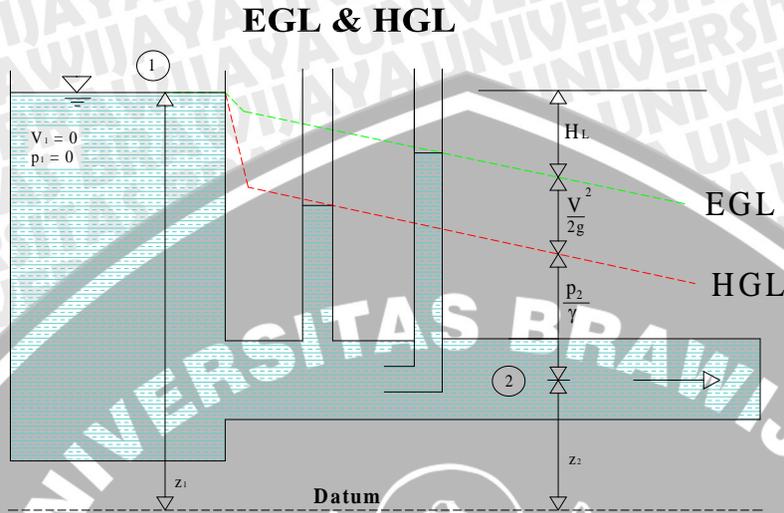
Di dalam pipa air mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Artinya selama air mengalir tinggi tekannya berkurang. Atau dengan kata lain energinya berkurang. Berkurangnya energi atau tinggi tekan merupakan fungsi debit, panjang pipa, diameter pipa, dan koefisien gesek pipa (Triatmodjo : 101).

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut :

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

$$E_{Tot} = h + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \quad (2-7)$$

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. Diagram Energi dan Garis Tekanan

Sumber : Haestead, 2001 : 268

Hukum kekekalan Bernoulli pada gambar 2.2. dapat ditulis sebagai berikut (Triatmodjo, 1996) :

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_w} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_w} + H_L \quad (2-8)$$

dengan :

- $\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}$ = tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)
- $\frac{p_1}{\gamma_w}, \frac{p_2}{\gamma_w}$ = tinggi tekanan di titik 1 dan 2 (m)
- Z_1, Z_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 (m)
- V_1, V_2 = kecepatan di titik 1 dan 2 (m/det)
- p_1, p_2 = tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m²)
- H_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)
- γ_w = berat jenis air (kg/m³)
- g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Selanjutnya $\frac{P}{\gamma}$ disebut sebagai tinggi tekanan atau pressure head (karena satuannya sama dengan satuan tinggi yaitu meter). Demikian pula $\frac{V^2}{2g}$ disebut sebagai

tinggi kecepatan. Selain tinggi tekanan dikenal juga tinggi tenaga atau energi head. Ini merupakan penjumlahan antara tinggi tekan dan tinggi kecepatan (Triatmodjo, 1996:102).

Kehilangan tinggi tenaga yang dinyatakan dalam bentuk h_e sengaja diberikan pada persamaan 2-9, mengingat h_e merupakan kehilangan tinggi tenaga yang berupa gesekan dengan pipa, maupun karena turbulensi lokal (kehilangan tinggi tenaga sekunder). Secara lengkap persamaan 2-9 ditulis kembali sebagai (Triatmodjo, 1996:102) :

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_s \quad (2-9)$$

Dengan :

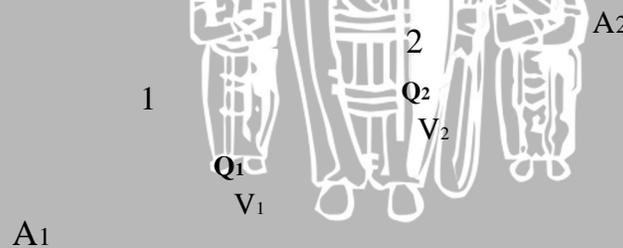
h_f = Kehilangan tinggi tenaga karena gesekan (m)

h_s = Kehilangan tinggi tenaga sekunder (m)

Tinggi tenaga, tinggi tekanan, kehilangan tinggi tenaga atau tekan kadang hanya disebut sebagai tenaga, tekanan atau kehilangan tenaga atau tekanan saja (Triatmodjo, 1996:103).

2.4.2. Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir sepanjang pipa pada gambar 2.3. yang mempunyai luas penampang A m² dan kecepatan v m/det selalu memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya, hal ini dikenal sebagai hukum kontinuitas.



Gambar 2.3. Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

Sumber : Webber, 1971 : 30

Sedangkan hukum kontinuitas yang dituliskan sebagai berikut (Maryono, 2003:116) :

$$Q_1 = Q_2$$

Atau

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

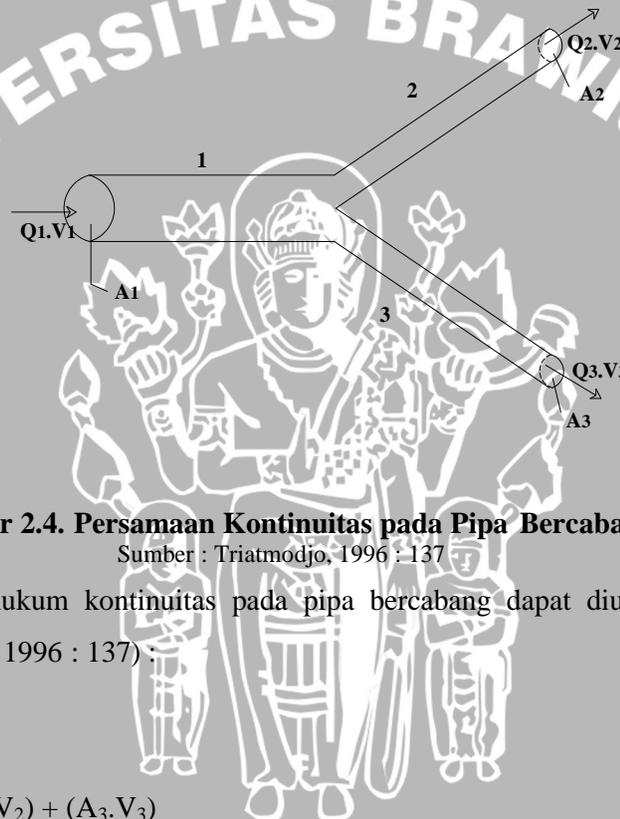
dengan :

Q_1, Q_2 = debit pada potongan 1 dan 2 (m^3/det)

V_1, V_2 = kecepatan pada potongan 1 dan 2 (m/det)

A_1, A_2 = luas penampang pada potongan 1 dan 2 (m^2)

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



Gambar 2.4. Persamaan Kontinuitas pada Pipa bercabang

Sumber : Triatmodjo, 1996 : 137

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

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

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 (m^3/det)

V_1, V_2, V_3 = kecepatan pada potongan 1, 2 dan 3 (m/det)

A_1, A_2, A_3 = luas penampang pada potongan 1, 2 dan 3 (m^2)

2.4.3 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Dalam perencanaan jaringan distribusi air minum tidak mungkin dapat dihindari adanya kehilangan tinggi tekan selama air mengalir melalui pipa. Besarnya kehilangan

tinggi energi terdiri dari kehilangan tinggi mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi minor (*minor losses*). Kehilangan tinggi energi dalam sistem pipa adalah :

$$H_l = h_f + h_{Lm} \quad (2-13)$$

dengan : H_l = kehilangan tinggi energi dalam sistem pipa (m)

h_f = kehilangan tinggi mayor (m)

h_{Lm} = kehilangan tinggi minor (m)

Dalam merencanakan sistem jaringan distribusi air bersih, aliran dalam pipa harus berada pada kondisi aliran turbulen. Untuk mengetahui kondisi aliran dalam pipa turbulen atau tidak, dapat dihitung dengan identifikasi bilangan *Reynold* menggunakan persamaan berikut :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2-14)$$

dengan :

Re = bilangan *Reynold*

V = kecepatan aliran dalam pipa (m/det)

D = diameter pipa (m)

ν = kekentalan kinematik air pada suhu tertentu (m²/det)

Dari perhitungan bilangan *Reynold*, maka sifat aliran dalam pipa dapat diketahui dengan kriteria sebagai berikut (Triatmo djo, 1996 : 5) :

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

Tabel 2.3 Kekentalan Kinematik Air

Suhu (°C)	Kekentalan kinematik (m ² .dt ⁻¹)	Suhu (°C)	Kekentalan Kinematik (m ² .dt ⁻¹)
0	1,785 . 10 ⁻⁶	50	1,553 . 10 ⁻⁶
5	1,519 . 10 ⁻⁶	60	1,474 . 10 ⁻⁶
10	1,306 . 10 ⁻⁶	70	1,413 . 10 ⁻⁶
20	1,003 . 10 ⁻⁶	80	1,364 . 10 ⁻⁶
30	1,800 . 10 ⁻⁶	90	1,326 . 10 ⁻⁶
40	1.658 . 10 ⁻⁶	100	1,294 . 10 ⁻⁶

Sumber : Triatmodjo, 1996: 5

2.4.3.1. Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Fluida yang mengalir di pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan karena adanya kekentalan kinematik. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran. Tegangan

geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain bergantung juga pada jenis pipa.

Dalam kajian ini digunakan persamaan *Hazen-Williams* untuk memperhitungkan besarnya kehilangan tinggi tekan mayor, yaitu (Linsey, 1996 : 271) :

$$V_i = 0,85.C_{hw}.R_i^{0,63}.S_f^{0,54} \quad (2-15)$$

dengan :

V_i = kecepatan dalam aliran pipa i (m/det)

C_{hw} = koefisien kekasaran *Hazen-Williams* (Tabel 2.4)

R_i = jari-jari hidrolis pada pipa i (m)

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

S_f = kemiringan garis hidrolis (EGL)

$$S_f = h_f/L$$

Dari persamaan (2-15), untuk $Q = v \cdot A$ didapat persamaan kehilangan tinggi mayor, menurut *Hazen-Williams* yaitu (Webber, 1971:121) :

$$h_f = k.Q^{1,85} \quad (2-16)$$

$$k = \frac{10,675.L}{C_{hw}^{1,85}.D^{4,87}} \quad (2-17)$$

dengan :

h_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

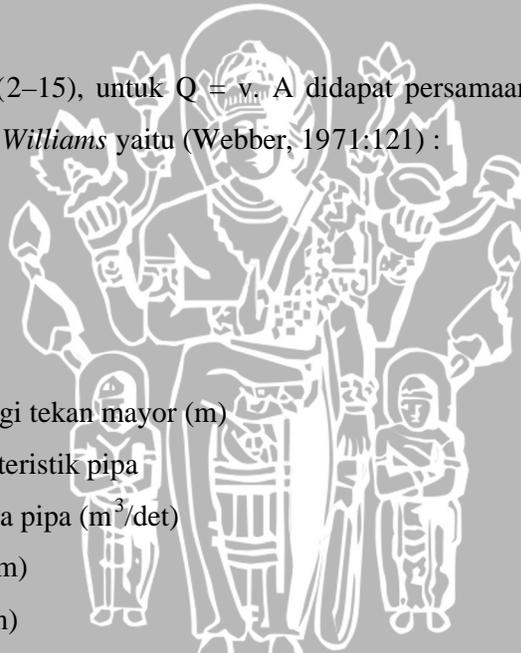
k = koefisien karakteristik pipa

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

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C_{hw} = koefisien kekasaran *Hazen-Williams* (Tabel 2.4)



Tabel 2.4. Koefisien Karakteristik Pipa Menurut Hazen-Williams

No	Bahan Pipa	Nilai Koefisien Hazen-Williams (C_{hw})
1	Asbestos Cemen	140
2	Brass	130 – 140
3	Brick sewer	100
4	Cast iron :	
	- New unlined	130
	- 10 years old	107 – 113
	- 20 years old	98 – 100
	- 30 years old	75 – 90
	- 40 years old	64 – 83
5	Concrete or Concrete lined	
	- Steel forms	140
	- Wooden forms	120
	- Sentrifugally spun	135
6	Copper	130 – 140
7	Galvanized iron	120
8	Glass	140
9	Lead	130 – 140
10	Plastic	140 – 150
11	PVC	130 – 140
12	Steel	
	- Coal-tarenamel lined	145 – 150
	- New unlined	140 – 150
	- Riveted	110
13	Tin	130
14	Vitrified clay (Good condition)	110 – 140
15	Wood stave (Average condition)	120

Sumber : Haestad, 2001 : 290

2.4.3.2. Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan tinggi minor dalam jaringan pipa disebabkan adanya perubahan - perubahan mendadak dalam geometrik aliran, yang terjadi karena perubahan ukuran pipa, belokan, katup serta jenis sambungan (Linsley, 1996 : 273).

Persamaan umum kehilangan tinggi minor :

$$h_{Lm} = K_L \frac{v^2}{2g} \tag{2-18}$$

- Denga : h_{Lm} = kehilangan tinggi minor (m)
- v = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/detik)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)

K_L = koefisien kehilangan tekanan

Untuk kehilangan tinggi minor pada pipa, apabila $L/D \gg 1000$, maka kehilangan tinggi minor dapat diabaikan (Priantoro, 2001 : 37).

Besarnya nilai koefisien K tergantung dari bentuk fisik pengecilan, pembesaran, belokan, dan katup. Namun nilai K ini masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan. Ada berbagai macam kehilangan tinggi tekan minor sebagai berikut:

1. Kehilangan Tinggi Minor karena Pelebaran Pipa

Pada kondisi adanya pelebaran pipa berlaku rumus (Linsey, 1996 : 274):

$$h_{Lm} = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \tag{2-19}$$

dengan K_L sesuai dengan tabel 2.5. berikut.

Tabel 2.5. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan karena Pelebaran Pipa

	$D_2/D_1 = 3$	$D_2/D_1 = 1,5$
10	0,17	0,17
20	0,40	0,40
45	0,86	1,06
60	1,02	1,21
90	1,06	1,14
120	1,04	1,07
180	1,00	1,00

Sumber : Linsley, 1996: 274

Keterangan:

adalah sudut antara sisi bagian yang lonjong dalam derajat

2. Kehilangan Tinggi Minor karena Penyempitan Mendadak pada Pipa

Pada kondisi adanya penyempitan mendadak pada pipa (Linsey, 1996 : 274):

$$h_{Lm} = K_L \frac{V_2^2}{2g} \tag{2-20}$$

dengan K_L sesuai dengan tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan karena Penyempitan Mendadak pada Pipa

D_2/D_1	K_L
0	0,5
0,4	0,4
0,6	0,3
0,8	0,1
1,0	0

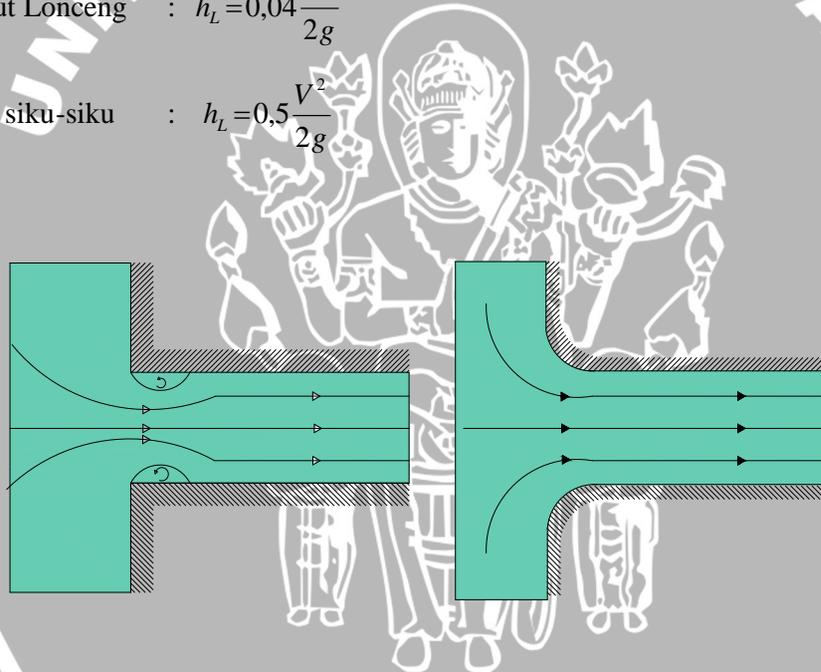
Sumber : Linsley, 1996: 274

3. Kehilangan Tinggi Minor karena Mulut Pipa

Kehilangan tinggi minor karena mulut pipa berlaku rumus (Linsley, 1996 : 274) :

Mulut Lonceng : $h_L = 0,04 \frac{V^2}{2g}$ (2-21)

Tepi siku-siku : $h_L = 0,5 \frac{V^2}{2g}$ (2-22)



Gambar 2.5. Aliran Melalui Masukan Pipa Yang Berbeda

Sumber : Haestad, 2001 : 280

4. Kehilangan Tinggi Minor karena Belokan pada Pipa

Belokan (*Bend*) digunakan untuk mengubah arah dari lurus dengan sudut perubahan standar yang merupakan sudut dari belokan tersebut. Besa r belokan standar adalah $11 \frac{1}{4}^\circ$, $22 \frac{1}{2}^\circ$, 45° dan 90° .

Pada kondisi adanya belokan pada pipa berlaku rumus (Linsley, 1996 : 274):

$$h_{Lm} = K_L \frac{v^2}{2g} \tag{2-23}$$

dengan K_L sesuai dengan tabel 2.7. berikut.

Tabel 2.7. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan karena Belokan pada Pipa

Jari-jari Belokan	Sudut Belokan		
	90°	45°	22,45°
1	0,50	0,37	0,25
2	0,30	0,22	0,15
4	0,25	0,19	0,12
6	0,15	0,11	0,08
8	0,15	0,11	0,08

Sumber : Linsley, 1996 : 274

5. Kehilangan Tinggi Minor karena Sambungan dan Katup pada Pipa

Masing-masing tipe katup mempunyai parameter aturan berbeda yang menggambarkan kondisi titik operasinya (tekanan untuk PRV, PSV dan PBV; aliran untuk FCV; koefisien kehilangan tekan untuk TCV dan kehilangan tinggi untuk GPV).

Pada kondisi adanya sambungan dan katup pada pipa berlaku rumus (Linsley, 1996 : 274):

$$h_{Lm} = K_L \frac{V^2}{2g} \tag{2-24}$$

dengan K_L sesuai dengan tabel 2.8. berikut.

Tabel 2.8. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan karena Sambungan dan Katup pada Pipa

Katup dan Sambungan	K_L
Katup bola (terbuka dan lebar)	10
Katup pengatur ayunan (terbuka lebar)	2,5
Katup pintu (terbuka lebar)	0,2
Katup pintu (terbuka separuh)	5,6
Tikungan balik	2,2
T-baku	1,8
Siku-siku 90° baku	0,9

Sumber : Linsley, 1996 : 274

2.4.4 Tekanan Air yang Diijinkan

Terdapat beberapa sumber pustaka untuk menentukan tekanan yang diijinkan pada pipa jaringan distribusi air bersih dan dapat ditunjukkan sebagai berikut:

1. PDAM Kabupaten Malang (2007) dalam ketentuan pekerjaan perencanaan menerangkan bahwa tekanan air pada jaringan pipa distribusi yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat menimbulkan berbagai masalah. Tekanan air yang terlalu rendah dapat mengakibatkan air tidak sampai kerumah konsumen, sedangkan tekanan air terlalu tinggi dapat menimbulkan terjadinya kebocoran pada jaringan pipa distribusi. Oleh karena itu tekanan air pada jaringan pipa distribusi bahan PVC tidak boleh kurang dari 10 meter kolom air (MKA) dan tidak lebih tinggi dari 80 meter kolom air.

dimana :

$$1 \text{ m kolom air} = 10.000 \text{ N/m}^2 = 0,1 \text{ ATM} = 0,1 \text{ Bar} = 1 \text{ Kg/cm}^2$$

2. Diktat Kursus Perpipaian DPU Ditjen Cipta Karya (1987:229) menjelaskan tekanan air pada jaringan pipa distribusi yang terlalu rendah pipa distribusi yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan. Oleh karena itu tekanan air disarankan tidak kurang dari 10 meter kolom air dan tidak lebih tinggi dari 40 meter kolom air.
3. Menurut Koby (2002:118), tekanan maksimum pada pipa berbeda untuk setiap jenisnya seperti dijelaskan pada tabel 2.9.

Tabel 2.9. Tekanan Maksimum pada Pipa

Jenis Pipa	Tekanan Maksimum
Pipa Baja	350 PSI
Pipa Besi Bentukan	350 PSI
Pipa Beton	350 PSI
Pipa <i>Fiber Glass</i>	250 PSI
Pipa Semen Asbes	200 PSI
Pipa PVC	200 PSI
Pipa PE	198 PSI

Sumber : Koby, 2002:188

$$14,5 \text{ PSI} = 1 \text{ Bars} = 100 \text{ kPa} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 10 \text{ meter kolom air}$$

4. Menurut salah satu merek pipa (www.vinilon.com) menyebutkan bahwa pipa tipe PE memiliki standar tekanan berkisar antara 1 – 8 Bar.

5. Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual Sistem Air Minum Perkotaan KIMPRASWIL (2002:471) menjelaskan tekanan untuk pipa sekunder dan tersier diujung distribusi tekanan minimum pada sambungan pelayanan minimal berkisar antara 10 – 15 m (sampai dengan 2 bangunan bertingkat).

Tekanan maksimum pada pipa bervariasi tergantung pada mutu (kualitas) bahan pipa itu sendiri, namun untuk menjaga kualitas jaringan distribusi pada studi ini digunakan tekanan maksimum antara 10 – 60 mH₂O dengan menggunakan pipa PE dan PVC.

2.4.5 Gradien Hidraulika

Garis gradien hidrolika (HGL/*Hydraulics Gradient Line*) ini dapat digunakan untuk membantu dalam mengidentifikasi masalah tekanan yang mungkin ada dalam sistem perpipaan (DPU Ditjen Cipta Karya, 1987 : 128), misalnya:

a. Tekanan terlalu rendah

Pada aliran minimum mungkin tekanan air mencukupi tapi pada waktu aliran maksimum, tekanan air mungkin terjadi terlalu rendah atau terjadi tekanan negatif.

Kita dapat memperbaiki situasi dengan cara:

1. Memompa
2. Mengganti semua atau sebagian dari saluran pipa dengan pipa yang diameternya lebih besar.
3. Memasang saluran pipa yang kedua.

b. Tekanan terlalu tinggi

Biasanya terjadi pada saat tidak terjadi aliran pada jaringan pipa. Untuk memperbaiki situasi ini dengan cara :

1. Memasang bak pelepas tekan
2. Memasang Pressure Reducing Valve (PRV)

Headloss gradient yang diijinkan berkisar antara 0 – 15 m/km.

2.4.6 Kecepatan yang Diijinkan

Beberapa sumber pustaka menjelaskan tentang syarat kecepatan pada sistem jaringan pipa distribusi air bersih, sebagai berikut:

1. Diktat Kursus Perpipaan DPU Ditjen Cipta Karya (1987:136) menjelaskan bahwa dalam sistem distribusi air bersih kecepatan air yang mengalir dalam pipa berkisar antara 0,8 – 10 meter/detik.

2. Pedoman/Petunjuk Teknik & Manual Sistem Air Minum Perkotaan KIMPRASWIL (2002:449) menyebutkan kriteria perencanaan kecepatan aliran dalam pipa berkisar antara 0,6 – 2,5 m/detik.
3. Agus Maryono (2001:117) dalam bukunya yang berjudul Hidrolika Terapan menyebutkan bahwa kecepatan dalam pipa tidak boleh kurang dari 0,3 m/detik dan tidak boleh lebih dari 5,0 m/detik.

Pada studi ini akan digunakan kecepatan ijin 0,6 – 2,5 m/dtk.

2.5. Elemen-Elemen pada Jaringan Distribusi Air Bersih

Suatu sistem distribusi air pada umumnya memiliki fasilitas perpipaan, stasiun pompa, fasilitas penampungan, katub dan meter air. Fungsi utama sistem distribusi air adalah mengirimkan debit penyediaan air yang dibutuhkan ke semua bagian dari daerah layanan dengan tingkat tekanan yang layak.

2.5.1. Pipa

Dalam perencanaan jaringan pipa penyediaan air, lebih disukai penggunaan pipa bertekanan karena kemungkinan terjadinya pencemaran lebih sedikit. Pipa bertekanan dapat didefinisikan sebagai pipa yang dialiri dalam keadaan penuh (Linsey, 1996:270). Kelebihan penggunaan bahan pipa sebagai sarana pendistribusian air bersih adalah

1. Operasional murah dan mudah
2. Biaya perawatan yang murah karena umur penggunaannya relatif panjang.
3. Letak pipa yang dibawah tanah membuat lingkungan tidak rusak dan tidak mengganggu aktifitas lingkungan.
4. Jaringan pipa mudah disesuaikan dengan bentuk jalan.

Sedangkan kelemahan penggunaan pipa antara lain:

1. Pembuatan jaringan pipa pada awalnya sulit dan mahal.
2. Prediksi peningkatan kebutuhan air membuat pemilihan dan pergantian diameter menjadi berspekulasi, lama dan mahal.
3. Sulitnya untuk mendeteksi kebocoran pada jaringan pipa.

2.5.1.1. Jenis 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.

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 kN/cm^2 (350 psi) dan umur pipa jika pada keadaan normal dapat mencapai 100 tahun. (Linsley, 1996:297).

Pipa jenis ini berwarna perak kelabu, banyak mengandung serpih-serpih grafit. Serpih grafit ini yang menyebabkan pipa besi cor mudah dipotong tanpa pelumas sehingga mudah dipasang dan disambung.

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, 1996 : 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, 1996:301)

Pipa PVC tersusun atas butir-butir *Poly Vinyl Chloride* yang dicampur bahan-bahan tambahan sampai 6%, kemudian dipanaskan dan campuran kemudian dibentuk menjadi pipa atau perlengkapan pipa lainnya.

Pipa yang dihasilkan mempunyai warna yang beraneka ragam mulai, dari putih sampai biru atau kelabu, jika terkena sinar matahari warnanya berubah menjadi coklet. Kandungan bahan tambahan 6% menjadikan pipa lebih rapuh dan kemampuannya terhadap tekanan air menjadi berkurang.

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
- Kekuatan tarik yang kecil dan tidak tahan terhadap tekanan dalam
- Mudah berubah bentuk pada temperatur tinggi

4. Pipa Baja (*Steel Pipe*)

Pipa jenis ini terbuat dari baja lunak yang mempunyai banyak ragam ukuran di pasaran. Pipa baja telah digunakan dengan berbagai ukuran hingga lebih dari 6 m garis tengahnya. Umur pipa yang cukup terlindungi paling sedikit 40 tahun. (Linsley, 1996:296)

Selain banyak digunakan dalam diameter besar, pipa baja juga digunakan pada tekanan tinggi, misalnya untuk pipa transmisi, jembatan, lintasan kereta api, serta konstruksi-konstruksi lain yang memerlukan bahan yang kuat.

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Tersedia dalam berbagai ukuran panjang
- Mudah dalam pemasangan dan penyambungan
- Kuat terhadap gaya tarik dan tekuk
- Tahan lama dan tahan beban eksternal

- Dilapisi campuran semen sebagai pelindung

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Tidak tahan karat
- Pipa berat sehingga biaya pengangkutan mahal
- Sambungan kaku dan tidak ada ruang sehingga pemuaian akibat kenaikan temperatur harus diperhitungkan dengan baik.

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. pembuatan berdasarkan pesanan khusus.

Pipa ini berumur 30-50 tahun. (Linsley, 1996:299)

Pipa beton dapat dibedakan dalam dua macam yaitu:

- Pipa beton *presessed*

Pipa yang pembuatannya dapat dilakukan di lapangan. Jenis ini tidak tahan terhadap tekanan dan diameter pipa maksimum 600 mm.

- Pipa beton *reinforced cemen concert*

Pipa ini tahan korosi dan tahan terhadap tekanan luar, bahan pipa kuat sehingga usia guna sangat panjang mencapai 75 tahun.

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Bermutu tinggi
- Tidak menggunakan tulangan
- Mudah dibuat baik di lapangan maupun di pabrik
- Bahan tidak mengembang

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Air alkali bisa menyebabkan berkarat
- Pipa sulit untuk disambung
- Bobot yang berat menyebabkan biaya pengangkutan dan pemasangan relatif mahal

6. Pipa Besi Bentukan (*Ductile Iron Pipe*)

Tersedia dalam ukuran 100 mm – 150 mm. Pipa besi bentukan merupakan produk dari besi tuang yang merupakan campuran dari pasir dan metal. Panjang standar 5,5 m.

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Dilapisi campuran semen sebagai pelindung

- Tahan terhadap korosi
 - Kuat terhadap beban tanah
- Kerugian dari pipa ini adalah :

- Biaya mahal
- Mudah rusak oleh limbah
- Berkarat pada air asam

7. Pipa Semen Abses (*Abbestos Cement Pipe*)

Pipa semen abses ini terbuat dari abses, silika dan semen. Pipa ini tersedia dengan ukuran garis tengah 4-31 inci (0,1-1 m). (Linsley, 1996:301)

Pipa asbes yang digunakan di Indonesia dibagi dalam empat kelas, pembagian ini berdasarkan pada kekuatan tekanan kerja. Kelas tersebut memiliki garis tengah luar yang sama, tetapi garis tengah dalam yang berbeda karena tebal dinding yang berbeda. Dalam pemasangan sambungan banyak menggunakan sambungan besi cor yang bergaris luar.

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Tahan karat
- Tidak dapat menghantarkan arus listrik
- Bobot ringan
- Dapat dipasang tanpa pekerja ahli
- Efisiensi hidrolis tinggi karena bagian dalam pipa yang sangat halus

Kerugian dari pipa ini adalah :

- Mudah rusak oleh benturan benda keras alat-alat galian
- Karena mudah dipotong maka pencurian air akan mudah dilakukan
- Sekat serabut karet mudah rusak
- Beban berat tidak dapat ditahan langsung dalam pipa sehingga perlu konstruksi pelindung untuk menahannya
- Tidak tahan bengkokan sehingga saat pengangkutan, penggalian, pemasangan dan penambahan percabangan memerlukan perhatian

8. Pipa *Fiber Glass*

Pipa ini terbuat dari *fiber* sehingga bobotnya ringan, mudah disambung dan bebas dari pengaruh korosi. Namun memiliki kekurangan seperti penempatan dan perlindungan dari pengaruh luar akibat pengangkutan karena bila pecah atau rusak sangat sulit diperbaiki dan memiliki harga yang mahal

9. Pipa *Polyethylene* (PE)

Instalasi pipa air di lapangan yang sangat sulit dalam kontur tanah yang labil, memerlukan pipa yang memiliki kekuatan dan ketahanan. Hal ini dapat ditemukan pada pipa PE yaitu pipa plastik berwarna hitam dan fleksibel. Desain tangguh pipa PE menghasilkan pipa yang memiliki kekuatan maksimum dan menghasilkan aliran yang optimum, sehingga membuat pipa ini sebagai pilihan ideal untuk kebutuhan distribusi air yang besar dan kebutuhan drainase.

Pipa PE Terbuat dari bahan PERT (Polyethylene of Raised Temperature Resistance). Tersedia dalam beberapa ukuran yaitu 6m, 10m, 12m per batang dengan diameter 4", 3", 2", 1.5", 1", 3/4" dapat disuplay dalam bentuk gulungan (100 m s.d. 300 m per gulungan).

Memiliki karakteristik seperti

- Memiliki fleksibilitas tinggi (kekuatan tensil > 22 mPa dan elastisitas > 700%).
- Memiliki kemampuan dalam menahan benturan (Impact Strength).
- Memiliki ketahanan akan temperatur rendah bahkan temperatur air beku.
- Ringan (mengapung di air) dengan densitas = 0.94 gr/cm³, sehingga mudah dalam penanganan dan transportasi.
- Metode penyambungan yang cepat dan mudah.
- Permukaan halus, akan meminimalisasi hilangnya tekanan.
- Sangat disarankan untuk distribusi air minum (bersahabat dengan lingkungan).
- Efisien dalam penanganan & pemasangan di lapangan dibandingkan dengan menggunakan produk logam dan beton yaitu penanganan yang lebih mudah, jumlah tenaga kerja lebih sedikit, peralatan berat yang lebih sedikit serta keselamatan kerja yang lebih terjamin.
- Jangka waktu pemakaian 50 tahun.

Keuntungan dari pipa ini adalah :

- Kuat terhadap berat
- Tahan Panas Hingga 95°C dan tekanan sampai dengan 8 bar
- Tahan terhadap bahan kimia dan abrasi, tidak berkarat, rusak, ataupun menurun nilai penggunaannya dalam kondisi suhu beku.
- Memiliki fleksibilitas tinggi sehingga tahan terhadap gempa bumi

(www.vinilon.com 13 Juni 2008)

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

Untuk menggabungkan pipa diperlukan suatu sambungan pipa baik antara pipa yang berdiameter sama atau berbeda, belokan pada pipa dan penggabungan dua pipa yang berbeda jenis. Sambungan pipa antara lain:

- 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° , dan 90° . bahan belokan itu biasanya sama dengan pipa.



Gambar 2.6. Belokan 90°

Sumber : www.vinilon.com

- Perlengkapan *Tee*

Digunakan untuk menyambung pipa yang bercabang, misalnya sambungan pipa sekunder dipasang tegak lurus (90°) pada pipa primer sehingga sambungan akan terbentuk T.



Gambar 2.7. Sambungan T

Sumber : www.vinilon.com

- Perlengkapan “Y”

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



Gambar 2.8. Sambungan Y

Sumber : www.vinilon.com

- *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.



Gambar 2.9. Increaser dan Reducer

Sumber : www.vinilon.com

2. Katup (*valve*)

Katup berfungsi sebagai pintu pada titik simpul sehingga dapat mengubah -ubah besarnya kehilangan energi pada titik tersebut. Katup memiliki bermacam-macam jenis yaitu:

- *Flow Control Valve (FCV)* atau katup pengatur aliran

Digunakan untuk membatasi aliran pada nilai debit tertentu yang melalui katup dari hulu ke hilir. Hal ini dimaksudkan untuk membatasi permintaan maksimum pada suatu titik agar tidak mempengaruhi kinerja dan kapasitas sistem. Pada katup jenis ini harus dipertimbangkan nomor titik simpul hulu hilir dan identifikasi tekanan yang harus dipertahankan di hulu katup.

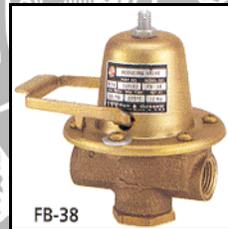


Gambar 2.10. Flow Control Valve

Sumber : www.Global-b2b-network.com

- *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 lebih rendah dari nilai yang telah ditetapkan pada katup tersebut.



Gambar 2.11. Pressure Reducing Valve

Sumber : www.bellgossett.com

- *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 2.12. Pressure Sustaining Valve

Sumber : www.valveandequipment.com

- *Pressure Breaker Valve (PBV)* atau katup pemecah tekanan

Digunakan untuk memodelkan situasi dimana turunnya tekanan khusus diketahui ada. PBV memaksa sebuah kehilangan tekanan khusus saat melewati katup.



Gambar 2.13. Pressure Breaking Valve

Sumber : www.sinarmasandhika.com

- *Throttle Control Valve (TCV)* atau katup pengatur tenaga
Katup jenis ini digunakan untuk mengontrol *minor losses* yang berubah setiap waktu.
- *General Purpose Valve (GPV)* atau katup biasa
Digunakan untuk mewakili hubungan khusus debit headlooses yang diikuti dengan rumus hidraulik standar. Hal tersebut digunakan untuk memodelkan turbin, mengurangi dan mencegah arus balik.



Gambar 2.14. General Purpose Valve

Sumber : www.ferret.com.au

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. Fasilitas Penampungan

Pada prinsipnya sebuah fasilitas penampungan menyimpan air pada kondisi permintaan menurun dan melepaskannya dalam kondisi puncak. Sehingga fungsi pelayanan adalah untuk memenuhi fluktuasi permintaan pada keadaan darurat dan juga untuk

meratakan tekanan konstan untuk operasi. Fasilitas penampungan dalam sistem distribusi dapat berupa reservoir atau tandon.

2.5.2.1 Tandon

Secara umum tandon adalah tempat tampungan sementara air baku 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

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. Letak tandon diusahakan sedekat mungkin dengan daerah layanan, selain itu permukaan air tandon harus cukup tinggi untuk memungkinkan aliran gravitasi dengan tekanan yang cukup memadai dan mencukupi ke sistem layanan.

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 1 hari 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 :

$$V = T \cdot L \cdot P \quad (2-25)$$

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 suatu lubang inspeksi untuk memudahkan perawatan dengan ukuran yang cukup agar orang yang masuk ke dalam tandon tidak mengalami kesulitan.

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 disambungkan 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 pengaman 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.

2.5.2.2 Reservoir

Reservoir adalah suatu titik simpul dengan muka air (HGL) yang tetap (*fixed-grade node*) dimana elevasinya diidentifikasi sebagai elevasi muka air bebas sehingga tekanannya sama dengan nol. Untuk mengetahui besarnya kapasitas bak penampung (*reservoir*) harus dihitung terlebih dahulu selisih pemakaian air dan inflow dari sumber.

2.5.3 Hidran

Hidran umum dibangun agar dapat mempermudah pendistribusian air bersih ke rumah penduduk yang tidak dapat dijangkau oleh jaringan pipa distribusi air bersih.

Pada umumnya hidran dipakai untuk melayani hingga 100 penduduk, sama halnya dengan perencanaan tandon air, volume dan jumlah hidran ini diharapkan dapat memenuhi kriteria perencanaan dan lokasi pembangunan diantaranya mudah dijangkau, terletak dekat atau dipinggir jalan darurat, terdistribusi merata keseluruh daerah layanan, dekat dengan pusat kegiatan dan bebas dari gangguan.

2.5.4. Titik Simpul (*node*)

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 (*junction node*) adalah titik simpul yang merupakan penghubung dua pipa atau lebih dimana aliran keluar dan atau masuk ke dalam sistem. Titik simpul mempunyai kondisi tetap (*fixed-grade node*) jika tekanan dan elevasinya tetap.

Suatu titik simpul pada sistem jaringan distribusi air minum dapat berupa titik simpul persimpangan, tandon atau reservoir. Data yang dibutuhkan pada sebuah titik simpul adalah nomor titik, elevasi, data pipa awal dan akhir, debit pembebanan titik simpul serta variasi corak kebutuhannya.

Elevasi titik simpul diidentifikasi sebagai elevasi titik dimana tekanan akan dihitung. Untuk keperluan praktis digunakan elevasi muka tanah sebagai elevasi titik simpul dengan catatan bahwa tekanan akan berbeda pada keluaran hidran titik simpul tersebut atau di kran-kran konsumen.

Tetapi pada kenyataannya, konsumsi air tidak terjadi persis di titik simpul, melainkan terjadi di sepanjang jalur sistem distribusi. Untuk keperluan pemodelan simulasi sistem distribusi ini kebutuhan air minum diasumsikan terpusat menurut lokasi pada titik-titik simpul.

2.5.5. Penghubung (*Link*)

Penghubung adalah elemen yang menghubungkan titik-titik simpul dimana bagian awal dan akhir dari *link* merupakan titik-titik simpul itu sendiri. Penghubung dapat berupa pipa, pompa maupun katup. Pada pipa, data minimum yang dibutuhkan untuk pemodelan sistem distribusi adalah nomor pipa, panjang, diameter dan indikator faktor kekasaran.

2.6. Mekanisme Pengaliran dalam Pipa

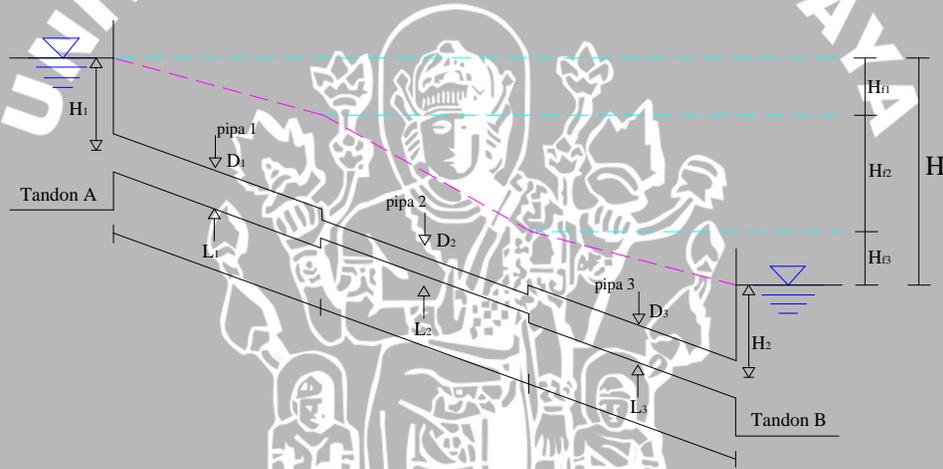
2.6.1. Sistem Pipa

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. (Triatmojo, 1996:69)

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

2.6.1.1. 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 2.15. Pipa Seri

Sumber : Triatmodjo, 1996 :74

Adapun persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut (Triatmo djo, 1996 : 78) :

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \tag{2-26}$$

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

$$H = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} \tag{2-27}$$

dengan :

- Q = total debit pada pipa yang terpasang secara seri (m³/det)
- Q₁, Q₂, Q₃ = debit pada tiap pipa (m³/det)
- H = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara seri (m)
- H_{f1}, H_{f2}, H_{f3} = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)

2.6.1.2. Pipa Hubungan Pararel

Pada keadaan dimana aliran melalui dua atau lebih pipa dihubungkan secara paralel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. maka persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut (Triatmojo, 1996 : 78) :

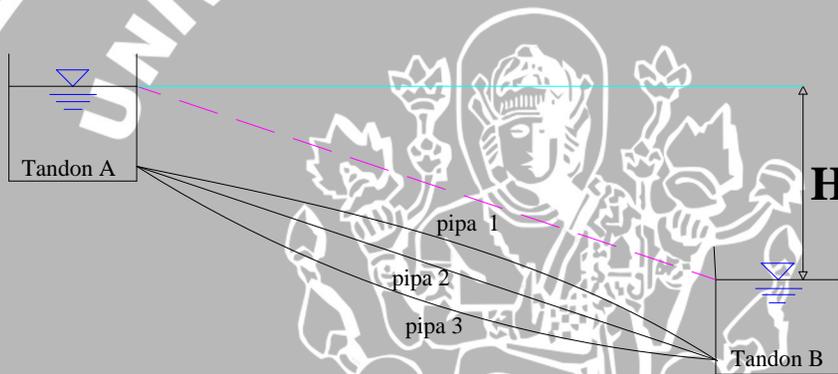
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \tag{2-28}$$

Persamaan energi untuk pipa sambungan paralel :

$$H = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} \tag{2-29}$$

dengan :

- Q = total debit pada pipa yang terpasang secara paralel (m³/det)
- Q₁, Q₂, Q₃ = debit pada tiap pipa (m³/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 2.16. Pipa Paralel
 Sumber : Triatmojo, 1996 : 79

2.7. Metode Analisa dalam 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, ata dapat dikatakan bahwa jumlah energi selalu tetap (kekal). Dapat dirumuskan sebagai berikut :

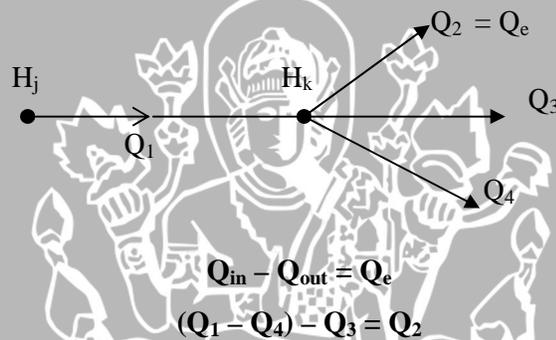
$$h_f = 0 \tag{2-30}$$
2. Hukum kontinuitas, aliran yang memasuki suatu titik pertemuan harus sama besar dengan yang meninggalkan titik tersebut. Dapat dirumuskan srbagai berikut :

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_e \quad (2-31)$$

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*).

2.7.1. 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 2.8. ditunjukkan suatu skema jaringan dengan memakai metode titik simpul.



Gambar 2.17. Skema Jaringan Sederhana

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 (2-31).
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 :

$$\Delta h = \frac{m \sum Q_a}{\sum (Q_a / h_{fa})} \quad (2-32)$$

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

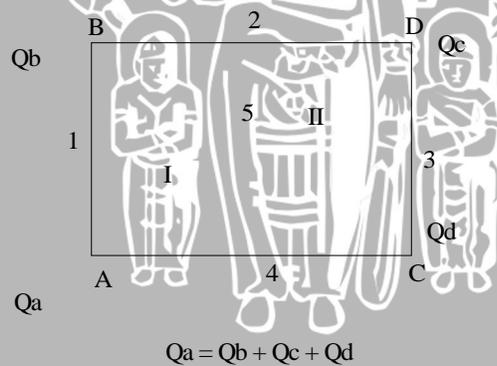
$$H = h_a + Ah \quad (2-33)$$

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.

2.7.2 Metode Jaringan Tertutup (Loop Method)

Pada gambar 2.9. menunjukkan suatu sistem kecil yang terdiri dari dua jaringan tertutup (loop). Jika di dalam sistem sudah terjadi keseimbangan maka kehilangan gesekan pipa 1 dan pipa 2 sama dengan kehilangan di pipa 3 dan pada pipa 4. Dengan perumpamaan arah jarum jam, kehilangan gesekan dinyatakan positif bila searah dengan arah jarum jam dan sebaliknya. Kemudian jaringan tersebut dapat dikatakan seimbang apabila besarnya kehilangan gesekan pada pipa sama dengan nol ($h_f = 0$), syarat tersebut berlaku untuk keseluruhan jaringan dari tiap -tiap pipa yang terangkai menjadi sebuah jaringan tertutup.



Gambar 2.18. Ilustrasi Persamaan Kontinuitas Dalam Jaringan Tertutup

Sumber : Triatmodjo, 1996 : 95

Prosedur perhitungan dengan metode Hardy Cross adalah sebagai berikut ini (Triatmodjo, 1996 : 93)

1. Pilih pembagian debit melalui tiap-tiap Q_0 hingga memenuhi syarat kontinuitas.
2. Hitung kehilangan tenaga pada tiap pipa dengan rumus $h_f = kQ^2$
3. Jaringan pipa dibagi menjadi sejumlah jaringan tertutup sedemikian sehingga tiap pipa termasuk dalam paling sedikit satu jaring.

4. Hitung jumlah kehilangan tekanan (Σh_f) pada tiap-tiap jaringan pipa. Jika pengaliran seimbang maka $\Sigma h_{f0} = 0$
5. Menghitung nilai $\Sigma |2kQ|$ untuk tiap-tiap jaringan tertutup.
6. pada tiap jaring diadakan koreksi debit ΔQ , supaya kehilangan tekanan dalam jaring seimbang. Adapun koreksinya adalah sebagai berikut :

$$\Delta Q = \frac{\sum kQ_0^2}{\sum (2kQ_0)}$$

7. Dengan debit yang telah dikoreksi sebesar $Q = Q_0 + \Delta Q$, prosedur 1 sampai 6 diulangi hingga akhirnya $\Delta Q \approx 0$, dengan Q adalah debit sebenarnya, Q_0 adalah debit misalkan dan ΔQ adalah debit koreksi.

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.

2.9. Penggunaan *Software* pada Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

2.9.1. Diskripsi Program WaterCad v 4.5

Program WaterCad v 4.5 merupakan produk dari Heastad Methods Tahun 2001 dengan kemampuan jumlah pipa yang dapat dianalisis yaitu maksimal 250 buah pipa. Program ini dapat bekerja pada sistem Windows 95, 98, dan Windows NT 4.0 ke atas. Kegunaan Program WaterCad v 4.5, antara lain (Heastad, 2001):

1. Menganalisa sistem jaringan distribusi air pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
2. Memberikan tahapan-tahapan atau perodesasi dari simulasi jaringan perpipaan terhadap adanya air maupun pemberian air yang bervariasi (berfluktuatif) menurut waktu (kondisi tidak permanen).
3. Menganalisa kualitas air pada sistem jaringan distribusi air bersih dan mengkalkulasi adanya kehilangan dari suatu unsur kimia selama di distribusi berlangsung.
4. Menganalisa kondisi jaringan pada saat kondisi ekstrim untuk keperluan pemadam kebakaran (*fire flow analysis*) dan menunjukkan bagaimana perilaku jaringan perpipaan tersebut pada kondisi ekstrim.
5. Menghitung biaya konstruksi dari alternatif jaringan distribusi air bersih yang dibuat.

2.9.2. Tahapan-tahapan dalam Penggunaan Program WaterCad v 4.5

Dalam memulai penggunaan Program WaterCad v 4.5 yang digunakan sebagai alat bantu untuk menganalisa suatu jaringan distribusi air bersih, dibutuhkan suatu tahapan-tahapan yaitu:

1. Welcome Dialog

Setiap awal membuka Program WaterCad v 4.5, akan diperlihatkan sebuah kotak dialog yang disebut *Welcome Dialog*. Kotak tersebut memuat *tutorial*, *create new project*, *open existing project*, dan *exit watercad*. Melalui *Welcome Dialog* ini pengguna dapat langsung mengakses ke bagian lain untuk menjalankan program ini.



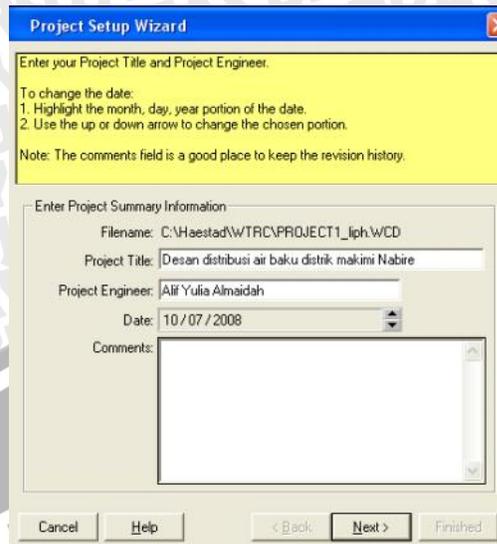
Gambar 2.19. Welcome Dialog Pada Program WaterCAD v 4.5

Sumber : Haestad, 2001

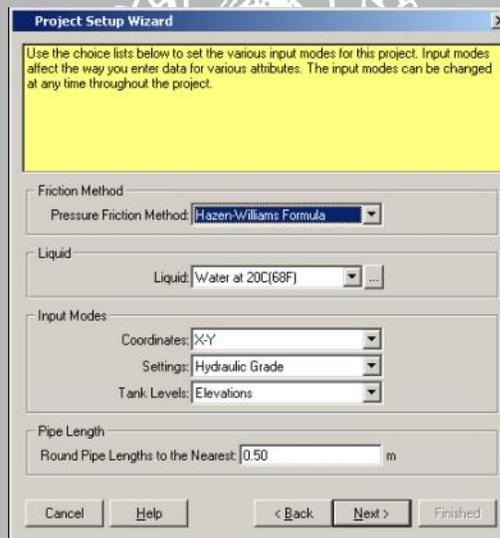
Tutorials digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCad* akan menuntun kita untuk memahami cara menggunakan program ini. Untuk membuka *tutorials* dilakukan dengan cara double klik kotak *tutorials*. Dan *create new project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru. Sedangkan *open existing project* digunakan untuk membuka kembali pekerjaan atau data yang telah disimpan sebelumnya. Untuk membuka menu ini digunakan cara yang sama pada *tutorials*. *Exit watercad* digunakan apabila ingin mengakhiri program ini melalui *dialog box*.

2. Pembuatan Lembar Kerja

Pembuatan lembar kerja baru atau *create new project* pada Program WaterCad v 4.5 ini dapat dilakukan melalui dua cara yaitu melalui *welcome dialog box* atau melalui pilihan *new* pada menu utama *file*. Sebelum proses penggambaran atau pengubahan jaringan dilakukan terlebih dahulu akan ditemui tampilan *project setup wizard* ini terdiri dari empat tahapan yaitu penamaan *file*, pemilihan rumus, penentuan besaran dari skala dan dimensi dalam penggambaran serta penentuan *prototipe* dari komponen-komponen dalam sistem jaringan seperti pada gambar 2.11 – 2.14.

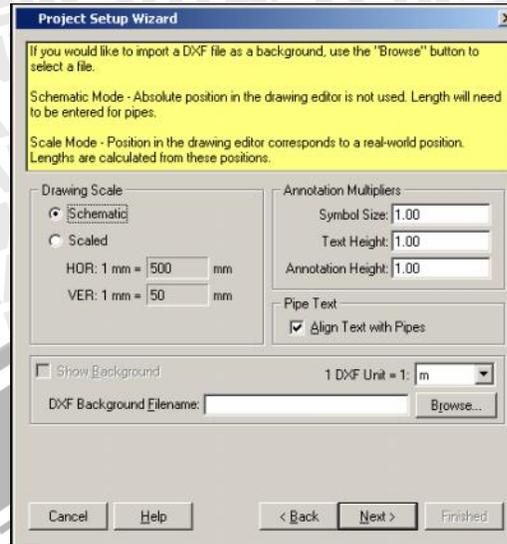


Gambar 2.20. Penamaan File Pada Program WaterCAD v 4.5

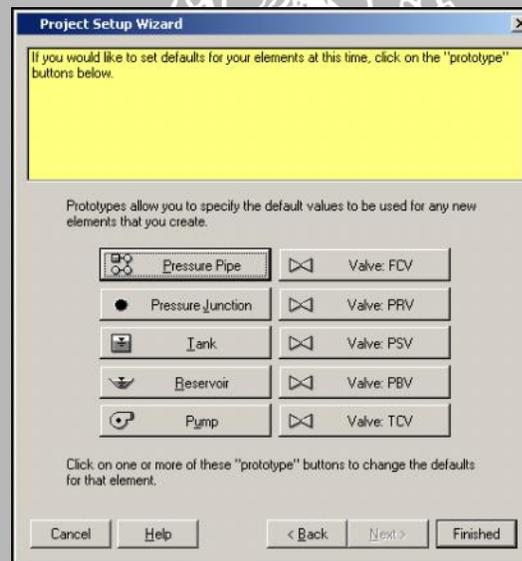


Gambar 2.21. Pemilihan Rumus Pada Program WaterCAD v 4.5

Sumber : Haestad, 2001



Gambar 2.22. Penentuan Skala Penggambaran Pada Program WaterCAD v 4.5
Sumber : Haestad, 2001



Gambar 2.23. Penentuan Komponen Jaringan Pada Program WaterCAD v 4.5
Sumber : Haestad, 2001

3. Pemodelan Komponen-komponen Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Untuk keperluan permodelan, WaterCad v 4.5 telah menyediakan komponen tersebut secara otomatis yang dapat diganti sesuai dengan yang dibutuhkan.

4. Perhitungan dan Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Setelah jaringan tergambar dan semua komponen telah sesuai dengan kondisi yang ada, maka proses selanjutnya yaitu menganalisa sistem jaringan tersebut. Dengan cara *running* (GO) ada dua pilihan analisis yang dapat

dilakukan yaitu *steady state* (kondisi permanen) dan *extended period* (kondisi tidak permanen) seperti terlihat pada gambar 2.15.

Untuk memberi nilai hasil analisis yang dilakukan ada tiga buah tanda yaitu warna hijau, warna kuning, dan merah, masing-masing warna tersebut mempunyai catatan mengenai keadaan dari sistem jaringan distribusi yang kita buat.



Gambar 2.24. Perhitungan dan Analisa Jaringan Pada Program WaterCAD v 4.5
Sumber : Haestad, 2001