

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa Data Kependudukan

2.1.1 Proyeksi Jumlah Penduduk

Dalam melakukan perencanaan pemanfaatan air ke depan dibutuhkan untuk mengetahui jumlah penduduk dan kebutuhan air rata-rata setiap hari di masa depan. Maka dilakukanlah proyeksi jumlah penduduk, dalam kajian ini proyeksi atau perkiraan jumlah penduduk dilakukan sampai 10 tahun ke depan. Untuk memperkirakan proyeksi jumlah penduduk dapat dilakukan dengan 3 metode, yaitu :

2.1.1.1 Metode Aritmatik

Dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu (tahun)

2.1.1.2 Metode Geometrik

Metode ini adalah metode rumus bunga berganda. Dalam metode ini pertumbuhan rata-rata penduduk berkisar pada presentase r yang konstan setiap tahun. Perhitungan dengan metode ini dirumuskan sebagai berikut :

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

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu (tahun)

2.1.1.3 Metode Eksponensial

Perkembangan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu (tahun)

e = Konstanta eksponensial = 2.718282

2.1.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Pemilihan ketiga metode diatas dilakukan berdasarkan cara statistik yaitu berdasarkan pada koefisien korelasi yang mendekati 1 dimana angka ini sebagai indikasi bahwa korelasi antar 2 variabel berarti positif atau kuat sekali. Berikut rumus untuk menghitung besaran koefisiensi korelasi yaitu :

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

dimana :

X = Jumlah penduduk data (jiwa)

Y = Jumlah penduduk hasil proyeksi (jiwa)

r = koefisien korelasi

n = Periode waktu (tahun)

2.2 Analisa Ketersediaan dan Kebutuhan Air Bersih

Penggunaan air di suatu tempat aka berbeda satu dengan lainnya. Hal ini tergantung dari kondisi cuaca, budaya penduduk, tingkat kesejahteraan, kepadatan, industrialisasi dan faktor-faktor lainnya. Sehingga dalam perancangan suatu system jaringan air dan variasinya haruslah diperhitungkan secermat mungkin.

Jumlah pemakaian air suatu sistem jaringan distribusi air bersih tidak sama untuk tiap jamnya, begitu juga antara satu hari dengan hari lainnya. Perbedaan tersebut terjadi karena

kebutuhan air bersih pengguna berubah terus-menerus yang dipengaruhi oleh faktor lokasi (*spatial*) dan faktor waktu (*temporal*).

2.2.1 Analisa Ketersediaan Air

Sesuai dengan kebutuhan air yang ada, maka dalam memenuhi kebutuhan air tersebut digunakanlah sumber mata air sebagai pemasok utama ketersediaan air bersih. Dalam studi ini dipakai dari 2 sumber mata air, yaitu Sumber Mata Air Gemulo dan Sumber Mata Air Precet dalam perhitungannya dari kedua sumber mata air tersebut akan dikumpulkan atau dikolektifkan sebelum didistribusikan ke desa-desa. Debit rata-rata didapat berdasarkan pengukuran data di lapangan dengan 2 jenis musim. Hasil pengukuran didapatkan debit aktual dan untuk debit andalannya digunakan debit andalan (Q80).

2.2.2 Fluktuasi Kebutuhan Air

Besarnya pemakaian air bersih pada suatu daerah tidaklah konstan, tetapi mengalami fluktuasi. Hal ini tergantung pada aktifitas keseharian dalam penggunaan air oleh masyarakat. Pada saat-saat tertentu terjadi aktifitas penggunaan air oleh masyarakat, sehingga memerlukan pemenuhan kebutuhan air bersih lebih banyak dari kondisi normal, sementara pada saat-saat tertentu juga terjadi aktifitas yang tidak memerlukan air. Pada umumnya tingkat kebutuhan air pada masyarakat dibagi menjadi 3 kelompok sebagai berikut :

1. Kebutuhan air rata-rata, yaitu kebutuhan air rata-rata yang dikonsumsi setiap orang dalam setiap harinya.
2. Kebutuhan harian maksimum, yaitu kebutuhan air yang terbesar dari kebutuhan rata-rata harian dalam satu minggu. Kebutuhan harian maksimum digunakan untuk menghitung kebutuhan air bersih pada pipa transmisi.
3. Kebutuhan air pada jam puncak, yaitu kebutuhan puncak pada jam-jam tertentu dalam satu hari. Kebutuhan air pada jam puncak digunakan untuk menghitung kebutuhan air bersih pada pipa transmisi.

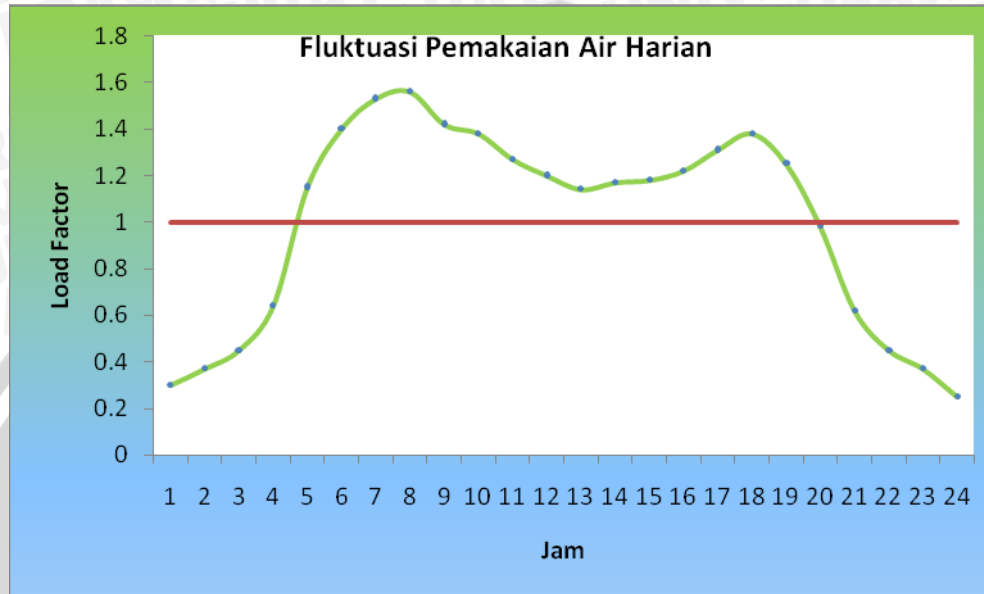
Kebutuhan air harian maksimum dan kebutuhan air pada jam puncak dihitung berdasarkan kebutuhan air harian rata-rata dengan menggunakan pendekatan sebagai berikut :

1. Kebutuhan harian maksimum = $1,2 \times$ kebutuhan air rata-rata
2. Kebutuhan air pada jam Puncak = $1,56 \times$ kebutuhan air rata-rata

Tabel 2.1 Faktor Pengali (*Load Factor*) terhadap kebutuhan harian

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Load Faktor	0,3	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
Load Faktor	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 : DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1994: 24



Gambar 2.1 Fluktuasi Pemakaian Air Harian

Sumber: DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1994: 24

2.2.3 Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik merupakan kebutuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan kran/hidran umum, jumlah kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan karakteristik dan perkembangan konsumen pengguna air bersih. Sehingga semakin luas wilayah yang harus dilayani maka akan semakin besar pula kebutuhan air bersih yang digunakan masyarakat. Hal ini dapat dilihat pada besarnya nilai kebutuhan air bersih untuk tingkatan kota yang berbeda.

Standar kelayakan kebutuhan air bersih adalah 49,5 liter/kapita/hari. Badan dunia UNESCO sendiri pada tahun 2002 telah menetapkan hak dasar manusia atas air yaitu sebesar 60 ltr/org/hari. Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 2001 membagi lagi standar kebutuhan air minum tersebut berdasarkan lokasi wilayah.

- a. Pedesaan dengan kebutuhan 60 liter/per kapita/hari.
- b. Kota Kecil dengan kebutuhan 90 liter/per kapita/hari.

- c. Kota Sedang dengan kebutuhan 110 liter/per kapita/hari.
- d. Kota Besar dengan kebutuhan 130 liter/per kapita/hari.
- e. Kota Metropolitan dengan kebutuhan 150 liter/per kapita/hari.

Berdasarkan pada Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 23 Tahun 2006 tentang Pedoman Teknis dan Tata Cara Pengaturan Tarif Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum BAB I ketentuan umum Pasal 1 ayat 8 menyatakan bahwa: “Standar Kebutuhan Pokok Air Minum adalah kebutuhan air sebesar 10 meter kubik/kepala keluarga/bulan atau 60 liter/orang/hari, atau sebesar satuan volume lainnya yang ditetapkan lebih lanjut oleh Menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang sumber daya air”. Untuk kebutuhan air minum nasional data dari Departemen Pekerjaan Umum menunjukkan, bahwa kebutuhan air nasional sebanyak 272.107 liter per detik, sedangkan kapasitas air minum eksistingnya sebanyak 105.000 liter perdetik.

2.2.4 Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik merupakan kebutuhan air bersih yang digunakan selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran/hidran umum, seperti pemakaian air untuk perkantoran, perdagangan, industri serta fasilitas sosial lainnya seperti tempat ibadah, sekolah, asrama, rumah sakit, militer, serta pelayanan jasa umum lainnya. Besarnya prosentase kebutuhan non domestik terhadap kebutuhan domestic juga harus memperhatikan perkembangan tingkat kebutuhan dari tahun ke tahun.

Dalam studi ini kebutuhan non domestik digunakan angka sesuai dengan Kriteria Sasaran Program Air Bersih, Direktorat Jenderal Cipta Karya. Untuk kota batu khususnya Kecamatan Bumiaji sebagai daerah layanan bisa dikategorikan kota kecil, sehingga kebutuhan non domestiknya diasumsi sebesar 20% dari kebutuhan domestik.

Besarnya pemakaian kebutuhan air rata-rata sarana dan prasarana non domestik kecamatan Bumiaji disesuaikan dengan standar Direktorat Jenderal Cipta Karya yaitu :

Tabel 2.2 Klasifikasi dan Struktur Kebutuhan Air

No	Paramater	Metro	Besar	Sedang	Kecil
1	Tingkat Pelayanan (target)	100%	100%	100%	100%
2	Tingkat Pemakaian Air (lt/ orang/ hari)				
	-> Sambungan Rumah (SR)	190	170	150	130
	-> Hidran Umum (Kran Umum)	30	30	30	30
3	Kebutuhan Non Domestik				
	-> Industri (lt/ orang/ hari)			15% s/d 30%	
	- Berat	0,5-1,00		(kebutuhan	
	- Sedang	0,25-0,50		domestik)	
	- Ringan	0,1-0,25			
	-> Komersial (lt/ orang/ hari)				
	- Pasar	400			
	- Hotel (lt/ orang/ hari)	1000			
	- local				
	- Internasional				
	-> Sosial dan Institusi				
	- Universitas (lt/ siswa/ hari)	20			
	- Sekolah (lt/ siswa/ hari)	15			
	- Masjid (m ³ / hari/ unit)	1 s/d 2			
	- Rumah Sakit (lt/ orang/ hari)	400			
	- Puskesmas (m ³ / hari/ unit)	1 s/d 2			
	- Kantor (lt/ orang/ hari)	0,01			
	- Militer (m ³ / hari/ unit)	10			
4	Kebutuhan Harian Rata-Rata	Kebutuhan Domestik + Non Domestik			
5	Kebutuhan Harian Maksimum	Kebutuhan Rata-Rata x 1,15-1,20 (faktor jam maksimum)			
6	Kehilangan Air				
	- Sistem Baru	20% x Kebutuhan Rata-Rata			
	- Sistem Lama	30% x Kebutuhan Rata-Rata			
7	Kebutuhan Jam Puncak	Kebutuhan Rata-Rata x faktor jam puncak (165%-200%)			

Sumber : Direktorat Jenderal Cipta Karya

2.2.5 Kehilangan Air

Kehilangan air merupakan perkiraan jumlah kehilangan air pada pipa distribusi dan tidak termasuk dalam kategori pemakaian air, akan tetapi dalam perencanaan besarnya angka kehilangan air harus diperhitungkan. Faktor kehilangan air dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Kehilangan air akibat faktor teknis
 - Adanya lubang atau celah pada pipa sambungan
 - Pipa pada jaringan distribusi pecah
 - Meter yang dipasang pada pipa konsumen kurang baik
 - Kehilangan air pada instalasi pengolahan
 - Pemasangan perpipaan yang kurang baik
2. Kehilangan air akibat faktor non teknis
 - Kesalahan membaca meter air
 - Kesalahan dalam penjumlahan atau pengurangan data
 - Kesalahan pencatatan hasil pembacaan meter air
 - Pencurian air atau pemasangan sambungan liar

Sebagai indikasi kemungkinan terjadinya kehilangan air dapat dilakukan beberapa cara antara lain :

- Dengan membandingkan jumlah air yang diproduksi dengan jumlah pemakaian tercatat
- Dengan membandingkan jumlah pemakaian air pada malam hari dengan jumlah pemakaian air dalam satu hari.

Faktor kehilangan air dalam pekerjaan ini mengacu pada Kriteria Sasaran Program Air Bersih, Direktorat Jenderal Cipta Karya. Mengingat jauhnya jarak penyaluran air dari sumber pengambilan ke daerah layanan, dan belum adanya fasilitas jalan yang baik maka dalam pekerjaan ini diasumsikan angka kehilangan air sebesar 35% dari kapasitas total.

2.3 Analisa Neraca Air

Analisa neraca air atau keseimbangan air dimaksudkan untuk mengevaluasi kondisi ketersediaan air dan pemanfaatannya sehingga dapat diketahui saat-saat dimana terjadi kekurangan air (defisit) atau kelebihan air (surplus). Kemudian diharapkan dari analisis

keseimbangan ini dapat diketahui rencana dan program pembangunan proyek-proyek yang dapat diprioritaskan untuk mendukung pengadaan air baku di lokasi kajian.

Neraca berupa selisih antara ketersediaan dan kebutuhan air total dari sektor yang ada, sehingga dapat dilihat secara mudah perkiraan terjadinya surplus dan defisit air pada saat yang sama di wilayah perencanaan. Seluruh perhitungan ini diasumsi secara ideal, yaitu bahwa pemakai air untuk seluruh sektor hanya memanfaatkan air dari sumber air permukaan dan hanya mendapatkan pelayanan air dari sistem yang direncanakan ini.

2.4 Analisa Hidrolika

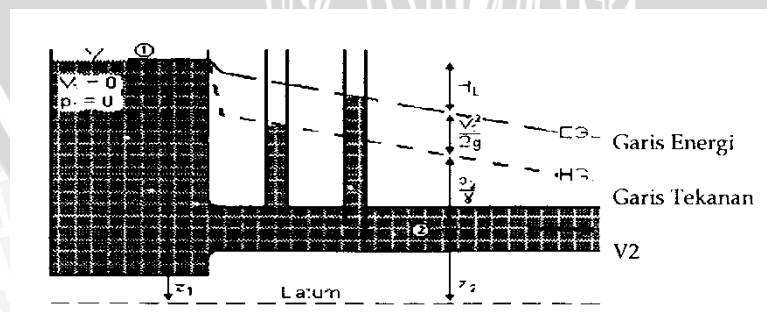
Dalam melakukan analisis hidrolika pada sistem jaringan distribusi air bersih melalui saluran tertutup (pipa) haruslah memenuhi kaidah-kaidah sebagai berikut :

2.4.1 Hukum Bernoulli

Prinsip Bernoulli mengatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah sama dengan jumlah energy kecepatan, energy tekanan dan energi ketinggian, yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_{TOT} &= \text{Energi ketinggian} + \text{Energi Kecepatan} + \text{Energi tekanan} \\ &= h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma_w} \end{aligned} \quad (2-5)$$

Menurut teori hukum kekekalan energi dari Bernoulli menyatakan bahwa apabila tidak ada energy yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup maka energi totalnya tetap konstan. Hal ini dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Energi

Sumber : Anonim, 2007

Hukum kekekalan Bernoulli pada gambar diatas dapat dituliskan sebagai berikut (Haestad, 2002 :267) :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_w} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (2-6)$$

Dimana :

$\frac{P_1}{\gamma_w}, \frac{P_2}{\gamma_w}$ = tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)

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

P_1, P_2 = tekanan di titik 1 dan 2

γ_w = berat jenis air (kg/m^3)

v_1, v_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

h_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

2.4.2 Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir sepanjang pipa yang mempunyai luas penampang $A \text{ m}^2$ dan kecepatan $V \text{ m/det}$ selalu memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya. Hal tersebut dikenal sebagai hukum kontinuitas dan dituliskan sebagai :

$$Q_1 = Q_2 \quad (2-7)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2-8)$$

Dimana :

Q_1 = debit pada potongan 1 (m^3/det)

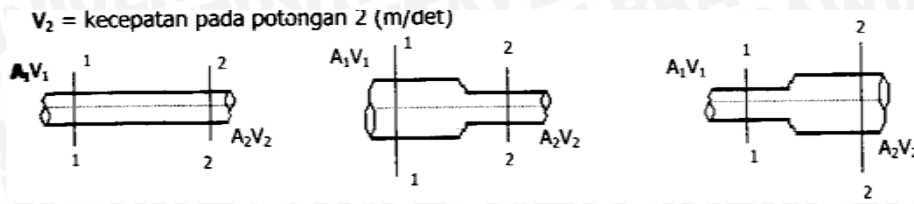
Q_2 = debit pada potongan 2 (m^3/det)

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

A_2 = luas penampang pada potongan 2 (m^2)

V_1 = kecepatan pada potongan 1 (m/det)

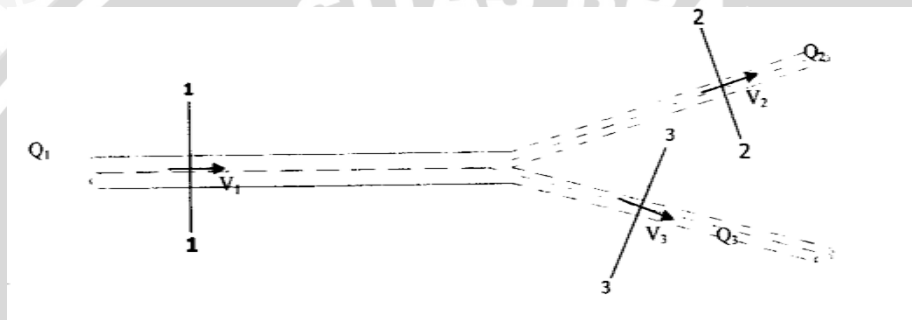
V_2 = kecepatan pada potongan 2 (m/det)



Gambar 2.3 Aliran Dalam Pipa

Sumber : Anonim, 2007: VII-2

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



Gambar 2.4 Aliran Bercabang

Sumber : Anonim, 2007: VII-2

Dimana :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2-9)$$

$$A_1 \cdot V_1 = (A_2 \cdot V_2) + (A_3 \cdot V_3) \quad (2-10)$$

Dengan :

Q_1, Q_2, Q_3 = debit yang mengalir pada penampang 1, 2 dan 3 (m^3/det)

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

2.4.3 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Kehilangan tinggi tekan dalam pipa dapat dibedakan menjadi dua yaitu kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*). Dalam merencanakan system 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 sebagai berikut :

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2-11)$$

Dimana :

Re = bilangan *Reynold*

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/det)

D = diameter pipa (m)

ν = kekentalan kinematik air pada suhu tertentu (m^2/det)

Tabel 2.3 Kekentalan Kinematis

Suhu ($^{\circ}C$)	Kekentalan Kinematik (m^2/det)	Suhu ($^{\circ}C$)	Kekentalan Kinematik (m^2/det)
0	$1.785 \cdot 10^{-6}$	40	$0.658 \cdot 10^{-6}$
5	$1.519 \cdot 10^{-6}$	50	$0.553 \cdot 10^{-6}$
10	$1.306 \cdot 10^{-6}$	60	$0.474 \cdot 10^{-6}$
15	$1.139 \cdot 10^{-6}$	70	$0.413 \cdot 10^{-6}$
20	$1.003 \cdot 10^{-6}$	80	$0.364 \cdot 10^{-6}$
25	$0.893 \cdot 10^{-6}$	90	$0.326 \cdot 10^{-6}$
30	$0.800 \cdot 10^{-6}$	100	$0.294 \cdot 10^{-6}$

Sumber : Anonim, 2007

Dari perhitungan bilangan *Reynold*, maka sifat aliran di dalam pipa dapat diketahui dengan

Kriteria sebagai berikut :

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

2.4.3.1 Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

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

Untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor ini bisa digunakan formula

Hazen-Williams berikut :

$$Q = 0,85 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,64} \quad (2-12)$$

$$v = 0,85 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,64} \quad (2-13)$$

dimana :

Q = debit aliran pada pipa (m³/det)

v = kecepatan pada pipa (m/det)

0,85 = konstanta

C_{hw} = koefisien kekasaran Hazen-Williams

A = luas penampang aliran (m²)

R = jari-jari hidrolis (m²)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{\pi D} \quad (2-14)$$

$$R = \frac{D}{4}$$

$$S = \text{kemiringan garis energi (m/m)} = \frac{hf}{L} \quad (2-15)$$

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

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

dimana :

$$k = \frac{10,7 L}{C_{hw}^{1,85} D^{4,87}} \quad (2-17)$$

dengan :

hf = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

k = koefisien karakteristik pipa

Q = debit aliran pada pipa (m³/det)

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C_{hw} = koefisien kekasaran Hazen-Williams

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

Tabel 2.4 Koefisien Kekasaran Menurut Hazen-Williams

No	Jenis Pipa	Nilai Koefisien Hazen-Williams (C_{hw})
1	PVC	140-150
2	Pipa Asbes	120-150
3	Batu berlapis semen	100-140
4	Pipa besi digalvanis	100-120
5	Cast Iron	90-125

Sumber : Anonim, 2007: VII-8

2.4.3.2 Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Faktor lain yang juga ikut menambah besarnya kehilangan tinggi tekan pada suatu aliran adalah kehilangan tinggi tekan minor. Kehilangan tinggi tekan minor ini disebabkan oleh adanya perubahan mendadak dari ukuran penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan-belokan, adanya katub dan berbagai jenis sambungan. Persamaan umum untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan minor ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$h_{Lm} = K \frac{v^2}{2g} \quad (2-18)$$

Dimana :

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

k = koefisien kehilangan tinggi tekan minor

v = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/det)

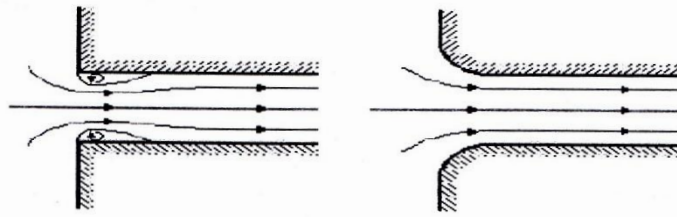
g = percepatana gravitasi (m/det²)

Besarnya nilai koefisien k sangat beragam, tergantung daru bentuk fisik penyempitan, pelebaran, belokan, katub dan sambungan dari pipa.

Tabel 2.5 Koef. Kekasaran Pipa menurut jenis Perubahan Bentuk Pipa

Jenis Perubahan	K	Jenis Perubahan	K
Bentuk Pipa		Bentuk Pipa	
Awal Masuk Pipa		Belokan halus 90 ⁰	
<i>Bell mouth</i>	0.03-0.05	Radius belokan/D = 4	0.16-0.18
Rounded	0.12-0.25	Radius belokan/D = 2	0.19-0.25
<i>Shard edge</i>	0.5	Radius belokan/D= 1	0.35-0.40
<i>Projecting</i>		Belokan tiba-tiba (mitered)	
Pengecilan mendadak		$\Theta = 15^0$	0.05
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.15	$\Theta = 30^0$	0.1
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.37	$\Theta = 45^0$	0.2
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.49	$\Theta = 60^0$	0.35
		$\Theta = 90^0$	0.8
Pengecilan mengerucut		T (tee)	
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.05	Aliran searah	0.3-0.4
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.07	aliran bercabang	0.75-1.8
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.08	Persilangan	
Pembesaran mendadak		Aliran searah	0.5
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.15	aliran bercabang	0.75
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.57	45 ⁰ Wye	
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.92	Aliran searah	0.3
Pembesaran mengerucut		aliran bercabang	0.5
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.03		
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.08		
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.13		

Sumber : Haestad, 2001: 292



Gambar 2.5 Pengaruh Bentuk Belokan Pipa pada Aliran

Sumber : Anonim, 2007: VII-10

2.5 Elemen-Elemen pada Sistem Distribusi Air Bersih

Elemen-elemen pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih adalah komponen-komponen yang ada dalam suatu rangkaian sistem jaringan distribusi air bersih. Elemen-elemen ini terdiri dari pipa dan sambungannya, katub, pompa, tandon dan ran (fasilitas pemanfaatan air) dimana kesemuanya haruslah bekerja dengan baik jika salah satu dari elemen tersebut tidak berfungsi, maka dampaknya adalah berkurangnya aliran bahkan terhentinya kinerja dan efisiensi dari sistem tersebut.

2.5.1 Pipa

→ Jenis Pipa

Pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih, pipa merupakan komponen yang utama. Pipa ini berfungsi sebagai sarana untuk mengalirkan air ke sumber air ke tanton, maupun dari tandon ke konsumen. Pipa memiliki bentuk penampang lingkaran dengan diameter tertentu. Dalam pelayanan penyediaan air baku lebih banyak digunakan pipa bertekanan karena lebih sedikit kemungkinan tercemar dan biayanya lebih murah disbanding dengan saluran terbuka. Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri air dalam keadaan penuh. Pipa yang umumnya dipakai untuk sistem jaringan distribusi air adalah :

a. Besi tuang (*cast iron*)

Pipa ini biasanya dicelupkan dalam larutan kimia untuk perlindungan terhadap karat. Panjang pipa biasabya 4 sampai 6 m. tekanan maksimum pipa sebesar 25 kg/cm^2 dan umur pipa mencapai 100 tahun.

b. Besi galvanis (*galvanized iron*)

Pipa jenis ini bahannya terbuat dari pipa baja yang dilapisi seng. Umur pipa pendek yaitu antara 7 – 10 tahun. Pipa jenis ini sering digunakan untuk jaringan pelayanan yang kecil.

c. Plastik (PVC)

Pipa ini lebih dikenal dengan sebutan pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) dan di pasaran mudah untuk didapat dengan berbagai ukuran. Panjang pipa 4 – 6 m dengan ukuran diameter mulai dari 16 mm sampai 350 mm.

d. Baja

Pipa ini terbuat dari baja lunak dan mempunyai banyak ragam di pasaran. Ukurannya bisa sampai berdiameter lebih dari 6 m dan berumur 40 tahun.

e. HDPE (*High Density Poly Etilin*)

Pipa ini bersifat elastis dan cocok dipasang untuk daerah yang bergelombang

➔ **Accesoris Pipa**

Pipa yang digunakan dalam system distribusi air baku harus dilengkapi dengan peralatan bantuan agar bisa berfungsi secara baik :

a. Sambungan antar pipa

Untuk menggabungkan antara pipa satu dengan yang lain diperlukan suatu sambungan pipa. Sambungan pada pipa antara lain :

- Mangkok (*bell*) dan lurus (*spigot*)
- Sambungan mekanik
- Sambungan dorong (*push on joint*)
- Sambungan *flens*

◆ **Belokan (*Bend*)**

Digunakan untuk mengubah arah dari lurus dengan sudut perubahan standar yaitu sebesar $11\frac{1}{4}^{\circ}$, $22\frac{1}{2}^{\circ}$, 45° , 90° .

◆ **Perlengkapan “T”**

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

◆ **Perlengkapan “Y”**

Untuk pipa sekunder yang dipasang pada pipa primer dengan sudut 45°

b. Pintu dan Katub

Aliran yang baik dalam pipa sangat ditunjang dengan katup yang bekerja. Beberapa jenis katup yang mempunyai fungsi tersendiri adalah :

- ◆ Flow Control Valve (FCV)
Digunakan untuk membatasi aliran maksimum rata-rata yang memlalui katup dan dimaksud untuk melindungi suatu komponen tertentu.
- ◆ Pressure Reducer Valve (PRV)
Digunakan untuk menanggulangi tekanan yang terlalu besar di hilir katup. Jika tekanan naik melebihi batas maka katup PRV akan tertutup.
- ◆ Pressure Sustaining Valve (PSV)
Digunakan untuk menanggulangi penurunan tekanan secara drastis di hulu
- ◆ Pressure Breaker Valve (PBV)
Digunakan untuk memberikan tekanan tambahan pada tekanan yang menurun di katup, selain itu katup ini juga dapat meberikan tekanan tambahan pada aliran yang berbalik arah
- ◆ Thorttle Control Valve (TCV)
Katup ini digunakan untuk mengontrol *minor losses* yang berubah setiap waktu.

2.5.2 Pompa

Pompa adalah komponen system yang mampu memberikan tambahan tekanan dalam suatu sistem jaringan distribusi air bersih. Dengan pompa, maka tinggi tekanan yang berkurang dapat dinaikkan kembali sehingga sistem dapat mengalirkan air lagi. Dan juga berfungsi untuk mengalirkan air ke tempat pelayan yang lebih tinggi dan jauh. Atau apabila sebelum ada pompa sidah ada aliran, maka pompa juga dapat berfungsi sebagai penambah kapasitas debitnya.

Karakteristik pompa ditunjukkan oleh debit yang dapat dihasilkan pada berbagai variasi tinggi tekan. Semakin tinggi tekan yang ditambah, semakin kecil pula debit yang dihasilkan demikian pula sebaliknya. Operasional pompa juga menggunakan prinsip tersebut, dimana harus diperhatikan tinggi tekan dan debit sehingga operasional pompa dapat mencapai tingkat efisiensi yang tinggi.

2.5.3 Tandon/Reservoir

Tandon merupakan komponendari system jaringan distribusi air bersih dimana berfungsi untuk menampung air sementara yang akan disalurkan ke konsumen. Pengisian tampungan tandon ketika kebutuhan air tidak mencapai puncak atau dibagi antara keduanya apabila kapasitas debitnya mencukupi. Yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tandon adalah aspek kuantitas, kontinuitas dan kualitas air yang akan ditampung dan disalurkan.

2.6 Mekanisme Pengaliran dalam Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

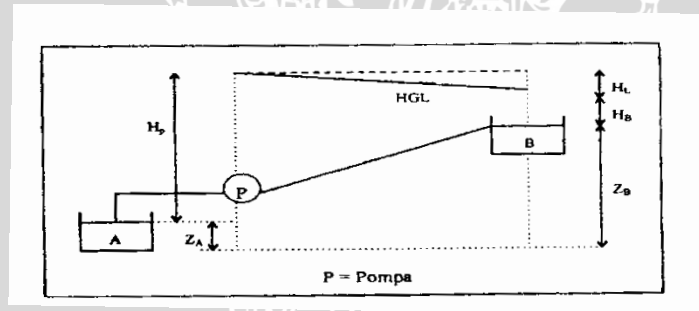
2.6.1 Jenis Pengaliran

2.6.1.1 Pipa dengan Menggunakan Gravitasi

Dalam hal ini dalam mekanisme pendistribusian air bersih dan pemasangan pipa menggunakan prinsip gravitasi berdasarkan kondisi topografi daerah layanan. Dalam pemasangan ini tidak diperlukan pompa dikarenakan air mengalir berdasarkan prinsip gravitasi.

2.6.1.2 Pipa dengan Bantuan Pompa

Pemakaian pompa dimaksudkan untuk lebih memperbesar tekanan pada suatu titik agar dapat melayani area yang lebih luas atau area yang mempunyai kondisi topografi lebih tinggi dari bagian hulu.



Gambar 2.6 Skema Jaringan Distribusi Air Bersih Dengan Pompa

Sumber : Anonim, 2007

Dari gambar diatas, maka tinggi garis gradien di titik B adalah :

$$H_B = Z_A + H_P - Z_B + H_L \quad (2-19)$$

Dengan :

H_B = tekanan di titik B

Z_A = tinggi elevasi titik A (m)

Z_B = tinggi elevasi titik B (m)

H_P = tinggi tekan pompa (m)

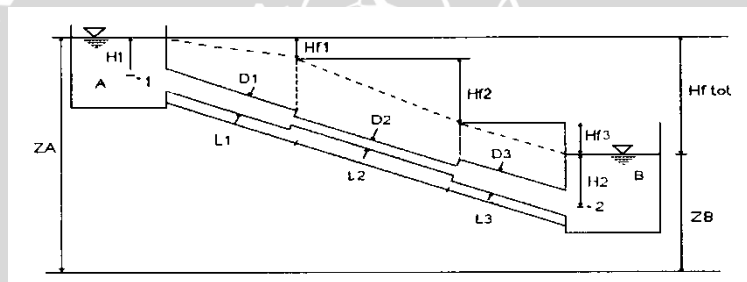
H_L = kehilangan tinggi tekan (m)

2.6.2 Sistem Perpipaan

System perpipaan dalam jaringandistribusi air bersih dapat dibagi mejadi dua yaitu pipa dengan hubh\ungan seri dan paralel. Penggunaan system ini berdasarkan pada kondisi lapangan dan melihat tingkat kebutuhan airnya.

2.6.2.1 Pipa Hubungan Seri

Apabila suatu saluran pipa terdiri dari beberapa pipa yang berdiameter sama atau berbeda dalam kondisi terseambung, maka kondisi tersebut dapat disebut pipa hubungan seri. Pada sambungan seri semu debit pada setiap titik sama sedangkan kehilangan tekanan di semua titik berbeda.



Gambar 2.7 Pipa dalam Hubungan Seri

Sumber : Anonim, 2007: VII-10

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \tag{2-20}$$

Dengan :

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{debit pada tiap pipa (m}^3/\text{det)}$$

Sedangkan,

$$hf_{tot} = hf_1 + hf_2 + hf_3 \tag{2-21}$$

$$= \sum_{i=1}^n hf$$

Dengan :

hf_{tot} = total kehilangan tekanan papa pipa terpasang seri (m)

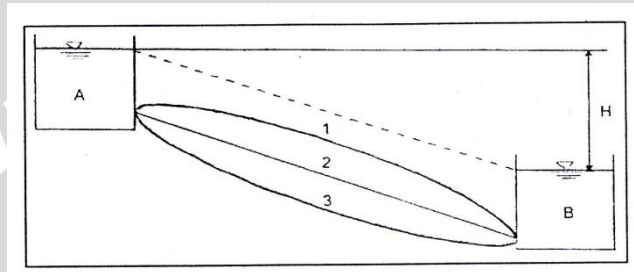
$hf_1 = hf_2 = hf_3$ = kehilangan tekanan pada tiap pipa (m)

sehingga persamaan *Bernoulli* menjadi

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_w} + \frac{v_2^2}{2g} + hf_{\text{tot}} \quad (2-22)$$

2.6.2.2 Pipa Hubungan Paralel

Apabila dua atau lebih pipa yang letaknya sejajar dan terhubung oleh suatu simpul (*junction*), maka pipa tersebut dapat disebut terhubung secara paralel. Pada pipa paralel, debit total merupakan hasil penjumlahan dari debit yang mengalir pada tiap pipa, sedangkan kehilangan tekanan pada tiap pipa sama.



Gambar 2.8 Pipa dalam Hubungan Paralel

Sumber : Anonim, 2007: VII-11

$$hf_1 = hf_2 = hf_3 \quad (2-23)$$

dengan :

$hf_1 = hf_2 = hf_3 =$ kehilangan tekanan pada tiap pipa (m)

sedangkan,

$$\begin{aligned} Q_{\text{tot}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= \sum_{i=1}^n Q \end{aligned} \quad (2-24)$$

Dengan :

Q_{tot} = total debit papa pipa terpasang paralel (m^3/det)

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

2.7 Metode Aliran dalam Pipa

Pada jaringan pipa ada dua persamaan yang harus dipenuhi yaitu persamaan kontinuitas masaana dan persamaan energy. Kedua persamaan tersebut berlaku untuk semua pipa dalam sistem jaringan distribusi air bersih. Untuk menyelesaikan perhitungan analisis

sistem jaringan pipa, didasarkan pada dua kondisi dasar yang harus dipenuhi yaitu (Webber, 1971) :

1. Hukum kontinuitas, yaitu dalam tiap-tiap titik simpul aliran yang masuk harus sama dengan yang keluar (Triatmojo, 1996 : 92)

$$\sum Q_i = 0$$

Dimana Q_i = debit yang masuk atau keluar dari titik simpul

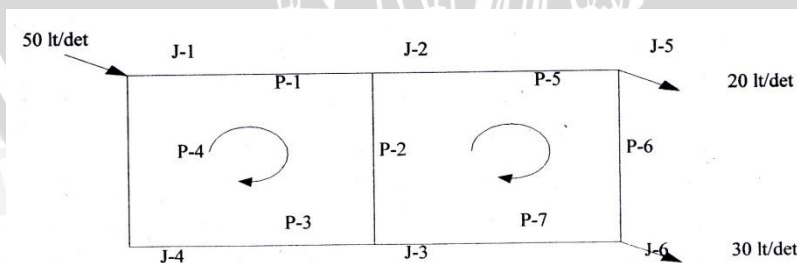
2. Untuk kontinuitas tekanan, jumlah kehilangan tekanan di dalam sistem jaringan tertutup harus sama dengan nol

$$\sum h_f = 0$$

Untuk menggunakan kedua persamaan diatas, Hardy Cross (1936) menawarkan dua metode yaitu jaringan tertutup (*loop method*) dan metode titik simpul (*junction method*).

2.7.1 Metode Jaringan Tertutup (*Loop Method*)

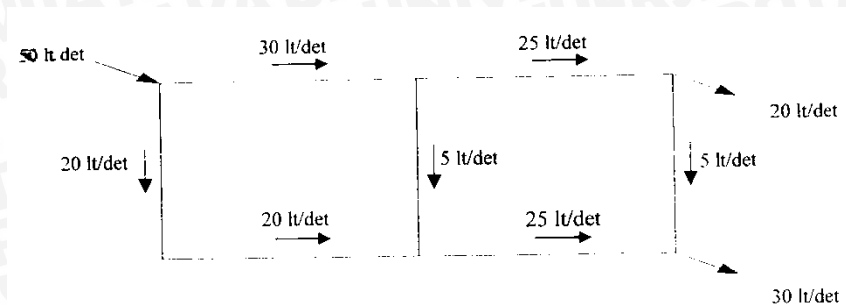
Dalam metode jaringan tertutup ini digunakan prinsip keseimbangan tinggi tekan dengan menganggap bahwa aliran masuk dan keluar dari jaringan harus diketahui untuk menentukan aliran dalam setiap komponen pipa. Jika tekanan pada sistem juga diperlukan maka tinggi tekan pada satu titik dalam jaringan harus diketahui awalnya. Gambar di bawah menunjukkan suatu sistem dimana bila semua persyaratan satandar telah terpenuhi, maka kehilangan tinggi tekan dalam pipa 1 dan 2 sama dengan kehilangan tinggi tekan di pipa 3 dan 4 sehingga dikatakan jaringan tersebut telah seimbang. Dengan perumpamaan arah jarum jam, kehilangan tinggi tekan dikatakan positif bila searah jarum jam.



Gambar 2.9 Skema Jaringan dengan Metode Jaringan Tertutup

Sumber : Anonim, 2007: VII-13

Konsep yang dikemukakan oleh Hardy Cross adalah menggunakan prinsip kontinuitas, bahwa debit yang masuk sama dengan debit yang keluar

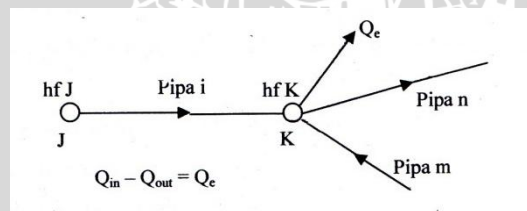


Gambar 2.10 Ilustrasi Persamaan Kontinuitas dengan Metode Jaringan tertutup

Sumber : Anonim, 2007: VII-13

2.7.2 Metode Titik Simpul (*Junction Method*)

Dalam metode titik simpul digunakan prinsip keseimbangan debit (*quantity balance*) yaitu dengan lebih mempertimbangkan besarnya debit aliran pada suatu titik simpul sebagai variabel yang tidak diketahui daripada mempertimbangkan besarnya debit aliran pada pipa yang dipakai dalam metode jaringan tertutup. Langkah modifikasi dari R.J Cornish ini dapat digunakan bila tinggi tekan pada tiap titik masuk (*junction*) diketahui dan digunakan untuk menentukan tinggi tekan dan aliran di sepanjang jaringan.



Gambar 2.11 Skema Jaringan dengan Metode Titik Simpul

Sumber : Anonim, 2007: VII-14

2.8 Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih dengan Penggunaan Software

2.8.1 Deskripsi EPANET v2.0

Epanet 2.0 adalah program computer yang dapat menampilkan simulasi periode hidrolika dan kualitas air berdasarkan jaringan pipa. Program ini dikeluarkan oleh National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S.

Environmental Protection Agency Cincinnati Ohio (1995), yang terkonsentrasi mengurangi resiko ancaman terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, mencegah dan mengontrol polusi udara, tanah, air dan air tanah. EPANET dapat mengidentifikasi aliran atau debit pada tiap-tiap pipa, tekanan pada tiap-tiap titik simpul, ketinggian air tendon dan perubahan konsentrasi senyawa kimia yang ditambahkan pada jaringan dalam sebuah system distribusi selama periode simulasi.

EPANET menyediakan paket system analisis hidrolika lengkap yang termasuk didalamnya kemampuan untuk:

1. Menyediakan segala ukuran jaringan.
2. Menghitung kehilangan tinggi energy akibat gesekan berdasarkan rumus Hazen-William, Darcy- Weisbach atau Chezy- Manning.
3. Menghitung kehilangan tinggi energy akibat belokan, sambungan, dan sebagainya.
4. Permodelan kecepatan konstan atau variasi untuk aliran pipa.
5. Perhitungan energy pompa serta biaya operasinya.
6. Permodelan untuk berbagai variasi tipe katup termasuk didalamnya katup penutup, katup cek, katup pengatur tekanan dan katup pengatur aliran.
7. Merancang beragam ukuran tangki atau bak penyimpanan.
8. Menentukan bermacam-macam kategori kebutuhan pada tipe titik atau node, yang memiliki variasi pola waktu tersendiri.
9. Permodelan tekanan aliran bebas seperti pada sprinkler.
10. Melakukan system yang operasinya berbasis pada tingkatan sederhana atau dengan pengaturan waktu pada system control operasi yang kompleks.

Dalam menghitung kehilangan tekan, Epanet menggunakan 3 rumus yaitu sebagai berikut:

- Rumus Hazen- Williams
- Rumus Darcy- Weisbach
- Rumus Chezy- Manning

EPANET yang berbasis system Windows menyediakan editor jaringan secara visual yang menyederhanakan proses pembangunan model jaringan pipa dan dapat berganti spesifikasinya (*visualization tools*) untuk membantu menginterpretasikan hasil dari analisa

jaringan. Termasuk didalamnya tampilan grafis (skala, profil, kontur, dan sebagainya), tampilan tabulasi dan tambahan informasi tentang penggunaan energy, reaksi, dan kalibrasi. Khusus untuk mempermudah pemeliharaan kualitas air dan meningkatkan kualitas air pengiriman air ke pengguna (konsumen) melalui system jaringan distribusinya, selain itu dapat digunakan untuk merencanakan serta meningkatkan kinerja system hidrolis.

2.8.2 Ruang Lingkup Paket Program EPANET v2.0

EPANET dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi dalam menganalisis system distribusi air bersih, misalkan untuk merencanakan system distribusi, analisis kandungan chlorine pada aliran dalam system distribusi, menganalisis arah aliran pada system distribusi air bersih, menganalisis ketinggian air tandon, menganalisis arah aliran pada pipa distribusi dan lain sebagainya. Secara umum, paket program EPANET terdiri atas tiga program utama yang saling berhubungan, yaitu:

- a. Program simulasi (*simulation routine*) yaitu program yang mensimulasikan kondisi hidrolis pada semua komponen system distribusi air bersih, tidak hanya untuk kondisi permintaan permanen namun juga dapat dilakukan simulasi hidrolis non permanen. EPANET menggunakan metode simultan (*simultaneous node adjustment method*) yaitu program yang menghitung analisa kondisi hidrolis semua komponen system distribusi air bersih pada kondisi kebutuhan air yang berubah sepanjang waktu dengan mempertimbangkan perubahan fluktuasi muka air tandon (*tank/ reservoir*) dan operasi control pompa, sebagai metode penyelesaian numeric pada analisa jaringan pipa dengan persamaan Hazen- William atau Darcy-Weisbach untuk mencari kehilangan tinggi tekan pada jaringan pipa.
- b. Program simulasi kualitas air merupakan program simulasi dinamik untuk kualitas air yang dapat melacak senyawa kimia yang ditambahkan dalam aliran pada suatu system jaringan.
- c. Program lama air dan arah aliran, disamping untuk simulasi hidrolis dan kualitas air, EPANET dapat digunakan untuk mengetahui lama air dalam pengalirannya pada suatu system distribusi air bersih dan juga dapat melacak sumber atau asal dari suatu pengaliran didalam suatu pipa berasal dari mana.

2.8.3 Batasan Permodelan Sistem Distribusi Air Bersih dengan Paket Program EPANET v2.0

Paket program EPANET dapat mengalisa suatu system jaringan distribusi jaringan dengan denah (*lay-out*) tidak terbatas untuk system jaringan tertutup (*looped networks*) atau system percabangan (*branced networks*). Batasan jumlah titik simpul 1 sampai 214.738.647 buah titik simpul maksimum, dengan adanya pengoperasian stasiun pompa, katup perubah tekanan (PRV) dan katup control dengan sedikit 1 buah titik simpul kondisi tetap (*tank/reservoir*) dan beberapa sumber air. Paket Program EPANET menggunakan satuan British maupun satuan international, tergantung mana yang akan digunakan dalam perencanaan.

2.8.4 Struktur Umum Paket Program EPANET v2.0

Operasional paket program EPANET dikendalikan dari menu proram control utama, dari program control ini dapat diakses 6 menu utama yang saling terkait yaitu : *file, edit, view, project, report, dan windows*. Struktur menu dari masing-masing program utama pada program control ini sangat interaktif.

2.8.5 Parameter Permodelan dengan Paket Program EPANET v2.0

Parameter permodelan dimasukkan ke dalam program EPANET secara interaktif dengan menggunakan kata kunci (*keywords*) yang berupa masukan data atau modifikasi data.

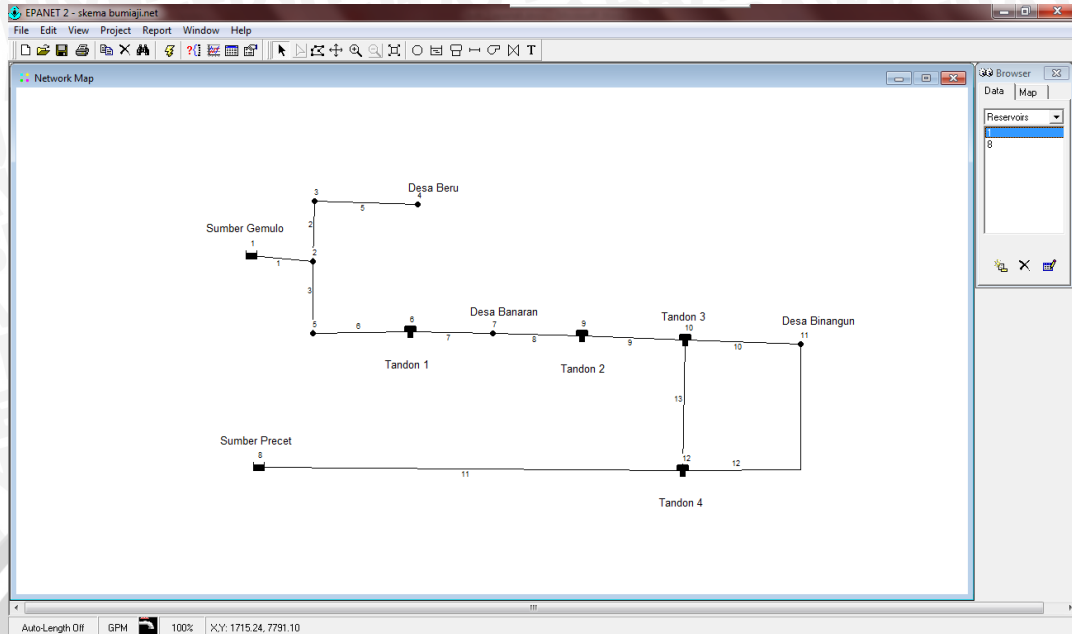
- a. TITTLE (nama proyek), akan dicetak pada awal setiap keluaran maksimum 80 karakter
- b. JUNCTION (titik simpul), yaitu nomor titik simpul, elevasi (m), debit kebutuhan (lt/dt)
- c. TANK (data tandon), merupakan kata kunci penugasan suatu titik simpul dengan tinggi tekan yang dapat berubah, yaitu nomor identitas, elevasi (m), tinggi air rerata, tinggi air minimal serta maksimal, diameter (m)
- d. PIPE (data pipa), yaitu nomor pipa, titik simpul awal dan akhirm panjang (m), diameter(m), dan koefisien kekasaran.
- e. PUMP (data pompa), yaitu nomor prnghubung pompa dan titik simpul di awal dan akhir, tinggi tekan (m), kemampuan debit (lt/dt),

- f. VALVES (katup), yaitu nomor identitas, titik simpul awal dan akhir katup, diameter katup (m), jenis katup, setting dan koefisien kekasaran.
- g. REPORT (output), yaitu nama file, pilihan (*file, full or no*), nomor garis pada halaman dalam hasil keluaran (*lines*), nomor titik simpul, nomor pipa, variable dan nilai tertentu (*value*)
- h. STATUS, nomor pipa pada kedua ujung dan setting
- i. CONTROLS, setting (close atau open) dan waktu pengoperasian
- j. PATTERNS, pola operasi nilai tertentu dan seterusnya.
- k. TIMES, variasi waktu dalam simulasi, units (satuan waktu)
- l. QUALITY, nomor titik pada kedua ujungnya, kualitas konsentrasi senyawa kimia.
- m. OPTIONS (ketetapan nilai untuk pola karakteristik dan ketentuan simulasi), option (pilihan untuk mengeset optimasi), nama file, nilai, atau angka tertentu
- n. DEMAND (besar debit yang harus dipenuhi), value (nilai tertentu), besar pembebanan (lt/dt).
- o. ROUGHNESS (angka koefisien kekasaran pipa), nomor pipa, nilai koefisien kekasaran pipa.
- p. END, berakhirnya file input.

2.8.6 Tahapan-tahapan dalam Penggunaan Program EPANET v2.0

Berikut ini tahapan dari penggunaan EPANET untuk mengerjakan model sebuah system distribusi air :

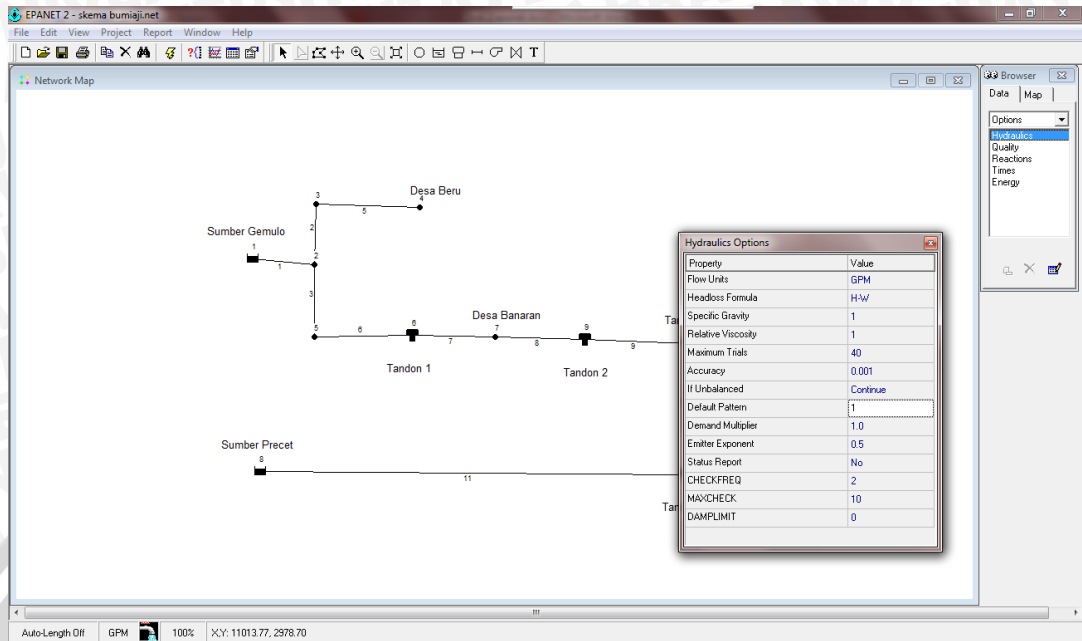
1. Menggambar jaringan system distribusi air atau memasukkan deskripsi dasar jaringan dengan menggunakan file text, seperti terlihat pada gambar berikut



Gambar 2. 12 Contoh Jaringan Sistem Distribusi Perpipaan

Sumber : EPANET User Manual

2. Mengedit spesifikasi dari objek-objek yang membentuk jaringan seperti pipa, katup dan lain sebagainya. Obyek utama yang harus ada dalam jaringan adalah *pipe*, *junction* dan *reservoir*. Sedangkan tank serta pump bisa ditambahkan sesuai keinginan. Spesifikasi (*properties*) yang harus dimasukkan dalam ketiga obyek diatas adalah koordinat X dan Y, *junction base demand*, *pipe length*, *pipe diameter*, *pipe roughness* dan *junction elevation*.
3. Mengatur bagaimana sistem bekerja, apakah menggunakan kurva, pola waktu atau kontrol-kontrol yang ada. Penggunaan pola waktu digunakan bila ingin membandingkan antara analisa statis dan dinamis.
4. Menentukan pilihan/option pengaturan analisa.



Gambar 2. 13 Pengaturan Pilihan Analisis Hidraulik

Sumber : EPANET User Manual

5. Menjalankan analisa hidrolis. Dilakukan dengan menekan icon *run*, apabila proses ini berjalan dengan benar maka tanda katup bukaan di bawah akan mengeluarkan air. Tanda tersebut juga menandakan bahwa logika pengisian spesifikasi seluruh obyek telah benar dan tidak terjadi tekanan negatif.
6. Menampilkan hasil analisa. Hasil analisa yang diinginkan bermacam-macam. Bisa berupa tampilan dinamis atau statis. Tampilan dinamis bisa dilihat pada peta yang nantinya akan berubah-ubah warna sesuai dengan skala warna yang telah ditentukan (dipojok kiri atas). Kotak *browser* harus berada pada pilihan *map* dan diposisi *play*. Tampilan statis ditampakkan dengan memilih menu *Report* dan akan tampak tampilan seperti *Network table-Links at 0 : 00 Hrs*.

2.9 Model Optimasi

Air merupakan Kebutuhan pokok bagi mahluk hidup. Berbanding lurus dengan perubahan keadaan sosial ekonomi masyarakat dan zaman, hal ini menyebabkan kebutuhan akan air juga semakin besar dan beragam jenisnya. Dengan bertambah besarnya kebutuhan akan air dan tuntutan ketersediaanya pada waktu dan tempat berbeda, maka dibutuhkanlah

suatu penjatahan air supaya maksud tersebut dapat dicapai. Sehingga perlu dibuat suatu model sehingga dapat dilakukan analisis optimasi.

Dalam hal yang dimaksud dengan model optimasi adalah penyusutan model suatu system yang sesuai dengan keadaan nyata dan kebutuhan, yang nantinya dapat dirubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen-elemen pokok dan parameter yang sesuai dengan sasaran dan tujuan pengambilan keputusan dapat tercapai.

2.9.1 Optimasi dengan Program Dinamik

Optimasi adalah suatu rancangan dalam pemecahan model-model perencanaan dengan mendasarkan pada fungsi matematika yang membatasi. Berikut adalah jenis-jenis optimasi berkendala :

1. *Langrange Multipliers (Pendarap Langrange)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan kendala linier.

2. *Linier Programming (Program Linier)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan linier.

3. *Quadratic Programming (Program Kuadratik)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan program matematis dengan fungsi linier dan fungsi tujuan non linier.

4. *Geometric Programming (Program Geometrik)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan geometri.

5. *Dynamic Programming (Program Dinamik)*

Adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses-proses keputusan bertahap ganda.

Analisa pada studi ini dipakai dengan program dinamik. Program Dinamik (*Dynamic Programming*) adalah suatu kumpulan teknik-teknik programisasi matematis yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang terdiri dari banyak tahap (*multistage*). Suatu masalah pengambilan keputusan yang *multistage* dipisah-pisahkan menjadi suatu seri masalah atau submasalah yang berurutan dan saling berhubungan. Program dinamik dikembangkan pertama kali oleh Richard E. Bellman pada tahun 1957 (Montarcih, 2007: 26)

Tujuan utama model ini adalah untuk mempermudah penyelesaian persoalan optimasi yang mempunyai karakteristik tertentu. Ide dasar program dinamik ini adalah membagi

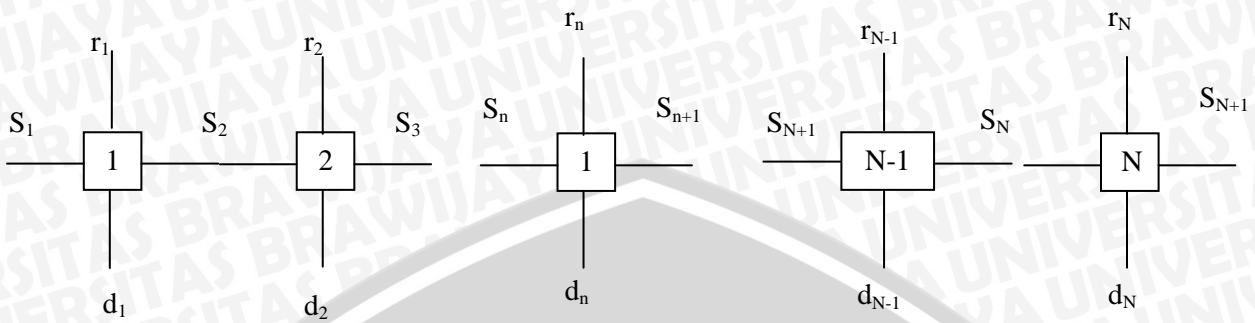
persoalan menjadi beberapa bagian yang lebih kecil sehingga memudahkan penyelesaiannya. Karena itu, persamaan yang digunakan harus dikembangkan agar dapat memenuhi masing-masing situasi yang dihadapi. Dengan demikian, maka antara persoalan yang satu dengan yang lainnyadapat mempunyai struktur penyelesaian persoalan yang berbeda (Montarcih, 2007: 26)

2.9.2 Konsep Dasar Program Dinamik

Program dinamik (*dynamic programming*) adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses-proses keputusan multi tahap. Program dinamik dibagi menjadi dua yaitu dinamik deterministik dan stokastik. Program stokastik menangani dimana sebagian atau semua parameter dari problem dinyatakan dalam bentuk variable acak dan distribusinya menggunakan distribusi probabilitas untuk ketetapan dalam tahap-tahap keputusan yang berurutan (Subagyo, 1984: 181). Sifat-sifat dasar yang menjadi karakteristik problem program dinamik diantaranya adalah problem yang dipecah menjadi tahap (*stages*) dengan variable keputusan (*decision*) pada setiap tahap. Situasi demikian kelihatannya memang merupakan realitas dimana-mana, termasuk juga didalam sistem keairan, dimana adalah sulit untuk menentukan nilai dari parameter-parameter secara eksak. Cara analisis sensitivitas memang dapat digunakan untuk mempelajari efek dari perubahan nilai dari parameter-parameter problem pada solusi optimal (Montarcih, 2009: 41). Analisa pada studi ini dipakai program dinamik karena beberapa alasan sebagai berikut:

1. pada persoalan dinamik tidak ada formulasi matematis yang standar sehingga persamaan-persamaan yang terpilih untuk digunakan disesuaikan dengan masing-masing situasi yang dihadapi
2. optimasi yang dilakukan adalah pada setiap tendon/*reservoir* dimana disetiap tendon memiliki kebutuhan air yg berbeda.

2.9.3 Elemen-elemen Program Dinamik



Gambar 2.14 Diagram urutan problem dinamik serial

Sumber : Montarcih, 2007: 49

Mengacu pada gambar 2. di atas, elemen-elemen model program dinamik adalah sebagai berikut (Montarcih, 2009:49)

1. Tahap /*Stage* (n)

Merupakan bagian dari problem dimana keputusan (*decision*) diambil. Jika suatu problem dapat dipecah menjadi N subproblem, maka ada N tahap dalam formulasi DP tersebut. Tahapan pada *multi stage problem* yang dimaksud dalam studi ini adalah tahapan tempat yaitu antara tandon/*reservoir* yang satu dengan yang lain.

2. Variabel Keputusan/*Decision Variable* (d_n)

Merupakan besaran dari keputusan (*decision*) yang diambil pada setiap tahap. Variable keputusan dalam studi ini adalah besarnya debit yang dialokasikan atau debit yang dibutuhkan tiap tandon/*reservoir* serta keuntungan bersih yang diperoleh. Debit yang dibutuhkan. Keputusan yang diambil pada setiap tahap akan ditransformasikan ke dalam keputusan berikutnya pada tahap berikutnya, sehingga didapat optimum secara keseluruhan.

3. Variabel Status/*State Variable* (S_n)

Merupakan variabel yang mewakili/menjelaskan status (*state*) dari sistem yang berhubungan dengan tahap ke n . Fungsi dari variabel status adalah untuk menghubungkan tahap-tahap secara berurutan sedemikian sehingga apabila setiap tahap dioptimasi secara terpisah, maka keputusan yang dihasilkan adalah layak (*feasible*) untuk seluruh problem. Lebih lanjut, keputusan-keputusan optimal dapat diambil untuk tahap tersisa tanpa harus melakukan cek pada akibat dari ke[utusan

berikutnya terhadap keputusan yang telah diambil terdahulu. Untuk tahap ke- n , variabel status dibelakangnya (S_n) disebut sebagai variabel status input, sedangkan variabel didepannya (S_{n+1}) disebut sebagai variabel output. Didalam studi ini, status variabel berupa debit yang ada atau tersedia terus menerus pada sumber air.

4. Akibat Tahap/*Stage Return* (r_n)

Merupakan ukuran skalar dari hasil keputusan yang diambil pada setiap tahap. Akibat tahap (*Stage Return*) ini merupakan fungsi dari variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (status output), dan d_n (keputusan), sehingga dapat dinyatakan sebagai fungsi berikut.

$$r_n = r(S_n, S_{n+1}, d_n) \quad (2-25)$$

Akibat tahap dalam studi ini merupakan keuntungan sebagai fungsi debit pada suatu kondisi debit tertentu.

5. Transformasi Tahap/*Stage Transformation* atau Transisi Status/*State Transition* (t_n)

Merupakan suatu transformasi nilai tunggal yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (status output), dan d_n (keputusan), yang dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$S_{n+1} = t_n(S_n, d_n) \quad (2-26)$$

Stage Transformation dalam studi ini adalah perubahan air tersedia sampai air yang terdistribusikan pada tiap bangunan air bersih.

2.9.4 Prosedur Perhitungan

Teknik perhitungan programisasi dinamik terutama didasarkan pada prinsip optimasi *recursive* (bersifat pengulangan) yang diketahui sebagai prinsip optimalisasi (*principle of optimality*). Prinsip ini mengandung arti bahwa bila dibuat keputusan *muti stage* mulai pada tahap tertentu, kebijakan optimal untuk tahap-tahap selanjutnya tergantung pada ketetapan tahap permulaan tanpa menghiraukan bagaimana diperoleh suatu ketetapan tertentu tersebut (Subagyo, 1984: 165)

2.10 Analisa Ekonomi

2.10.1 Umum

Pelaksanaan proyek-proyek pemerintahan secara esensi memiliki karakteristik maupun tujuan yang berbeda dengan proyek-proyek swasta. Kalau sebelumnya kita

mengetahui bahwa proyek-proyek swasta senantiasa diukur berdasarkan nilai keuntungan yang dijanjikan, maka pada proyek-proyek pemerintahan kriteria kelayakan tidak selamanya bisa atau harus diukur berdasarkan keuntungannya. (Kesuma, 2012: 15)

2.10.2 Komponen Biaya

Komponen biaya dalam kajian ini adalah dari dokumen anggaran pemerintah desa dan kecamatan yang telah dialokasikan untuk pembangunan, rehabilitasi, pemeliharaan dan peningkatan jaringan air bersih kecamatan Bumiaji.

2.10.3 Komponen Manfaat

Dalam kajian ini, yang dimaksud manfaat adalah seberapa besar nilai ekonomis hasil produksi yang didapat dibandingkan dengan anggaran yang telah dialokasikan pada suatu jaringan air bersih.

2.10.4 Tingkat Bunga untuk Proyek-Proyek Pemerintah

Adapun beberapa cara yang bisa dipakai untuk menentukan tingkat bunga yang berlaku pada suatu proyek pemerintahan, antara lain :

1. Berpatokan pada tingkat bunga dari dana pinjaman proyek.
2. Didasarkan pada ongkos kesempatan dari dana yang dipakai dari sudut pandang pemerintahan.
3. Didasarkan ongkos kesempatan dana tersebut bisa dilihat dari sudut pandang pembayaran pajak.

2.10.5 Analisa Investasi

a. Perhitungan *Benefit Cost Ratio* dan *Internal Rate Return*

Proyek dikatakan layak untuk dibangun jika nilai B/C dari proyek tersebut lebih dari satu. Hal ini menunjukkan nilai benefit proyek. Sehingga dapat dikatakan proyek tersebut tidak mengalami kerugian bila dikerjakan.

IRR adalah tingkat bunga yang dapat membuat besarnya nilai nilai sekarang positif bersih sama dengan nol atau suku bunga saat B/C sama dengan satu atau $B = C$

x IRR menunjukkan kemampuan suatu proyek untuk menghasilkan pengembalian atau tingkat keuntungan yang dapat dicapai proyek tersebut.

Langkah yang perlu dilakukan untuk menganalisa IRR adalah :

1. Menanalisa perhitungan manfaat yang meliputi semua aspek yang sudah ditentukan diatas, dengan memperhitungkan nilai uang dalam waktu antara lain (Sunaryo dan Sjarief, 2001):

- Future Value Factor (FVF)

Adalah faktor pengali (majemuk) untuk menghitung nilai mendatang (F) dan jumlah sekarang (P) pada akhir periode ke-n pada tingkat bunga ke-i, yaitu $(1+i)^n$

$$F = P(1+i)^n \quad (2-27)$$

dimana :

F = nilai pada periode ke-n dengan suku bunga ke-i

P = nilai pada saat sekarang

i = tingkat suku bunga

n = periode

- Present Value Factor (PVF)

Adalah faktor pengali (diskonto) untuk menghitung nilai sekarang (P) dari suatu nilai yang akan datang (F) pada akhir periode ke-n pada tingkat bunga i, yaitu $1/\{(1+i)^n\}$

$$P = F/\{(1+i)^n\} \quad (2-28)$$

dimana :

F = nilai pada periode ke-n dengan suku bunga ke-i

P = nilai pada saat sekarang

i = tingkat suku bunga

n = periode

2. Setelah semua komponen biaya dan manfaat diperoleh, kemudian dibuat aliran khas sesuai dengan usia bunga yang diperhitungkan terhadap proyek yang direncanakan. Dari aliran khas dapat dihitung *net benefit* untuk tiap tahun sampai dengan umur ekonomis proyek kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan IRR.

3. Perhitungan IRR dapat dilakukan dengan cara coba-coba atau dapat juga dihitung dengan program computer. Untuk perhitungan coba-coba, mula-mula dipakai tingkat suku bunga yang mendekati harga IRR.

b. Analisa Sensitivitas

Tujuan dari analisa sensitivitas ini adalah untuk melihat apa yang terjadi dengan hasil proyek jika ada kemungkinan perubahan dalam dasar-dasar asumsi dari perhitungan biaya dan manfaat.

Beberapa keadaan yang biasanya dilakukan dalam analisa sensitivitas proyek pengairan adalah sebagai berikut (Sunaryo dan Sjarief, 2001)

- Terjadi 10% penurunan pada nilai benefit yang diperkirakan
- Terjadi 10% kenaikan pada biaya proyek yang diperkirakan

c. Analisa Finansial

Keuntungan proyek dibagi menjadi 2(dua) macam, yaitu :

1. Keuntungan Langsung (*Direct Benefit*)

Merupakan keuntungan ;angsung dan nampak jelas dari hasil adanya suatu proyek.

2. Keuntungan tidak Langsung (*Indirect Benefit*)

Keuntungan ini biasanya dirasakan oleh orang diluar proyek dan tidak dapat diukur dengan uang (*Ingtangible Bnenefit*), yaitu keuntungan yang secara tidak langsung dapat dinikmati oleh masyarakat tetapi sulit dinilai dalam bentuk uang.