

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Proyeksi Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk merupakan perhitungan untuk memperkirakan jumlah penduduk yang akan datang. Perhitungan proyeksi jumlah penduduk menjadi dasar untuk perhitungan tingkat kebutuhan air bersih pada suatu wilayah dalam jangka waktu perencanaan. Beberapa faktor yang mempengaruhi proyeksi penduduk yaitu:

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

Selanjutnya hasil analisa ini dipergunakan sebagai dasar perhitungan perencanaan pengembangan distribusi air bersih. Proyeksi jumlah penduduk akan dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu:

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

2.1.1 Metode Eksponensial

Proyeksi jumlah penduduk dengan menggunakan metode eksponensial dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Muliakusumah, 2000, p.115):

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

dengan:

- P_n = jumlah penduduk pada akhir taun ke-n (jiwa)
 P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)
 e = bilangan logaritma natural (2,7182818)
 r = angka pertambahan penduduk (%)
 n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

2.1.2 Metode Geometrik

Metode geometrik untuk menghitung proyeksi jumlah penduduk dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Muliakusumah, 2000, p.115):

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

dengan:

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

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk (%)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

2.1.3 Metode Aritmatik

Menghitung proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode aritmatik dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Muliakusumah, 2000, p.115):

$$P_n = P_0(1 + rn) \quad (2-3)$$

dengan:

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

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk (%)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

2.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

2.2.1 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan nilai atau standar yang menunjukkan besar jarak sebaran data terhadap nilai rata-rata. Apabila nilai standar deviasi semakin besar, maka data menjadi kurang akurat. Rumus untuk menghitung nilai standar deviasi adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995, p.75) :

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

dengan :

S = Standar deviasi

X_i = nilai variant (proyeksi penduduk)

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

n = jumlah data

2.2.2. Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi adalah angka yang menunjukkan keeratan hubungan korelasi di antara variabel yang akan diperiksa. Nilai koefisien korelasi dapat bervariasi dari -1 melalui nol hingga mendekati 1. Apabila nilai korelasi ($r= 1$) maka korelasi antara dua variabel memiliki hubungan yang searah. Dan sebaliknya apabila nilai korelasi ($r= -1$) maka korelasi antara dua variabel tersebut memiliki hubungan yang berlawanan. Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai koefisien korelasi (Dajan, 1972, p.350):

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right)}} \quad (2-5)$$

dengan:

r = koefisien korelasi

X = tahun proyeksi

Y = jumlah penduduk hasil proyeksi

2.3 Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih merupakan jumlah air yang diperlukan secara wajar untuk kebutuhan utama manusia (domestik) dan kegiatan-kegiatan yang membutuhkan air lainnya (non domestik). Kebutuhan air bersih memegang peranan penting dalam masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

Kebutuhan air pada setiap masyarakat sangat beragam, mulai dari kebutuhan domestik, kebutuhan industri dan kebutuhan domestik. Kebutuhan pemakaian air oleh masyarakat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti tingkat hidup, pendidikan, tingkat ekonomi dan kondisi sosial. Jadi, dalam suatu sistem perencanaan air, kemungkinan kebutuhan penggunaan air dan variasinya haruslah diperhitungkan sebaik mungkin (Linsley, 1996, p.91).

Kebutuhan air bersih dibagi atas 2 macam, yaitu:

1. Kebutuhan Domestik
2. Kebutuhan Non Domestik

2.3.1 Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik adalah kebutuhan air yang diperuntukkan untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum. Besar kebutuhan air yang diperlukan dihitung dari rata-rata kebutuhan air per satuan orang perhari. Kebutuhan air bersih perorang berbeda dilihat dari kategori kota dan jumlah penduduk dalam suatu daerah perencanaan.

Kebutuhan air untuk keperluan domestik digunakan di tempat-tempat hunian pribadi, rumah-rumah apartemen, dan sebagainya untuk minum, mandi, penyiraman tanaman, saniter dan untuk tujuan lain. Kebutuhan air domestik berbeda-beda dari satu kota ke kota yang lain, dipengaruhi oleh (Linsley, 1996):

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 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.

Tabel.2.1 Kebutuhan Air Berdasarkan Kota dan Jumlah Penduduk

Kategori kota	Keterangan	Jumlah Penduduk	Kebutuhan air
			(ltr/org/hr)
I	Kota Metropolitan	>1.000.000	190
II	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	170
III	Kota Sedang	100.000 - 500.000	150
IV	Kota Kecil	20.000 - 100.000	130
V	Desa	10.000 - 20.000	100
VI	Desa Kecil	3.000 - 10.000	60

Sumber: DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1994.

2.3.2 Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik adalah kebutuhan air bersih yang diperuntukkan selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, misalnya penyediaan air bersih untuk perdagangan, perkantoran, dan sarana sosial seperti tempat ibadah, sekolah, hotel, industri dan jasa umum lainnya. Adapun besarnya kebutuhan non domestik berdasarkan Permen PU Tentang Penyelenggaraan Pengembangan SPAM adalah sebesar 15% dari kebutuhan domestik:

Tabel 2.2. Kebutuhan Air non Domestik Kota Kategori I, II, III dan IV

No	Sektor	Kebutuhan Air
1	Sekolah	10 L/orang/hari
2	Rumah Sakit	200 L/tempat tidur/hari
3	Puskesmas	2000 L /hari
4	Masjid	3000 L/hari
5	Kantor	10 L/orang/hari
6	Pasar	12000 L/hektar/hari
7	Hotel	150 L/tempat tidur/hari
8	Rumah Makan	100 L/tempat duduk/hari
9	Kompleks Militer	60 L/orang/hari
10	Kawasan Industri	0,2-0,8 L/detik/hari
11	Kawasan Pariwisata	0,1-0,3 L/detik/hari

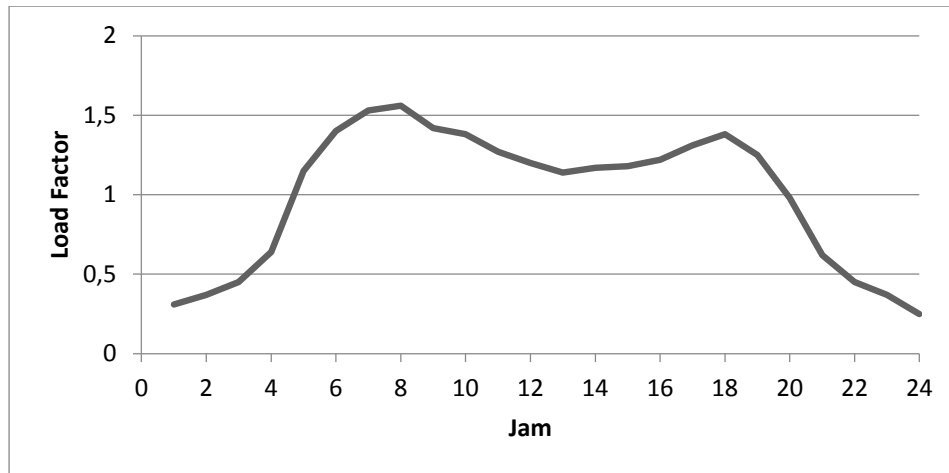
Sumber: Ditjen Cipta Karya PU, 1994.

2.4 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Besarnya penggunaan air oleh masyarakat pada sistem jaringan distribusi air bersih tidak berlaku konstan tetapi terjadi pada saat masyarakat/pelanggan melakukan aktifitas penggunaan air pada pagi dan sore hari, dengan fluktuasi pemakaian air lebih banyak dibandingkan jam-jam lainnya. Dari seluruh aktivitas dan konsumsi penggunaan air bersih selama satu hari (24 jam) dapat diketahui konsumsi rata-rata dan koefisien jam puncak untuk hari yang dimaksud.

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

1. Kebutuhan air rata-rata, adalah jumlah kebutuhan air total (domesti dan non domestik) ditambah dengan kehilangan air.
2. Kebutuhan harian maksimum, adalah kebutuhan air paling besar dari kebutuhan rata-rata harian dalam satu minggu.
3. Kebutuhan air pada jam puncak, adalah pemakaian air tertinggi pada jam-jam tertentu selama satu hari.



Gambar 2.1 Grafik Fluktuasi Pemakaian Air Harian

Sumber: DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih (1994)

Tabel 2.3. Faktor Pengali (*Load Factor*) Terhadap Kebutuhan Air Bersih

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
LF	0,31	0,37	0,45	0,64	1,15	1,4	1,53	1,56	1,42	1,38	1,27	1,2
Jam	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LF	1,14	1,17	1,18	1,22	1,31	1,38	1,25	0,98	0,62	0,45	0,37	0,25

Sumber: DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih (1994)

2.5 Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa

2.5.1 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran yang ada di dalam pipa tidak boleh terlalu kecil, hal ini dikarenakan agar endapan dalam pipa dapat terdorong, sehingga diameter pipa tidak akan berkurang karena adanya endapan tersebut. Namun kecepatan aliran juga tidak boleh terlalu tinggi, karena akan mengakibatkan korosi pada pipa dan menambah nilai *headloss* yang berakibat elevasi reservoirnya harus tinggi. Kecepatan aliran dalam pipa berbeda tergantung jenis pipa yang digunakan, juga disesuaikan dengan kondisi setempat mengenai kemiringan lahan maupun adanya penambahan tekanan dari adanya pemompaan. Rumus untuk menghitung kecepatan adalah sebagai berikut:

$$Q = AV \quad (2-6)$$

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

2.5.2 Hukum Bernoulli

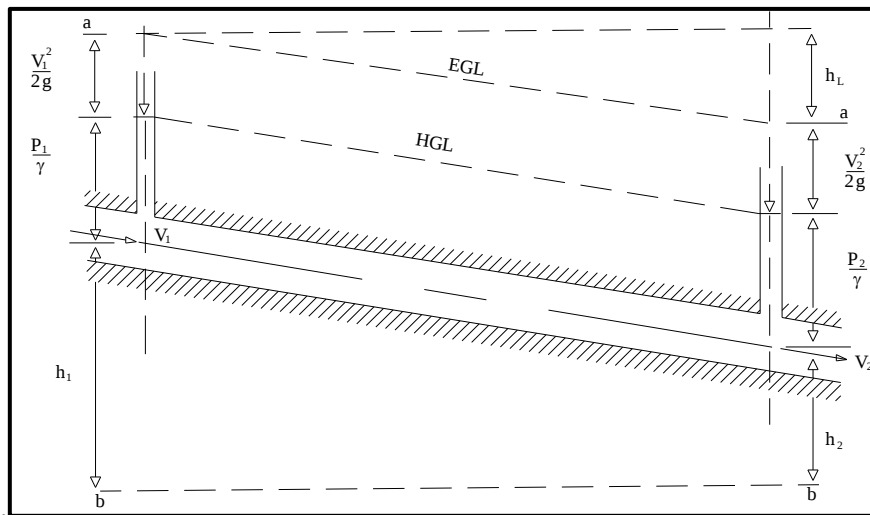
Air dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang lebih besar ke tempat yang memiliki energi yang lebih kecil. Hal inilah yang disebut hukum Bernoulli, bahwa tinggi energi

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

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

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

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: Priyantoro (1991, p.7)

Hukum persamaan Bernoulli dalam gambar diatas dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991, p.8):

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (2-9)$$

dengan:

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

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

$$p_1, p_2 = \text{tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m}^2\text{)}$$

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

$$V_1, V_2 = \text{kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det)}$$

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

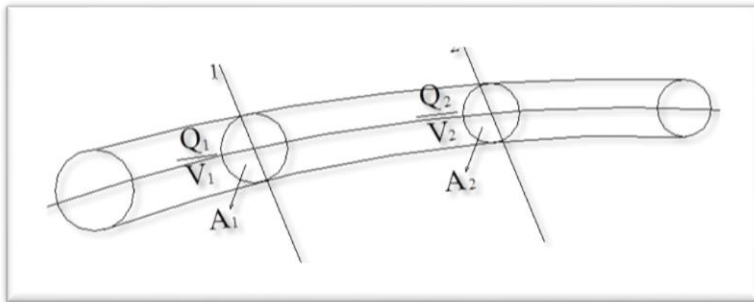
h_1, h_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

H_f = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

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

2.5.3 Hukum Kontinuitas

Air dalam pipa mengalir secara terus menerus yang mempunyai luas penampang dan kecepatan akan mempunyai debit yang sama pada setiap penampangnya. Dalam persamaan Hukum Kontinuitas disebutkan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar, hal ini ditunjukkan dengan gambar berikut:



Gambar 2.3. Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

Sumber: Triatmodjo (1996,p.137)

Hubungan antara Hukum Kontinuitas dengan ketiga bagan pada Gambar 2.3. dapat ditunjukkan dengan dua persamaan berikut (Priyantoro, 1991:8):

$$\begin{aligned} Q_{\text{masuk}} &= Q_{\text{keluar}} \\ A_1 \cdot V_1 &= A_2 \cdot V_2 \end{aligned} \quad (2-10)$$

dengan:

Q = debit yang mengalir (m^3/detik)

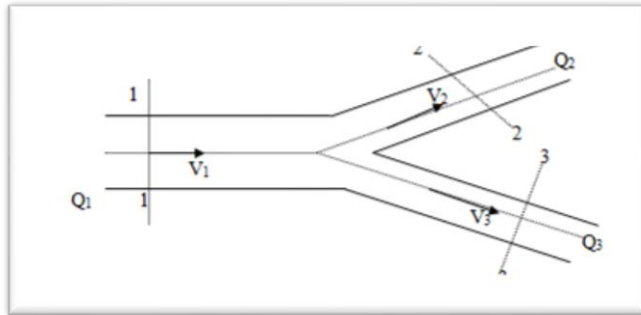
A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan (m/detik)

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

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 + Q_3 \\ A_1 \cdot V_1 &= A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3 \end{aligned} \quad (2-11)$$

Hukum Kontinuitas pada pipa bercabang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang

Sumber: Linsley (1996:276)

2.5.4 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

2.5.4.1 Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Air dalam pipa yang mengalir akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh penampang. Tegangan geser tersebut merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain juga pengaruh dari jenis pipa. Untuk menghitung besar kehilangan tinggi tekan mayor ini dapat digunakan beberapa teori seperti *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach*, *Manning*, *Chezy*, *Colebrook-White* dan *Swamme-Jain*.

Dalam kajian ini akan digunakan persamaan *Hazen-Williams*, karena metode ini sering digunakan oleh para teknisi dalam merencanakan sistem perpipaan. Selain itu penentuan nilai koefisien masing-masing jenis bahan pipa juga lebih mudah dalam bentuk grafik seperti pada metode yang lain sehingga kesalahan dalam penentuan nilai kekasaran dapat lebih diminimalisir. Adapun rumus persamaan *Hazen-Williams* adalah sebagai berikut (Priyantoro, 1991, p.21):

$$Q = 0.85 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-12)$$

$$V = 0.85 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-13)$$

dengan:

V = kecepatan aliran pada pipa (m/det)

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

A = luas penampang aliran (m^2)

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

S = kemiringan hidraulis

= h_f / L

R = jari-jari hidrolis (m)

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

R = D / 4

Untuk $Q = V / A$, didapat persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut *Hazen-Williams* sebesar (Joko,2010:28):

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

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

dengan:

h_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

D = diameter pipa (m)

k = koefisien karakteristik pipa

L = panjang pipa (m)

Q = debit aliran pada pipa (m³/det)

Chw = koefisien kekasaran Hazen-Williams

Tabel 2.4 Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Hazen-Williams

Jenis Pipa	Nilai Koefisien Hazen Williams
	(Chw)
PVC	140 - 150
Pipa Asbes	120 - 150
Pipa Berlapis	100 - 140
Semen	
Pipa Besi Galvani	100 - 120
Cast Iron	90 - 125

Sumber : DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih (1987)

2.5.4.2 Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan tinggi tekan minor disebabkan oleh adanya perubahan penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan-belokan , adanya katup dan berbagai jenis sambungan. Untuk jaringan pipa sederhana, maka kehilangan tinggi tekan minor tidak boleh diabaikan karena nilainya cukup berpengaruh. Namun pada pipa panjang atau $L/D \gg 1000$, maka kehilangan tinggi tekan minor dapat diabaikan (Priyantoro, 1991, p.37).

Berikut merupakan rumus untuk menghitung kehilangan tinggi tekan minor (Triatmojo, 2008, p.109) :

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

atau

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

dengan:

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

Besar nilai koefisien K sangat tergantung dari bentuk fisik pengecilan, pembesaran, belokan, dan katup. Namun nilai K ini masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan. Adapun nilai K dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.5. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan berdasarkan Perubahan Bentuk Pipa

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K	Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K
Inlet		Belokan 90°	
<i>Bell mounth</i>	0,03 – 0,05	R/D = 4	0,16-0,18
<i>Rounded</i>	0,12-0,25	R/D = 2	0,19-0,25
<i>Sharp Edged</i>	0,5	R/D = 1	0,35-0,40
<i>Projecting</i>	0,8	Belokan Tertentu	
Pengecilan Tiba-tiba		$\theta = 15^\circ$	0,05
$D_2/D_1 = 0,80$	0,18	$\theta = 30^\circ$	0,1
$D_2/D_1 = 0,50$	0,37	$\theta = 45^\circ$	0,2
$D_2/D_1 = 0,20$	0,49	$\theta = 60^\circ$	0,35
Pengecilan Mengerucut		$\theta = 90^\circ$	0,8
$D_2/D_1 = 0,80$	0,05	T (Tee)	
$D_2/D_1 = 0,50$	0,07	Aliran searah	0,03-0,04
$D_2/D_1 = 0,20$	0,08	Aliran bercabang	0,75-1,80

Lanjutan Tabel 2.5. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan berdasarkan Perubahan Bentuk Pipa

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K	Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K
Pembesaran Tiba-tiba		Persilangan	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,16	Aliran searah	0,5
$D_2/D_1 = 0,50$	0,57	Aliran bercabang	0,75
$D_2/D_1 = 0,20$	0,92		
Pembesaran Mengerucut		45° Wye	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,03	Aliran searah	0,3
$D_2/D_1 = 0,50$	0,08	Aliran bercabang	0,5
$D_2/D_1 = 0,20$	0,13		

Sumber:Haestad(2001)

2.6 Komponen Jaringan Distribusi Air Bersih

2.6.1 Pipa

Pipa merupakan komponen utama dari jaringan distribusi air bersih. Pipa berfungsi untuk saran mengalirkan air dan sumber ir ke tandon ataupun dari tandon ke konsumen. Pipa tersebut memiliki bentuk penampang lingkaran dengan diameter yang beragam.

2.6.1.1 Jenis Pipa

Pada jaringan distribusi air bersih pipa adalah komponen yang utama. Dalam pelayanan distribusi air bersih biasanya dipilih pipa bertekanan, karena lebih sedikit kemungkinan tercemar dan biaya yang lebih murah dibanding menggunakan saluran terbuka atau talang. Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri air dalam keadaan penuh, sedangkan pipa yang dialiri tidak penuh termasuk dalam saluran terbuka. Pipa yang biasanya dipakai untuk sistem jaringan distribusi air bersih umumnya terbuat dari bahan-bahan sebagai berikut:

1. Pipa *Cast Iron* (Besi Tuang)

Jenis pipa besi tuang telah dipakai selama lebih dari 200 tahun yang lalu. Untuk perlindungan terhadap karat pipa ini biasanya dicelupkan dalam larutan kimia. Pipa ini mempunyai panjang antara 4-6 meter dan mempunyai tekanan maksimum sebesar 25 kg/cm² serta umur pipa dapat mencapai 100 tahun (Linsley, 1996, p.297). Berikut merupakan keuntungan dan kerugian dari pipa *cast iron* yang akan disajikan pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Keuntungan dan Kerugian Pipa Besi Tuang

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

Sumber: Linsley (1996, p.297)

2. Pipa Plastik (PVC)

Pipa plastik atau yang dikenal sebagai pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) umumnya mempunyai panjang 4-6 meter dengan diameter mulai dari 16 mm sampai 350 mm. Umur pipa ini bisa mencapai 75 tahun (Linsley, 1996, p.301). Berikut merupakan keuntungan dan kerugian dari pipa PVC yang akan disajikan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Keuntungan dan Kerugian Pipa PVC

Keuntungan	Kerugian
Harga murah dan banyak tersedia di pasaran	Mempunyai koefisien pemuaian yang besar, sehingga tidak tahan panas
Ringan dan mudah diangkut	Mudah bocor dan pecah
Tahan karat	

Sumber: Linsley (1996, p.301)

3. Pipa Besi Galvanis (*Galvanized Iron*)

Pipa besi galvanis merupakan pipa yang terbuat dari pipa baja yang dilapisi seng. Pelapisan ini adalah cara pengendalian korosi yang efektif. Umur pipa ini hanya 7-10 tahun. Pipa ini umumnya digunakan untuk jaringan pelayanan sistem distribusi yang kecil (Linsley, 1996, p.297). Berikut merupakan keuntungan dan kerugian dari pipa besi galvanis yang akan disajikan pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Keuntungan dan Kerugian Pipa Galvanis

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

Sumber: Linsley (1996, p.297)

4. Pipa Baja

Pipa ini sangat bervariasi di pasaran dan terbuat dari baja lunak yang mempunyai garis tengah sampai lebih dari 6 meter. Umur pipa baja yang cukup terlindungi paling sedikit 40 tahun (Linsley, 1996, p.296). Berikut merupakan keuntungan dan kerugian dari pipa baja yang akan disajikan pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Keuntungan dan Kerugian Pipa Baja

Keuntungan	Kerugian
Tersedia dalam berbagai ukuran panjang	Pipa tidak tahan karat
Mudah dipasang dan disambung	Pipa berat dan biayanya mahal
Mempunyai kekuatan lentur yang kuat dan dilapisi campuran	

Sumber: Linsley (1996, p.296)

5. Pipa HDPE (*High Density Polyethylene*)

Pipa HDPE merupakan pipa plastik yang terbuat dari polimer minyak bumi. Pipa HDPE mempunyai daya yang tahan lama karena adanya rekayasa teknologi yang canggih. Teknologi yang digunakan untuk memproduksi pipa ini dikenal sebagai *Process Intensification* (Intensifikasi Proses) atau biasa disingkat PI.

Pipa HDPE dapat disambungkan dengan pemanasan (*heat fusion*) yang bertujuan untuk membentuk sambungan yang kuat atau lebih kuat daripada sambungan itu sendiri dan tanpa kebocoran. Berikut merupakan keuntungan dan kerugian dari pipa HDPE yang akan disajikan pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Keuntungan dan Kerugian Pipa HDPE

Keuntungan	Kerugian
Tersedia dalam berbagai ukuran panjang	Diameter pipa maksimal 400 mm
Tahan hingga 50 tahun	Harga relatif lebih mahal dibanding pipa PVC
Tahan Karat	Pemasangan dan penyambungannya lebih sulit
Tingkat Kelenturan Tinggi	

Sumber : www.pipahdpe.org

2.6.1.2 Kriteria Jaringan Pipa Air Bersih

Dalam perencanaan jaringan harus memenuhi kriteria-kriteria agar pada saat pengoperasian dapat berjalan sesuai dengan standar yang ada. Berikut merupakan kriteria jaringan pipayang akan disajikan pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Kriteria Jaringan Pipa

Perubahan	1. Kecepatan 0,1-2,5 m/detik
	- Kecepatan kurang dari 0,1 m/detik
	a. Diameter pipa diperkecil
	b. Ditambahkan pompa
	c. Elevasi hulu pipa hendaknya lebih tinggi (disesuaikan di lapangan)
	- Kecepatan lebih dari 2,5 m/detik
	a. Diameter pipa diperbesar
	b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir

Lanjutan Tabel 2.11 Kriteria Jaringan Pipa

Perubahan	2. <i>Headloss Gradient</i> 0 – 15 m/km
	- <i>Headloss Gradient</i> lebih dari 15 m/km
	a. Diameter pipa diperbesar
	b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir pipa
	3. Tekanan 0,5 atm - 20 atm
	- Tekanan kurang dari 0,5 atm
	a. Diameter pipa diperbesar
	b. Ditambahkan pompa
	c. Pemasangan pipa yang kedua di bagian atas, sebagian atau keseluruhan dari panjang pipa
	- Tekanan lebih dari 20 atm
	a. Diameter pipa diperkecil
	b. Ditambahkan bangunan bak pelepas tekan
	c. Pemasangan <i>Pressure Reducer Valve</i> (PRV)

Sumber: Permen PU Penyelenggaraan Pengembangan SPAM, 2007

Tabel 2.12. Diameter Pipa Distribusi

Cakupan Sistem	Pipa Distribusi Utama	Pipa Distribusi Pembawa	Pipa Distribusi Pembagi	Pipa Pelayanan
Sistem Kecamatan	≥ 100 mm	75-100 mm	75 mm	50 mm
Sistem Kota	≥ 150 mm	100-150 mm	75 mm	50-75 mm

Sumber: Permen PU Penyelenggaraan Pengembangan SPAM, 2007

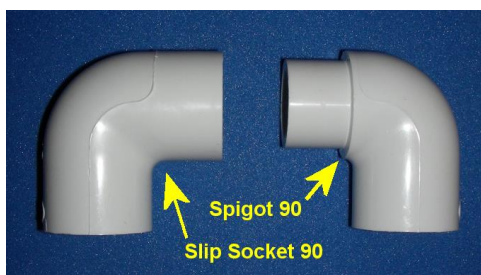
2.6.2 Sarana Penunjang

Pipa yang bisa digunakan dalam distribusi air bersih harus dilengkapi dengan alat bantu agar bisa berfungsi dengan baik, diantaranya adalah:

1. Sambungan antar pipa

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

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



Gambar 2.5. Socket dan Spigot

Sumber: www.flexpvc.com

- *Flange Joint*

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



Gambar 2.6. Flange Joint

Sumber: www.electrosteelcastings.com

- *Increaser dan Reducer*

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



Gambar 2.7. Increaser

Sumber: www.jasasipil.com



Gambar 2.8. Reducer

Sumber: www.jasasipil.com

- Perlengkapan “T”

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



Gambar 2.9. Sambungan T
Sumber: www.jasasipil.com

- Perlengkapan “Y”

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



Gambar 2.10. Sambungan Y
Sumber: www.jasasipil.com

- Belokan (*bend/elbow*)

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



Gambar 2.11. Belokan 45°
Sumber: www.jasasipil.com

2. Katup (valve)

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

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



Gambar 2.12. Katup Penurun Tekanan

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

Digunakan untuk menanggulangi penurunan secara drastis pada tekanan di hulu dari nilai yang telah ditetapkan. Jika tekanan di hulu lebih rendah dari batas minimumnya, maka katup akan menutup.



Gambar 2.13. Katup Penstabil Tekanan

- GPV (*General Purpose Valve*) atau katup biasa.

Katup biasa (GPV) dapat digunakan untuk menyatakan sebuah ikatan jika hubungan antara aliran dan kehilangan tinggi dapat disediakan oleh penggunaan, sebagai pengganti dari salah satu rumus standar hidrolika.



Gambar 2.14. Katup Biasa
Sumber: www.snap-tite.com

- Katup Penguras (BO)

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



Gambar 2.15. Katup Penguras

- Air Relief Valve/BR (Katup Udara)

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



Gambar 2.16. Katup Udara
Sumber: www.woofini.com

3. Meter Air

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



Gambar 2.17. Meter Air
Sumber: www.barindo.com

2.6.3 Tandon

Tandon merupakan tempat penampungan dan menyimpan air baku dari sumber air untuk digunakan pada kondisi tertentu. Adapun fungsi tandon diantaranya sebagai berikut:

- Menampung kelebihan air
- Menyuplai air pada saat pemakaian jam puncak pada daerah pelayanan
- Menambah tekanan pada jaringan pipa
- Tempat pengendapan kotoran
- Tempat pembubuhan desinfektan

Volume jumlah dan lokasi tandon air disesuaikan dengan rencana daerah layanan sehingga pemenuhan kebutuhan air baku dapat dipenuhi sepanjang waktu dan terdistribusi ke seluruh rencana daerah layanan. Sumber air untuk tandon dapat berasal dari jaringan pipa air baku yang diambil dari sumber air ataupun dari suplai melalui jalan darat.

Untuk perencanaan tandon air atau *hydrant* umum persyaratan yang harus dipenuhi antara lain: mudah dijangkau, letaknya dipinggir/dekat dari jalan, distribusi merata untuk daerah layanan, bebas dari gangguan dan lain-lain.

Elevasi muka air tandon tekanannya lebih dari nol, karena elevasi muka air tandon dihitung dari jarak vertikal dari dasar tandon ke muka air bebas. Besar kapasitas tandon tergantung pada variasi kebutuhan air minimum, maksimum, kapasitas konstan

pemompaan dan faktor guna dari tandon tersebut. Perencanaan volume tandon ditentukan dengan memperhitungkan debit jam puncak dan asumsi lama jam puncak.

Untuk keamanan tandon diberikan volume untuk ruang udara dalam tandon yang diambil sebesar 10% dari volume tandon. Volume tandon ini lalu ditambah dengan volume udara, sehingga menjadi volume total rencana pembuatan tandon. Dengan demikian diperoleh dimensi tandon dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = T \cdot L \cdot P$$

dengan:

V = volume tandon (m^3)

T = tinggi tandon (m)

L = lebar tandon (m)

P = panjang tandon (m)

Setiap tandon paling tidak memiliki komponen sebagai berikut:

a. Pipa *inlet* dan pipa *outlet*

Pipa inlet mempunyai fungsi untuk mengalirkan air masuk ke dalam tandon, sedangkan pipa outlet untuk mengalirkan air dari tandon ke pipa distribusi. Biasanya inlet dan outlet tandon terpisah, hal ini dilakukan untuk meningkatkan sirkulasi aliran di dalam tandon sehingga air yang keluar mempunyai kualitas yang terjamin.

b. Lubang inspeksi

Lubang inspeksi digunakan agar memudahkan perawatan dengan ukuran yang cukup agar petugas yang masuk ke dalam tandon tidak kesulitan.

c. Tangga menuju ke dalam bak

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

d. Pipa penguras

Pipa penguras digunakan untuk menguras tandon. Pada pipa penguras dibuat pengaman seperti pipa peluap.

e. Alat penunjuk level air

Alat ini digunakan untuk menunjukkan tinggi rendahnya permukaan air

f. Ventilasi udara

Ventilasi udara difungsikan sebagai sirkulasi udara saat air turun dan naik. Ventilasi udara juga harus dilengkapi dengan saringan serangga.

2.6.4 Titik Simpul (*Junction*)

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

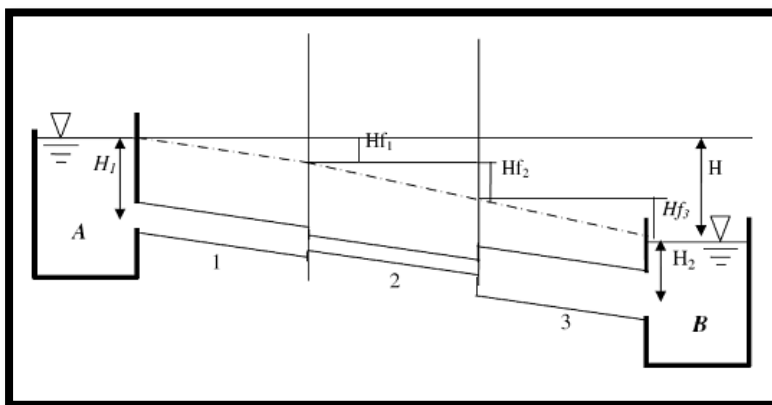
2.6.5 Penghubung (*link*)

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

2.7 Sistem Perpipaan

2.7.1 Pipa Hubungan Seri

Apabila dalam suatu saluran pipa terdiri dari pipa dengan ukuran yang berbeda-beda yang tersambung dengan diameter yang sama, maka pipa tersebut dalam hubungan seri, pemasangan pipa secara seri akibat adanya dari perbedaan ukuran akan menimbulkan beberapa kehilangan tinggi (Triatmodjo, 2008:73) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Pipa Hubungan Seri

Sumber: Triatmodjo (2008:74)

Persamaan Kontinuitas (Triatmodjo, 1996:74):

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

dengan:

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

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

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

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

dengan:

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

hf_1, hf_2 = Kehilangan pada tiap pipa (m)

2.7.2 Pipa Hubungan Paralel

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

Persamaan garis energi pada pipa paralel:

$$H = hf_1 = hf_2 = hf_3 \quad (2-21)$$

dengan:

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

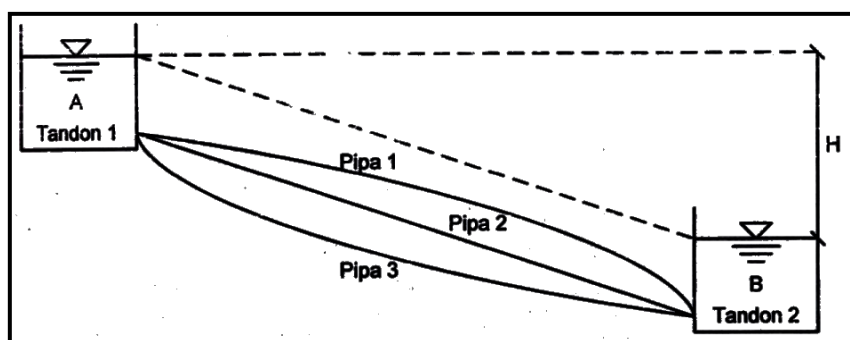
Sedangkan persamaan kontinuitasnya:

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

dengan:

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

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



Gambar 2.19. Pipa Hubungan Paralel

Sumber: Triatmodjo (2008, p.79)

2.8 Simulasi Aliran pada Sistem Jaringan Distribusi

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

2.8.1 Analisa pada Kondisi Permanen

Pada analisa untuk 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 kondisi

kritis pada harian maksimum, kebutuhan dan jam puncak dan pengisian tampungan sehingga memberikan suatu informasi dari kondisi jaringan pada waktu yang diberikan.

2.8.2 Analisa pada Kondisi Tidak Permanen

Untuk 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 yang berubah-ubah. Parameter yang digunakan dalam simulasi ini yaitu karakteristik tandon, kontrol operasi, pompa, durasi dan nilai tahap waktu, rasio dan faktor beban (*loading factor*). Beberapa kriteria dan asumsi yang digunakan antara lain simulasi yang berdasarkan 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 Metode Analisis Jaringan Pipa

Hasil keluaran yang utama pada analisa jaringan pipa ini adalah besar debit pada tiap pipa dan nilai tinggi tekan pada masing-masing titik simpul. Setiap jaringan pipa terdapat dua kondisi dasar yang harus dipenuhi (Webber, 1971,p122) yaitu:

1. Hukum kontinuitas

Hukum kontinuitas menyebutkan dalam tiap titik simpul aliran harus sama besar dengan aliran yang keluar. Hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum Q_i = 0$$

dengan:

Q_i = debit eksternal yang masuk/keluar dari titik simpul

2. Hukum konservasi energi

Adalah jumlah aljabar dari kehilangan energi dalam setiap jaringan pipa tertutup harus sama dengan nol. Pada dasarnya kekekalan energi tidak dapat hilang, atau bisa dikatakan bahwa jumlah energi selalu tetap. Hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum h_f = 0$$

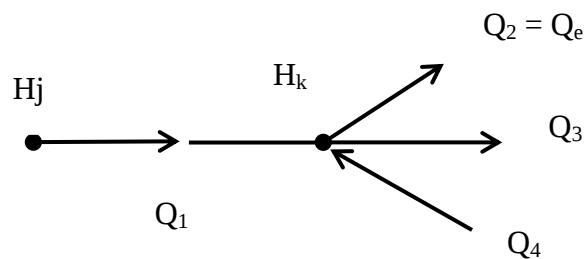
dengan:

h_f = kehilangan tinggi tekan

Karena analisa jaringan pipa cukup rumit dan perlu perhitungan yang besar serta membutuhkan waktu yang lama, sehingga bantuan *software* perangkat komputer untuk analisis ini akan sangat membantu. Untuk metode analisa pada jaringan pipa digunakan persamaan Hardy Cross.

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

2.9.1 Metode Titik Simpul (*Node Method*)



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

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

Gambar 2.20 Skema Jaringan Sederhana

Sumber : Webber (1971:126)

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

1. Asumsi tinggi tekan h_a pada setiap titik pertemuan yang tekanannya belum diketahui.
2. Memilih salah satu dari titik-titik pertemuan ini dan menghitung nilai H_{fa} untuk masing-masing percabangan.
3. Hitung dan cocokkan debit Q_a dengan menggunakan rumus.
4. Apabila 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. Hitung nilai $(\frac{\sum h_{fa}}{Q_a})$ untuk setiap jaringan tertutup.
6. Menentukan koreksi $\Delta h = \frac{m \sum Q_a}{\sum (\frac{Q_a}{h_{fa}})}$
7. Untuk kehilangan tinggi tekan pada setiap titik pertemuan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$H = h_a + \Delta h$$

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

2.10 Penggunaan Software pada Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih merupakan suatu perencanaan yang cukup rumit. Penyebab utama rumitnya perencanaan ini adalah karena banyaknya proses *trial and error* yang dilakukan pada seluruh komponen dalam suatu sistem jaringan distribusi air bersih tersebut.

Pada saat ini penggunaan software dalam bidang perencanaan distribusi air bersih sudah cukup banyak dan sangat berkembang, sehingga mampu mengatasi masalah rumitnya perencanaan distribusi air bersih. Dengan software yang ada maka tidak perlu menghitung *trial and error* secara manual karena program tersebut yang akan menjalankannya.

Beberapa software yang dapat membantu dalam bidang sistem perencanaan distribusi air bersih antara lain adalah WaterCAD, WaterNet, Pipe Flow Expert, WaterGEMS dan Epanet. Dalam studi ini digunakan program Epanet v 2.0 karena program ini lebih mudah digunakan dan mampu memodelkan sistem jaringan distribusi air bersih dengan baik.

2.10.1 Deskripsi Epanet 2.0

Epanet (Environmental Protection agency Networks) merupakan satu perangkat lunak yang digunakan untuk permodelan jaringan pipa utamanya untuk sistem distribusi air dan kualitas air. EPANET dikembangkan oleh U.S. *Environmental Protection Agency's Water Supply and Water Resources Division (US EPA)* dan bekerja dengan menggunakan sistem Windows yang dapat menghasilkan simulasi tingkat lanjut dengan sistem periodik atas kualitas air dan sifat hidrolis pipa dalam jaringan pipa yang bertekanan. Sebuah jaringan atau sistem terdiri dari pipa, sambungan pipa (*node*/titik) pompa, katup, dan bak penyimpanan (*reservoir*). Hasil yang diidentifikasi dari program EPANET adalah aliran atau debit pada tiap pipa, ketinggian air pada tandon, tekanan pada titik simpul pipa dan perubahan konsentrasi senyawa kimia yang ditambahkan pada jaringan dalam sebuah sistem distribusi selama periode simulasi.

Berikut adalah beberapa kemampuan EPANET untuk menyediakan sistem analisis hidrolika, antara lain (Rossman, 2000, p.I-2):

1. Kemampuan analisa yang tidak terbatas pada penempatan jaringan

2. Perhitungan harga kekasaran pipa menggunakan persamaan Hazen-Williams, Darcy Weisbach, atau Chezy-Manning.
3. Menghitung kehilangan tinggi energi akibat belokan, sambungan dan sebagainya.
4. Memodelkan kecepatan konstan atau variasi aliran untuk pompa.
5. Menghitung energi pompa dan biaya operasinya.
6. Memodelkan berbagai variasi tipe katup termasuk katup penutup, katup cek, katup pengatur tekanan dan katup penutup aliran.
7. Merancang ukuran tangki dan bak penyimpanan.
8. Menentukan macam-macam kategori kebutuhan pada tipe titik yang memiliki variasi pola waktu tersendiri.
9. Memodelkan tekanan aliran bebas seperti pada sprinkler.
10. Melakukan sistem yang operasinya berbasis pada tingkatan sederhana atau dengan mengatur waktu pada sistem kontrol operasi yang kompleks.

2.10.2 Struktur Umum Program Epanet 2.0

Operasional paket program Epanet dikendalikan dari menu program kontrol utama. Menu utama yang saling terkait dari program kontrol ini adalah : *file, edit, view, project, report dan windows*. Struktur menu dari masing-masing program utama pada program ini sangat interaktif.

2.10.3 Parameter Permodelan dengan Program Epanet 2.0

Parameter permodelan dimasukkan kedalam program Epanet secara interaktif menggunakan kata kunci yang berupa masukan data atau modifikasi data.

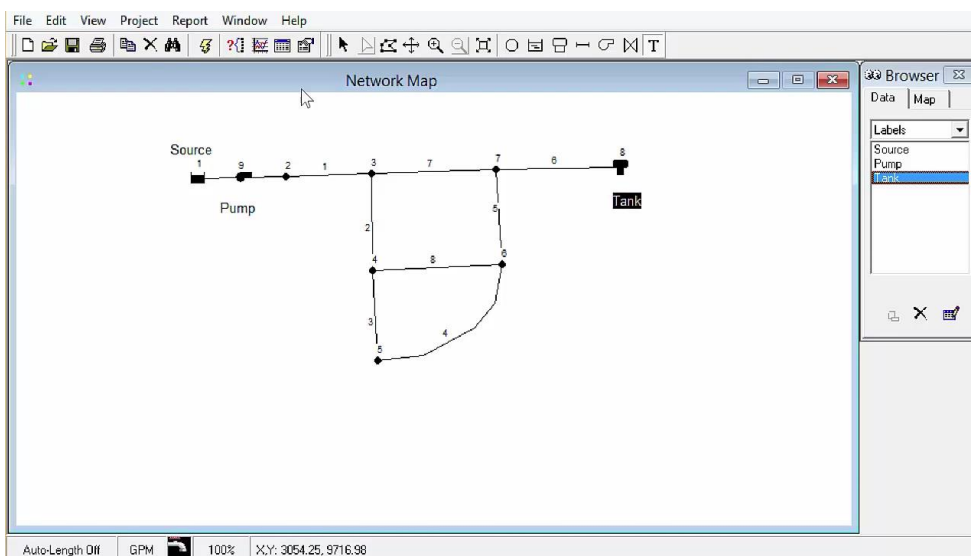
- a. TITLE (nama proyek), dicetak pada awal setiap keluaran maksimal 80 karakter.
- b. JUNCTION (titik simpul), adalah nomer titik simpul, elevasi dan debit kebutuhan.
- c. TANK (data tandon), adalah kata kunci untuk suatu titik simpul dengan tinggi tekan yang dapat berubah, yaitu nomor identitas, elevasi, tinggi air rata-rata, tinggi air minimal dan maksimal dan diameter.
- d. PIPE (data pipa), adalah nomor pipa, titik simpul awal dan akhir, panjang, diameter dan koefisien kekasaran.
- e. PUMP (data pompa), nomor penghubung pompa dan titik simpul awal dan akhir pompa, tinggi tekan dan kemampuan debit. Dapat juga diikuti dengan pola pengoperasian pompa, misalnya pompa akan bekerja bila ketinggian air tandon telah mencapai ketinggian tertentu.
- f. VALVES (katup), adalah nomor identitas, titik simpul awal dan akhir katup, diameter katup, jenis katup, setting dan koefisien kehilangan.

- g. REPORT (output), adalah nama file, pilihan (*yess, full or no*), lines (nomor garis pada halaman dalam hasil keluaran), nomor titik simpul, nomor pipa, variabel dan value (nilai tertentu).
- h. STATUS, adalah nomor pipa pada kedua ujung dan setting.
- i. CONTROLS, adalah nomor pipa, setting (*close* atau *open*) dan waktu pengoperasiannya.
- j. PATTERNS (pola operasi), adalah pola periodik nilai tertentu dan seterusnya.
- k. TIMES (variasi waktu dalam simulasi), adalah nilai tertentu dan units (satuan waktu).
- l. QUALITY (kualitas air dalam jaringan), adalah nomor titik pada kedua ujungnya dan kualitas (konsentrasi senyawa kimia)
- m. OPTIONS (ketetapan nilai untuk pola karakteristik dan ketentuan simulasi), option (pilihan untuk mengatur simulasi), nama file, nilai atau angka tertentu.
- n. DEMAND (besar debit yang harus dipenuhi), value (nilai tertentu) dan besar pembebanan.
- o. ROUGHNESS (angka koefisien kekasaran pipa), adalah nomor pipa dan nilai koefisien kekasaran.
- p. END, pertanda berakhirnya file input.

2.10.4 Tahapan-tahapan dalam Penggunaan Program Epanet 2.0

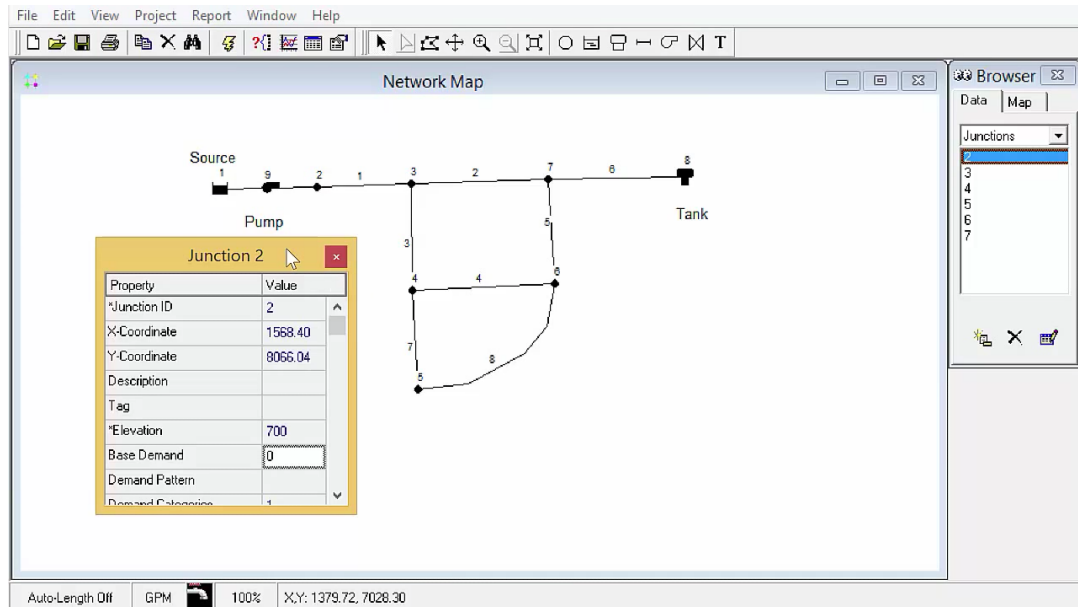
Tahapan-tahapan dari penggunaan Epanet untuk mengerjakan model sebuah sistem distribusi air adalah sebagai berikut:

1. Menggambarkan jaringan sistem distribusi air atau memasukkan deskripsi dasar jaringan dasar menggunakan file text



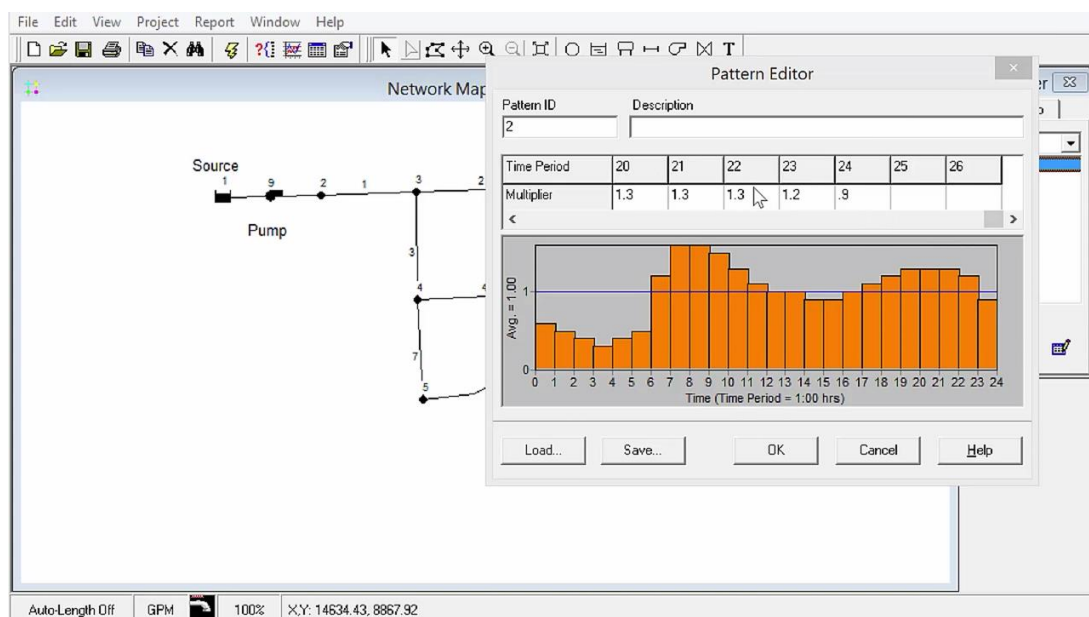
Gambar 2.21 Penggambaran Jaringan Distribusi

- Mengedit spesifikasi dari obyek-obyek yang membentuk jaringan seperti pipa, katup dan sebagainya. Objek utama yang harus ada dalam jaringan adalah *pipe*, *junction* dan *reservoir*. Spesifikasi yang harus dimasukkan dalam ketiga obyek diatas adalah koordinat X dan Y, *junction base demand*, *pipe lenght*, *pipe diameter*, *pipe roughness* dan *junction elevation*.



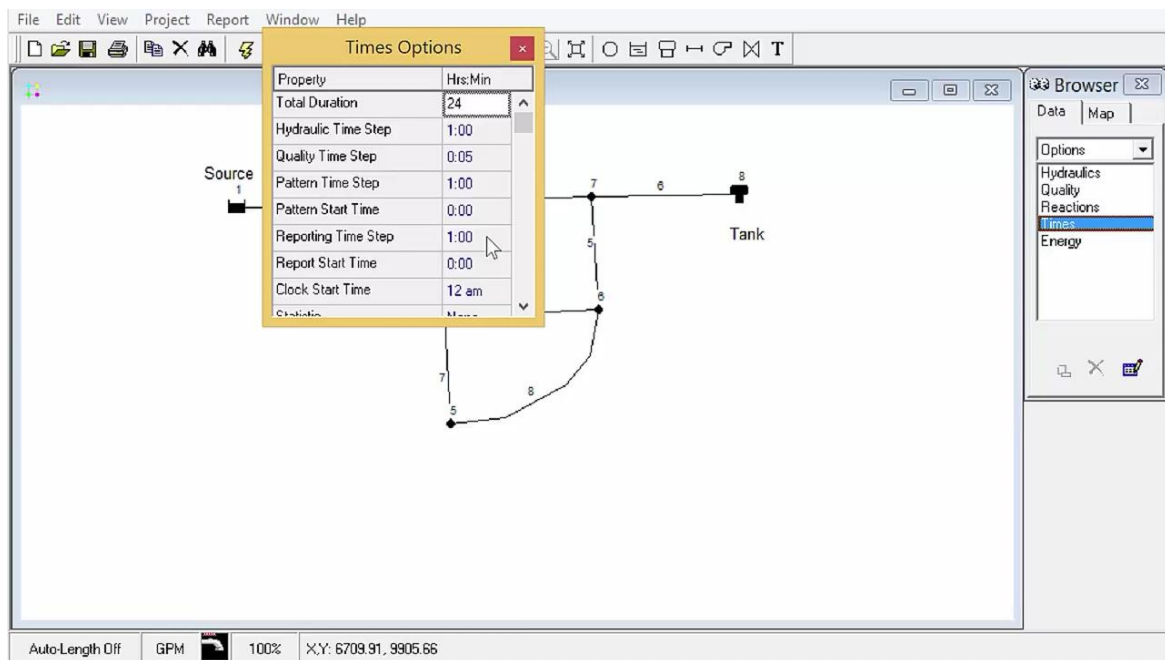
Gambar 2.22 Menambahkan Spesifikasi Obyek

- Mengatur sistem bekerja, apakah menggunakan kurva, pola waktu atau kontrol-kontrol yang ada. Penggunaan pola waktu dipakai pada saat membandingkan antara analisa statis dan dinamis.



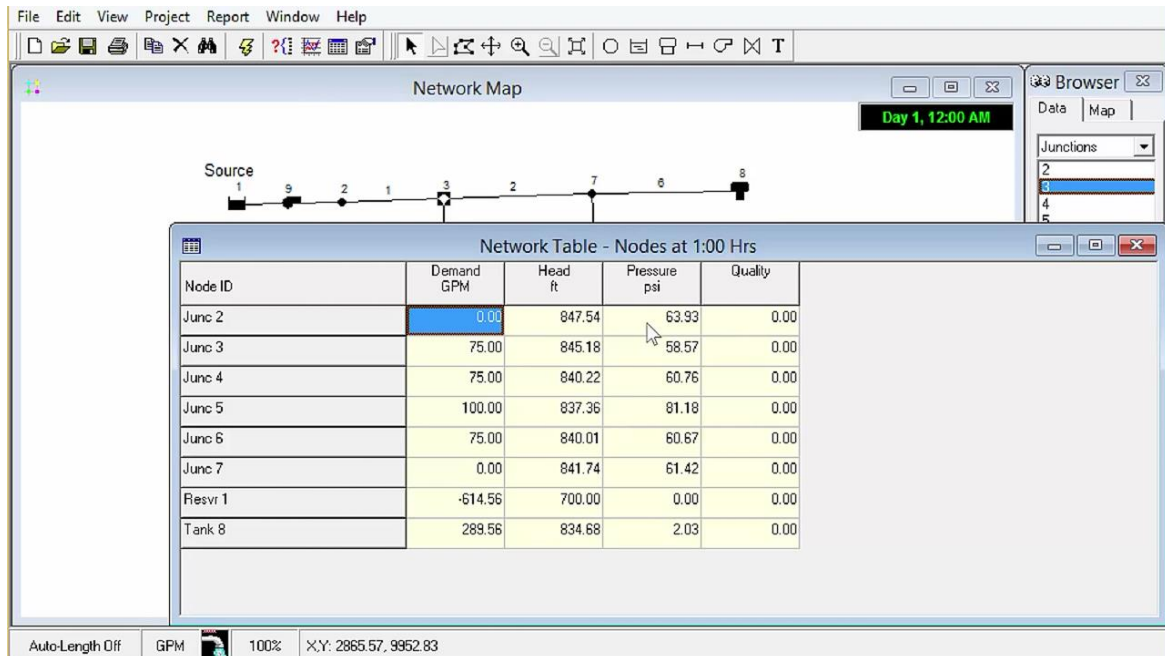
Gambar 2.23 Contoh Pengaturan Cara Kerja Sistem

4. Menentukan pilihan pengaturan analisa



Gambar 2.24 Contoh Pengaturan Analisa Waktu

- Menjalankan analisa dengan menekan ikon run  , apabila analisa berlangsung sukses maka tanda katup bukaan di bawah akan mengeluarkan air  . Ikon ini menunjukkan bahwa logika pengisian spesifikasi seluruh objek telah benar dan tidak terjadi tekanan negatif.
- Menampilkan hasil analisa. Hasil analisa yang diinginkan bisa berupa tampilan dinamis atau statis. Tampilan dinamis dapat dilihat padapeta yang akan berubah warna sesuai dengan skala warna yangtelah ditentukan. Kota browser harus berada pada pilihan mapdan diposisi *play*. Sedangkan tampilan statis ditampakkan dengan memilih menu *Report* dan akan tampak tampilan seperti *Network table – Links at 0:00 Hrs*.



Gambar 2.25 Contoh Tampilan Hasil Titik Simpul

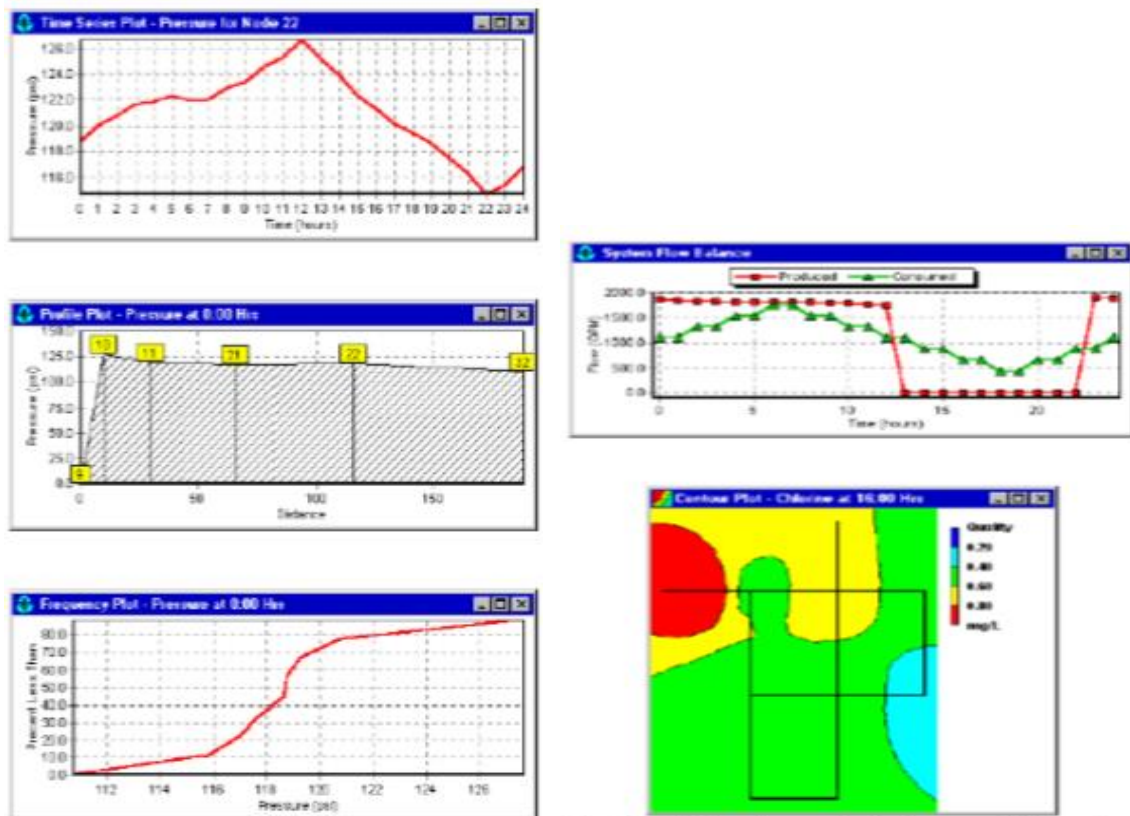
2.10.5 Menampilkan Hasil Epanet 2.0

Untuk menampilkan hasil dari simulasi dan nilai database pada map dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satunya melalui grafik. Berikut merupakan beberapa tipe grafik yang dapat digunakan untuk melihat nilai parameter yang terpilih:

Tabel 2.13 Tipe Grafik pada Epanet 2.0

Type Plot	Penjelasan	Digunakan untuk
Time Series Plot	Mem-plot nilai vs Waktu	Node atau link khusus pada semua periode waktu
Profile Plot	Mem-pot nilai vs Jarak	Daftar dari node pada waktu yang khusus
Contour Plot	Memperlihatkan area dari peta dengan interval nilai yang khusus	Semua node pada waktu yang khusus
Frequency Plot	Mem-plot nilai vs sedikit objek atau nilai dibawahnya	Semua node atau link pada waktu khusus
System Flow	Mem-plot keseluruhan sistem produksi dan konsumsi vs waktu	Kebutuhan air untuk semua node pada seluruh periode waktu

Sumber: Epanet 2 Users Manual

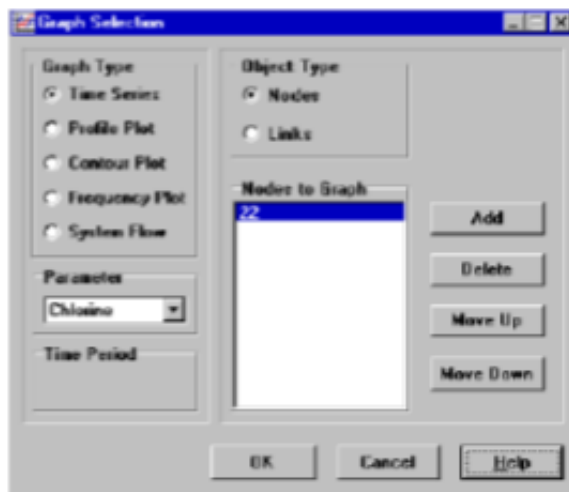


Gambar 2.26 Contoh Macam-macam Tipe Grafik

Sumber: Epanet 2 Users Manual

Untuk membuat grafik langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Pilih Report – Graph atau klik ikon  pada Standard Toolbar.
2. Isi pilihan pada kotak dialog Graph Selection yang muncul
3. Klik OK untuk membuat grafik



Gambar 2.27 Dialog Graph Selection

Sumber: Epanet 2 Users Manual

2.11 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya merupakan perkiraan suatu rencana biaya sebelum bangunan atau proyek dilaksanakan. Rancangan anggaran biaya (RAB) diperlukan untuk mengendalikan sumberdaya material, peralatan, tenaga kerja dan waktu pelaksanaan proyek sehingga proyek yang dilaksanakan mempunyai efisiensi dan efektivitas dalam segi ekonomi.

Pada pelaksanaanya rancangan anggaran biaya berdasarkan pada analisa komponen penyusunnya (material, peralatan dan upah) untuk setiap item pekerjaan yang terdapat pada suatu proyek. Dari hasil analisa tersebut akan didapatkan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) untuk setiap item pekerjaan, sehingga nantinya akan menentukan perkiraan biaya pelaksanaan proyek dengan mengkonversikannya kedalam total volume pekerjaan untuk tiap item pekerjaan.

2.11.1 Tahapan Persiapan Perhitungan RAB

Tahap persiapan perhitungan RAB perlu dilakukan agar nantinya akan mendapatkan angka yang tepat dan akurat. Berikut merupakan kegiatan yang harus dilakukan sebelum menghitung RAB:

- Meninjau ruang lingkup proyek
- Menentukan volume pekerjaan dan konstruksi proyek
- Menentukan harga material yang digunakan
- Menentukan upah tenaga kerja
- Menentukan peralatan kerja (sewa atau beli)
- Biaya tak terduga dan pembulatan.

2.11.2 Dasar Perhitungan

Perhitungan RAB didapatkan dari penjumlahan hasil kali volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan tiap item. Volume pekerjaan didapatkan dari membaca atau menghitung atas gambar desain. Biaya konstruksi terdiri dari harga material, upah tenaga kerja, dan peralatan yang akan digunakan. Secara umum prosedur perhitungan RAB disusun atas dasar harga lima unsur berikut:

1. Bahan dan material bangunan

Bahan dan material yang akan digunakan (volume, ukuran, berat, tipe, dll) diperhitungkan. Selain itu harga tiap jenis bahan tersebut sampai di lokasi pekerjaan (termasuk ongkos kirim), biaya pemeriksaan kualitas dan tempat penyimpanan material juga dihitung.

2. Upah tenaga kerja

Upah tenaga kerja biasanya dihitung berdasarkan perhari sebagai unit waktu, dan volume pekerjaan yang bisa diselesaikan dalam unit waktu tersebut. Besar upah tenaga kerja bisa tidak sama tergantung dengan ketrampilan dan pengalaman tiap tenaga kerja.

3. Peralatan

Peralatan yang akan digunakan dalam suatu proyek bisa dengan membeli atau menyewa. Biaya peralatan termasuk ongkos angkut, biaya bahan bakar, upah operator alat, dan sebagainya. Perlu diketahui juga kemampuan peralatan per satuan waktu.

4. Biaya tidak langsung

Biaya tidak langsung adalah biaya yang tak terduga yang bisa terjadi saat selama kegiatan proyek berlangsung. Biaya tidak langsung dibagi menjadi dua, yaitu biaya yang bersifat umum dan yang berkaitan dengan pekerjaan di lapangan. Biaya yang bersifat umum misalnya sewa kantor, peralatan kantor, listrik, telepon, asuransi tenaga kerja dan upah karyawan kantor yang terlibat kegiatan proyek. Sedangkan biaya tidak langsung yang berkaitan dengan pekerjaan di lapangan seperti biaya telepon di proyek, pengamanan, biaya perizinan dan sebagainya. Biasanya biaya tidak langsung ditetapkan sebesar 12% - 30% dari jumlah harga bahan, upah dan peralatan.

5. Pajak dan keuntungan

Besar pajak biasanya ditetapkan besarnya tergantung dari peraturan pemerintah setempat yang berlaku, umumnya berkisar antara 10% - 18%. Sedangkan keuntungan bergantung pada besar atau kecilnya proyek serta rasio dan tingkat kesulitan pekerjaan.