

**BAB II
LANDASAN TEORI**

2.1 Pertumbuhan Jumlah Penduduk

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

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

2.1.1 Metode Eksponensial

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

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

Dengan:

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

2.1.2 Metode Aritmatik

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

$$P_n = P_0(1 + m) \dots\dots\dots(2 - 2)$$

Dengan:

- P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)
- P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)
- r = angka pertambahan penduduk per tahun (%)
- n = jumlah tahun proyeksi (tahun)



2.1.3 Metode Geometrik

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

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

Dengan:

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

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk tiap tahun (%)

n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

2.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

2.2.1. Standar deviasi

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

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

dimana:

S = standar deviasi

X_i = nilai varian (penduduk proyeksi)

\bar{X} = nilai rata-rata

2.2.2. Koefisien korelasi

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

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

Dengan:

r = koefisien korelasi

X = jumlah penduduk data (jiwa)

Y = jumlah penduduk hasil proyeksi (jiwa)

2.3 Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih adalah jumlah air yang diperlukan secara wajar untuk keperluan pokok manusia (domestik) dan kegiatan-kegiatan lainnya yang memerlukan air (non domestik). Sebuah perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih harus berdasarkan pada standar yang ada dengan mempertimbangkan kondisi yang ada di sekitarnya seperti perkembangan daerah, kondisi daerah dan penduduknya. Dengan demikian dapat dilakukan perencanaan yang mendekati besarnya tingkat kebutuhan air bersih sehari-hari ditambah dengan faktor kehilangan air. Secara umum, kehilangan air atau kebocoran yang terjadi pada suatu system jaringan distribusi air bersih dapat dibedakan menjadi dua factor (DPUD Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1987:158) yaitu:

1. Kehilangan air akibat faktor teknis

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

2. Kehilangan air akibat faktor non teknis

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

2.3.1 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Besarnya pemakaian air oleh masyarakat pada sistem jaringan distribusi air bersih tidak berlangsung konstan tetapi terjadi fluktuasi antara satu jam dengan jam

yang lainnya, begitu pula dengan satu hari dengan hari lainnya. Fluktuasi yang terjadi tergantung pada suatu aktivitas penggunaan air dalam keseharian oleh masyarakat.

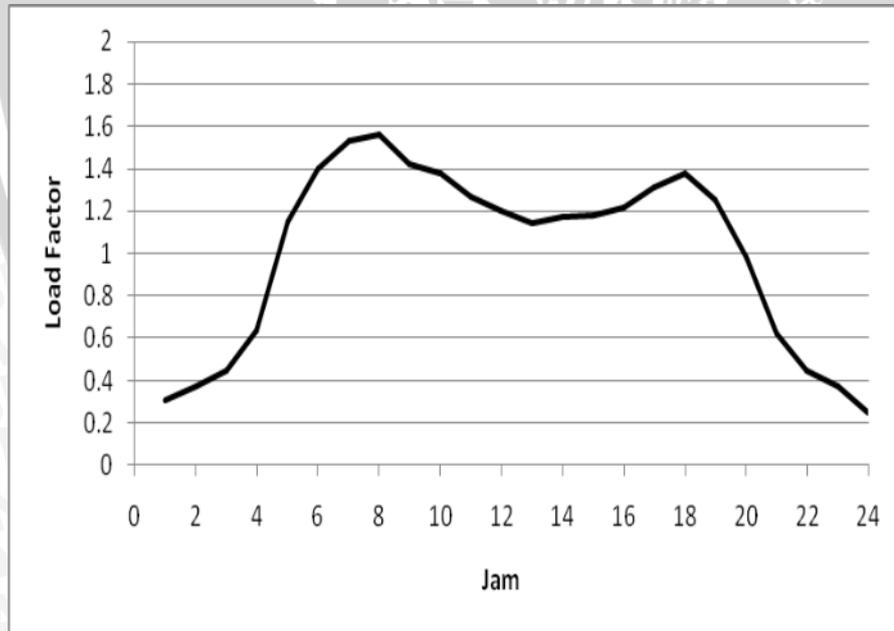
Adapun kriteria tingkat kebutuhan air pada masyarakat dapat digolongkan sebagai berikut:

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

Untuk perhitungan kebutuhan pada hari tertentu serta pada jam puncak, PDAM Kota Jember menggunakan pendekatan angka koefisien sebagai berikut (Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual Bagian: 6 (Volume IV, V & VI) Air Minum Perkotaan, 2002):

$$\text{- Kebutuhan harian maksimum} = 1,15 \times \text{kebutuhan air rata-rata} \quad (2-1)$$

$$\text{- Kebutuhan jam puncak} = 1,56 \times \text{kebutuhan air rata-rata} \quad (2-2)$$



Gambar 2. 1 Grafik Fluktuasi Load Factor Pemakaian Air Bersih Harian

Sumber: DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih

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

Tabel 2. 1 Faktor Pengali (Load Factor) Terhadap Kebutuhan Air Bersih

Jam	1	2	3	4	5	6
Load Factor	0.3	0.37	0.45	0.64	1.15	1.4
Jam	7	8	9	10	11	12
Load Factor	1.53	1.56	1.41	1.38	1.27	1.2
Jam	1	2	3	4	5	6
Load Factor	0.3	0.37	0.45	0.64	1.15	1.4
Jam	19	20	21	22	23	24
Load Factor	1.25	0.98	0.62	0.45	0.37	0.25

(Pedoman/Petunjuk Teknik dan Manual Bagian: 6 (Volume IV, V & VI) Air Minum Perkotaan, 2002)

2.3.2 Kebutuhan Domestik

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

Tabel 2. 2. Nilai Kebutuhan Air Bersih untuk Bangunan Tempat Tinggal

Kategori Kota	Keterangan	Jumlah Penduduk	Kebutuhan Air Bersih
			(l/org/hari)
Kategori I	Kota Metropolitan	> 1.000.000	190
Kategori II	Kota Besar	500.000 s.d 1.000.000	170
Kategori III	Kota Sedang	100.000 s.d 500.000	150
Kategori IV	Kota Kecil	20.000 s.d 100.000	130
Kategori V	Desa	10.000 s.d 20.000	100
Kategori VI	Desa Kecil	3.000 s.d 10.000	60

Sumber: DPUD Jendral Cipta Karya Direktorat Air Bersih

2.3.3 Kebutuhan Non Domestik

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

Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996, besar debit kebutuhan non domestik adalah sebesar 20% dari kebutuhan domestik.

2.3.4 Kehilangan Air

Kehilangan air merupakan kehilangan air pada pipa distribusi dan tidak termasuk dalam katagori pemakaian air, akan tetapi dalam perencanaan besarnya angka kehilangan air harus diperhitungkan. Menurut Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996, besar kehilangan air adalah sebesar 20% dari jumlah kebutuhan domesti dan kebutuhan non domestik. Faktor kehilangan air dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Kehilangan air akibat faktor teknis

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

2. Kehilangan air akibat faktor non teknis

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

2.3.5 Rencana Alokasi Air bersih

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

1. Kebutuhan air total didapatkan dengan menjumlahkan kebutuhan domestik, kebutuhan non domestik dan kehilangan air.
2. Kebutuhan hari maksimum, diperhitungkan sebesar $1,15 \times$ kebutuhan air total. Faktor perkalian tersebut diambil untuk mengimbangi kebocoran pipa.
3. Kebutuhan jam puncak, diperhitungkan sebesar $1,56 \times$ kebutuhan air total. Kebutuhan ini merupakan kebutuhan puncak di mana akan terjadi laju maksimum pada sistem distribusi air. Angka ini penting untuk menentukan ukuran pipa dan sistem distribusi yang akan direncanakan.

2.4 Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa

2.4.1 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran didalam pipa tidak boleh terlalu kecil sebab dapat menyebabkan endapan dalam pipa tidak terdorong, selain itu juga diameter pipa jadi berkurang karena adanya endapan itu, dan itu akan membebani biaya perawatan. Sebaliknya, jika kecepatan aliran terlalu tinggi, maka akan berakibat korosi pada pipa dan juga menambah nilai *headloss* yang berakibat elevasi reservoirnya harus tinggi. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus sebagai berikut:

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

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

Dimana :

Q : debit aliran (m³/det)

V : kecepatan aliran (m/det)

A : luas basah (m²)

D : diameter pipa (m)

2.4.2 Hukum Bernoulli

Air pada pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi yang lebih besar ke tempat yang memiliki energi yang lebih kecil. Hal tersebut dikenal dengan prinsip Bernoulli.

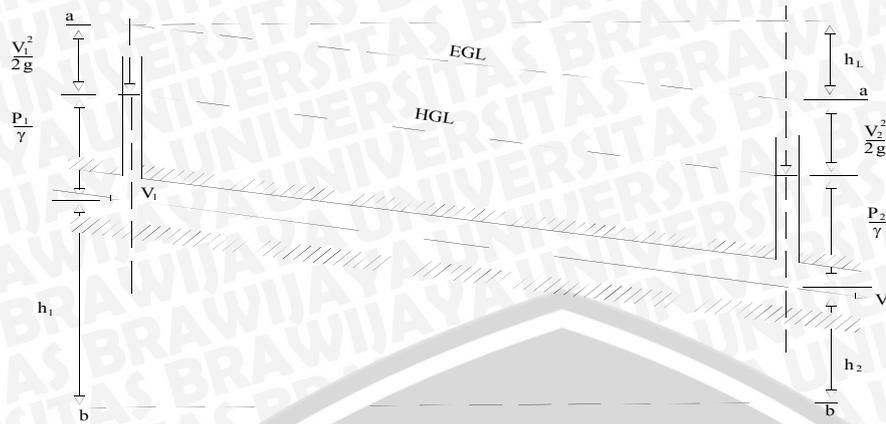
Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut:

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

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

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 (1991:7)

Hukum Kekekalan Bernoulli pada Gambar 2.2. dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991:8):

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

Dengan:

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

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

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

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

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

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

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

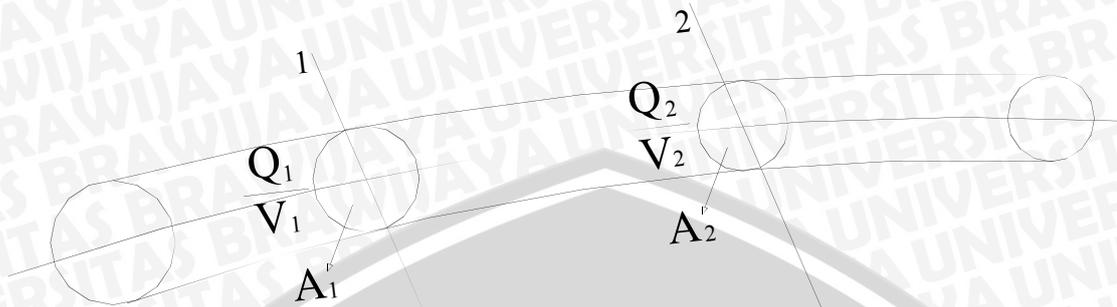
$$h_L = \text{kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)}$$

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

2.4.3 Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa secara terus menerus yang mempunyai luas penampang dan kecepatan akan memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya.

Dalam persamaan hukum kontinuitas dinyatakan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar.



Gambar 2.3 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda
 Sumber : Triatmodjo (1996:137)

Sehingga dapat dituliskan persamaan:

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

atau,

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

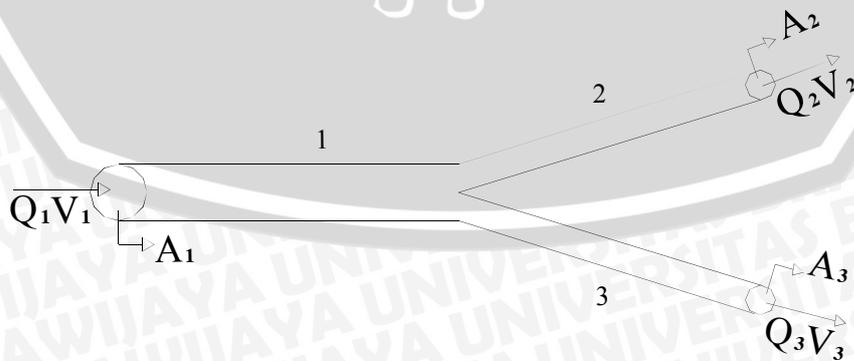
dengan:

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

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

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

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



Gambar 2.4 Persamaan Kontinuitas pada Pipa bercabang
 Sumber Triatmodjo (1996:137)



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

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots (2 - 12)$$

atau

$$A_1 \cdot V_1 = (A_2 \cdot V_2) + (A_3 \cdot V_3) \dots\dots\dots (2 - 13)$$

dengan:

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

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

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

2.4.4 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

2.4.4.1 Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Fluida yang mengalir di dalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran (Triatmodjo 2003:25). Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain bergantung pada jenis pipa. Ada beberapa teori untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor, tetapi dalam kajian ini digunakan persamaan *Hazen-Williams* sebagai berikut: (Priyantoro 1991:21).

$$V = 0,85 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \dots\dots\dots (2 - 14)$$

dimana:

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

V = kecepatan pada pipa (m/det)

0.85 = konstanta

C_{hw} = koefisien kekasaran Hazen-Williams

A = Luas penampang aliran (m^2)

R = Jari-jari hidrolis (m)

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

R = $D / 4$

S = kemiringan garis energi (m/m)

$$= h_f / L$$

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

$$h_f = kQ^{1,85} \dots\dots\dots(2 - 15)$$

$$k = \frac{10,7L}{C_{hw}^{1,85} \cdot D^{4,87}} \dots\dots\dots(2 - 16)$$

Dengan:

h_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m) C_{hw} = koefisien kekasaran Hazen-

Williams

k = koefisien karakteristik pipa D = Diameter pipa (m)

Q = debit aliran pada pipa (m³/det) L = panjang pipa (m)

Tabel 2.3 Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Hazen-Williams

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

Sumber : DPUD Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih (1987 : 8 dari 14)

2.4.4.2 Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

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

Kehilangan energi ditempat-tempat tersebut disebut sebagai kehilangan energi minor. Tidak menutup kemungkinan kehilangan energi minor dapat berpengaruh lebih

besar daripada mayor. Dengan demikian kehilangan energi minor juga harus diperhatikan dan dapat ditulis sebagai berikut (Triatmodjo, 2008:109):

$$h_f = k \frac{Q}{2A^2 g} \dots \dots \dots (2 - 17)$$

Atau

$$h_f = k \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2 - 18)$$

dengan:

- h_f = kehilangan energi minor (m)
- v = kecepatan aliran (m/detik)
- g = percepatan gravitasi (m/detik²)
- k = koefisien kehilangan energi minor

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

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

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k	Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k
Inlet		Belokan 90°	
<i>Bell mounth</i>	0,03 – 0,05	R/D = 4	0,16-0,18
<i>Rounded</i>	0,12-0,25	R/D = 2	0,19-0,25
<i>Sharp Edged</i>	0,50	R/D = 1	0,35-0,40
<i>Projecting</i>	0,80	Belokan Tertentu	
Pengecilan Tiba-tiba		$\theta = 15^\circ$	0,05
$D_2/D_1 = 0,80$	0,18	$\theta = 30^\circ$	0,10
$D_2/D_1 = 0,50$	0,37	$\theta = 45^\circ$	0,20
$D_2/D_1 = 0,20$	0,49	$\theta = 60^\circ$	0,35
Pengecilan Mengerucut		$\theta = 90^\circ$	0,80
$D_2/D_1 = 0,80$	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

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k	Jenis Perubahan Bentuk Pipa	k
Pembesaran Tiba-tiba	0,16	Persilangan	0,50
$D_2/D_1 = 0,80$	0,57	Aliran searah	0,75
$D_2/D_1 = 0,50$	0,92	Aliran bercabang	
$D_2/D_1 = 0,20$			
Pembesaran Mengerucut	0,03	45° Wye	0,30
$D_2/D_1 = 0,80$	0,08	Aliran searah	0,50
$D_2/D_1 = 0,50$	0,13	Aliran bercabang	
$D_2/D_1 = 0,20$			

Sumber : Haestad, 2001

2.5 Komponen pada Jaringan Distribusi Air Bersih

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

2.5.1 Pipa

Pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih, pipa merupakan komponen yang utama. Dalam pelayanan penyediaan air bersih lebih banyak digunakan pipa bertekanan karena lebih sedikit kemungkinan tercemar dan biayanya lebih murah dibandingkan menggunakan saluran terbuka atau talang.

Dalam studi perencanaan ini pipa yang dipakai untuk sistem jaringan distribusi air adalah : Pipa *Polyethylene* (PE), merupakan pipa plastik berwarna hitam dan fleksibel. Desain tangguh pipa PE menghasilkan pipa yang memiliki kekuatan maksimum dan menghasilkan aliran yang optimum, sehingga menjadikan pipa ini sebagai pilihan yang baik untuk kebutuhan distribusi air minum yang besar dan kebutuhan drainase.

Pipa PE terbuat dari bahan PERT (*Polyethylene of Raised Temperature*). Tersedia dalam beberapa ukuran 6m, 10m, 12m per batang dengan diameter 6", 4", 3", 2", 1,5", 1", 3/4".



Gambar 2.5. Pipa Polyethylene (PE)

Sumber : hdpe100.blog.com

Tabel 2.5. Karakteristik dan Keuntungan Pipa Polyethylene (PE)

Karakteristik	Keuntungan
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Memiliki fleksibilitas tinggi (kekuatan tensil > 22 mPa dan elastitas >700%) ▪ Memiliki kemampuan menahan benturan (impact Strength) ▪ Memiliki ketahanan terhadap temperatur rendah bahkan temperature air beku ▪ Ringan (mengapung di air) dengan densitas = 0.940 gr/cm³, sehingga mudah dalam penanganan dan transportasi ▪ Tahan terhadap korosi dan abrasi ▪ Sangat disarankan untuk distribusi air minum (ramah lingkungan) ▪ Umur relatif panjang, 50 tahun ▪ Memiliki koefisien kekasaran 140 yang termasuk halus dan sangat baik untuk mengurangi <i>headloss gradient</i> • Dapat mengalirkan air dalam pipa sampai kecepatan 5,5 m/dt • Kemiringan garis hidrolis (<i>headloss gradient</i>) sampai 25 m/km 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kuat terhadap beban berat ▪ Tahan panas hingga 95 C dan temperatur rendah ▪ Mudah dalam pemasangan ▪ Ekonomis ▪ Tahan terhadap bahan kimia dan abrasi ▪ Memiliki fleksibilitas tinggi sehingga tahan terhadap gempa bumi

2.5.2 Sarana Penunjang

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

1. Sambungan antar pipa:

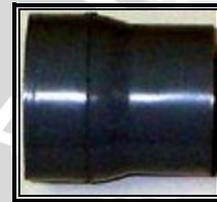
- *Increaser* dan *Reducer*

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 2.6. Increaser

Sumber : www.beritaiptek.com



Gambar 2.7 Reducer

Sumber : www.alibaba.com

- Perlengkapan “T”

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



Gambar 2.8. Sambungan T

Sumber : www.minhaipipe-fitting.com

- Belokan (*bend/elbow/knee*)

Belokan (*Bend*) digunakan untuk mengubah arah dari lurus dengan sudut perubahan standar yang merupakan sudut dari belokan tersebut. Besar belokan standar di bawah 90° biasa disebut *elbow* dan belokan 90° biasa disebut *knee*.



Gambar 2.9. Belokan 45°

Sumber : www.fandisc.com

2. Katup (*valve*)

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

Digunakan untuk membatasi aliran maksimum rata-rata yang melalui katup dari hulu ke hilir. Dimaksudkan untuk melindungi suatu komponen tertentu yang letaknya di hilir agar tidak rusak akibat lairan yang terlalu besar.



Gambar 2.10. Katup Pengatur Aliran

Sumber : www.proces-controls.com

- 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 2.11. Katup Biasa

Sumber : www.snap-tite.com

- *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 2.12. Katup Udara
Sumber : www.woojini.com

3. Meter Air

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



Gambar 2.13. Meter Air
Sumber : www.beritaiptek.com

4. Hydrant

Hydrant berfungsi sebagai pengambilan air oleh Dinas Pemadam Kebakaran sebagai pemadam api/kebakaran di tempat yang terdekat dengan letak hydrant tersebut. Sedangkan oleh PDAM hydrant digunakan sebagai pembuang udara sekaligus penguras air.



Gambar 2.15. Hydrant
Sumber : www.hardwarestore.com

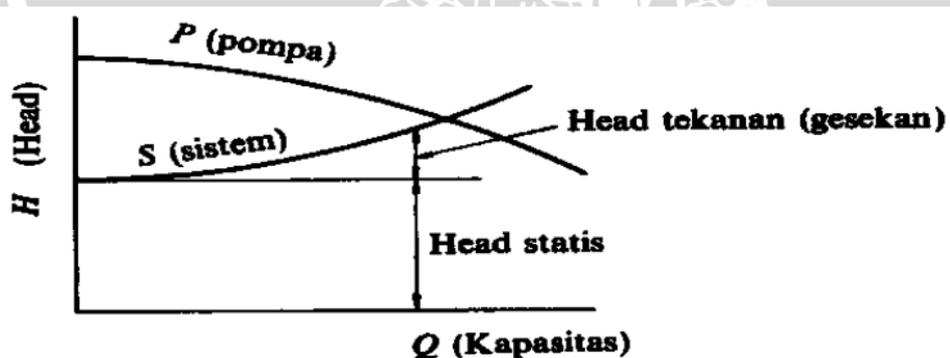
2.5.3 Pompa

Pompa adalah perangkat yang mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga hidrolis (linsley II,1996 :17) penggunaan pompa mampu memberikan tambahan tekanan dalam suatu sistem jaringan distribusi air bersih. Dengan adanya pompa tinggi

tekanan yang berkurang dapat dinaikkan kembali sehingga sistem dapat mengalirkan air ketempat pelayanan yang lebih tinggi dan jauh. Sehingga dalam operasinya pompa harus dapat memenuhi tinggi tekan yang dibutuhkan sistem. Apabila sebelum pompa dipasang telah ada aliran, maka pompa dapat digunakan untuk menambah kapasitas debitnya.

Dalam hal pemilihan pompa untuk suatu maksud tertentu terlebih dahulu harus diketahui kapasitas aliran, *head* total pompa, jenis aliran yang akan dipompa dan kondisi pemasangannya. Selain itu agar pompa dapat bekerja tanpa menaglami kavitasi, maka perlu ditaksir berapa tekanan minimum yang tersedia pada sisi masuk pompa yang terpasang pada instalasinya. (Sularso, 2000:13)

Karakteristik pompa ditunjukkan oleh debit yang dihasilkan pada berbagai variasi tinggi tekan (*head*). Kapasitas pompa merupakan debit dan tinggi tekan hasil pemompaan yang diperoleh pada efisiensi pompa akan berkurang. Besarnya tinggi tekan sistem, yaitu tinggi tekan yang diperoleh untuk mengalirkan air melalui sistem pipa adalah sama dengan tinggi tekan untuk mengatasi kehilangan akibat gesekan ditambah tinggi tekan statis dari sistem. Titik perpotongan antara kurva karakteristik sistem merupakan titik kerja dari pompa dan sistem pada titik ini tinggi tekan yang dapat diperlukan oleh sistem sama dengan tinggi tekan yang dapat diberikan oleh pompa pada aliran yag sama. Kurva mengenai kurva head-kapasitas dari pompa dan sistem disajikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.15. Kurva Head-Kapasitas dari Pompa (P) dan Sistem (S)

Sumber: Sularso, 2000 : 91

2.5.4 Tandon (Water Tank)

Tandon merupakan komponen dari sistem jaringan distribusi air bersih yang memiliki fungsi menampung dan menyimpan air untuk digunakan pada kondisi tertentu. Pengisian tampungan tandon dilakukan apabila kebutuhan air bersih tidak mencapai

puncak atau menurun. Disamping fungsi untuk memenuhi fluktuasi permintaan pada keadaan darurat, tandon juga berfungsi meratakan tekanan untuk operasi.



Gambar 2.16. *Water Tank*
Sumber : <http://www.oakharbor.org>

2.5.5 Titik Simpul (Junction)

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

2.5.6 Penghubung (*link*)

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

2.6 Simulasi aliran pada Sistem Jaringan Distribusi

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

2.6.1 Analisa pada Kondisi Permanen

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

2.6.2 Analisa pada Kondisi Tidak Permanen

Analisa pada kondisi tidak permanen akan mengevaluasi kondisi aliran, tekanan dan kapasitas dari komponen sistem distribusi air bersih termasuk sistem pipa,

penampungan dan sistem pompa pada corak rangkaian permintaan serial dengan permintaan sistem berubah-ubah. Dalam simulasi ini terdapat beberapa parameter yang digunakan seperti: karakteristik tandon, kontrol operasi, pompa, durasi dan nilai tahap waktu, rasio dan faktor beban (*loading factor*). Beberapa kriteria dan asumsi yang digunakan yaitu: simulasi didasarkan pada perhitungan fluktuasi beban titik simpul sebagai akibat corak perubahan permintaan yang dilakukan pada kondisi normal dimana variasi kebutuhan titik simpul disebabkan oleh fluktuasi kebutuhan pelanggan tiap jam dengan durasi 24 jam.

2.7 Penggunaan Software pada Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

2.7.1 Pengertian EPANET v 2.0

EPANET (*Environmental Protection Agency Networks*) dikembangkan oleh *Water Supply and Water Resources Division of U.S Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory*, Cincinnati Ohio (1995). EPANET adalah suatu perangkat lunak yang bekerja dengan menggunakan sistem Windows 95/98/NT 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 dapat terdiri dari pipa, *node*/titik (sambungan pipa), pompa, katup dan bak penyimpanan (*reservoir*). EPANET dapat mengidentifikasi aliran atau debit pada tiap-tiap pipa, tekanan pada tiap-tiap titik simpul, ketinggian air tandon dan perubahan konsentrasi senyawa kimia yang ditambahkan pada jaringan dalam sebuah sistem distribusi selama periode simulasi.

EPANET menyediakan paket sistem analisis hidrolika lengkap yang termasuk di dalamnya kemampuan untuk:

1. Menangani segala ukuran sistem jaringan.
2. Menghitung kehilangan tinggi energi akibat gesekan berdasarkan rumus Hazen – William, Darcy – Weisbach atau Chezy – Manning.
3. Menghitung kehilangan tinggi energi akibat belokan, sambungan dan sebagainya.
4. Permodelan kecepatan konstan atau variasi untuk aliran pompa.
5. Perhitungan energi pompa serta biaya operasinya.
6. Permodelan untuk berbagai variasi tipe katup termasuk di dalamnya 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 sistem yang operasinya berbasis pada tingkatan sederhana atau dengan pengaturan waktu pada sistem kontrol 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 berbasiskan sistem Windows menyediakan editor jaringan secara visual yang menyederhanakan proses pembangunan model jaringan pipa dan mengganti-ganti spesifikasinya (*visualisation tools*) digunakan untuk membantu menginterpretasikan hasil dari analisa jaringan. Termasuk di dalamnya tampilan grafis (skala, profil, kontur dan sebagainya), tampilan tabulasi dan tambahan informasi tentang penggunaan energi, reaksi dan kalibrasi.

EPANET dikembangkan khusus untuk mempermudah pemeliharaan utilitas air dan meningkatkan kualitas pengiriman air ke pengguna (konsumen) melalui sistem jaringan distribusinya. Selain itu dapat digunakan untuk merencanakan serta meningkatkan kinerja sistem hidrolis. Peletakan dan penentuan ukuran pipa, pompa dan katup serta meminimalkan penggunaan energi adalah beberapa aktifitas yang dapat dibantu oleh EPANET.

EPANET mengidealiskan sebuah sistem distribusi air sebagai suatu kumpulan dari hubungan titik-titik yang menyambung. Hubungan tersebut menunjukkan berbagai pipa, pompa dan katup pengontrol.

2.7.2 Ruang Lingkup Paket Program EPANET Versi 2.0

EPANET dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi dalam menganalisis sistem distribusi air bersih, misalkan untuk merencanakan sistem distribusi, analisis kandungan chlorine pada aliran dalam sistem distribusi, menganalisis arah aliran pada sistem 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 sistem distribusi air bersih, tidak hanya untuk kondisi permintaan permanen namun juga dapat dilakukan simulasi hidrolis non permanen. EPANET menggunakan metode simultan (*Simutaneous Node Adjusment Method*) yaitu program yang menghitung analisa kondisi hidrolis semua komponen sistem distribusi air bersih pada kondisi kebutuhan air yang berubah sepanjang waktu dengan mempertimbangkan perubahan fluktuasi muka air tandon (*tank/reservoir*) dan operasi kontrol pompa, sebagai metode penyelesaian numerik pada analisa jaringan pipa dengan persamaan Hazen – William atau Darcy – Weisbach untuk mencari kehilangan tinggi tekan pada jaringan pipa.
- b. Program simulasi kualitas air meruakan program simulasi dinamik untuk kualitas air yang dapat melacak senyawa kimia yang ditambahkan dalam aliran pada suatu sistem 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 sistem distribusi air bersih dan juga dapat melacak sumber atau asal dari suatu pengaliran di dalam suatu pipa berasal dari mana.

2.7.3 Batasan Permodelan Sistem Distribusi Air Bersih dengan Paket Program EPANET Versi 2.0

Paket program EPANET dapat menganalisa suatu sistem jaringan distribusi jaringan dengan denah (*lay-out*) tidak terbatas untuk sistem jaringan tertutup (*looped networks*) atau sistem percabangan (*branced networks*). Batasan jumlah titik simpulnya dari 1 sampai 214783647 buah titik simpul maksimum, dengan adanya pengoperasian stasiun pompa, katup peubah tekanan (PRV) dan katup kontrol dengan sedikitnya 1 buah titik simpul kondisi tetap (*tank/reservoir*) dan beberapa sumber air. Paket program EPANET menggunakan satuan British maupun satuan internasional, tergantung mana yang akan digunakan dalam perencanaan.

2.7.4 Struktur Umum Paket Program EPANET Versi 2.0

Operasional paket program EPANET dikendalikan dari menu program kontrol utama. Dari program kontrol 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 kontrol ini sangat interaktif.

2.7.5 Parameter Permodelan dengan Paket Program EPANET Versi 2.0

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

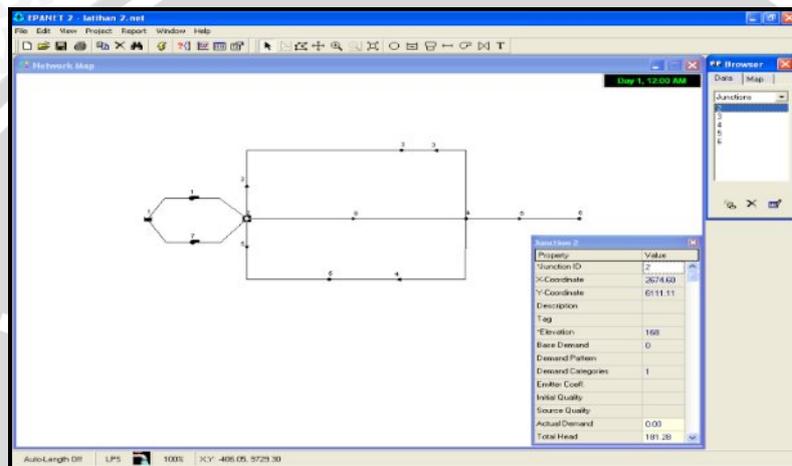
- a. *TITLE* (nama proyek), akan dicetak pada awal setiap keluaran maksimal 80 karakter.
- b. *JUNCTION* (titik simpul), yaitu nomor titik simpul, elevasi (m), debit kebutuhan (liter per sekon).
- c. *TANK* (data tandon), merupakan kata kunci penugasan suatu titik simpul dengan tinggi tekan yang dapat berubah, yaitu nomor identitas, elevasi (m), tinggi air rerata, tinggi air minimal, ketinggian air maksimal, diameter (m).
- d. *PIPE* (data pipa), yaitu nomor pipa, titik simpul awal dan akhir, panjang (m), diameter (mm) dan koefisien kekasaran.
- e. *PUMP* (data pompa), yaitu nomor penghubung (*link*) pompa dan titik simpul di awal dan akhir pompa, tinggi tekan (m), kemampuan debit (ltr/dt). Dapat pula diikuti dengan pola pengoperasian pompanya, misalkan pompa on bila ketinggian air tandon telah mencapai ketinggian tertentu.
- f. *VALVES* (katup), yaitu nomor identitas, titik simpul awal dan akhir katup, diameter katup (mm), jenis katup, setting dan koefisien kehilangan.
- g. *REPORT* (output), yaitu nama file, pilihan (*yes, full or no*), *lines* (nomor garis pada halaman dalam hasil keluaran), nomor titik simpul, nomor pipa, variabel dan *value* (nilai tertentu).
- h. *STATUS*, yaitu nomor pipa pada kedua ujung dan setting.
- i. *CONTROLS*, yaitu nomor pipa, *setting* (*close* atau *open*) dan waktu pengoperasiannya.
- j. *PATTERNS*, (pola operasi) *pattern* (pola periodik) nilai tertentu dan seterusnya.
- k. *TIMES* (variasi waktu dalam simulasi), yaitu nilai tertentu, *units* (satuan waktu).
- l. *QUALITY* (kualitas air dalam jaringan), yaitu 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 (ltr/dt).

- o. *ROUGHNESS* (angka koefisien kekasaran pipa) nomor pipa, nilai koefisien kekasaran.
- p. *END*, pertanda berakhirnya file input.

2.7.6 Tahapan-tahapan dalam penggunaan Program EPANET v 2.0

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

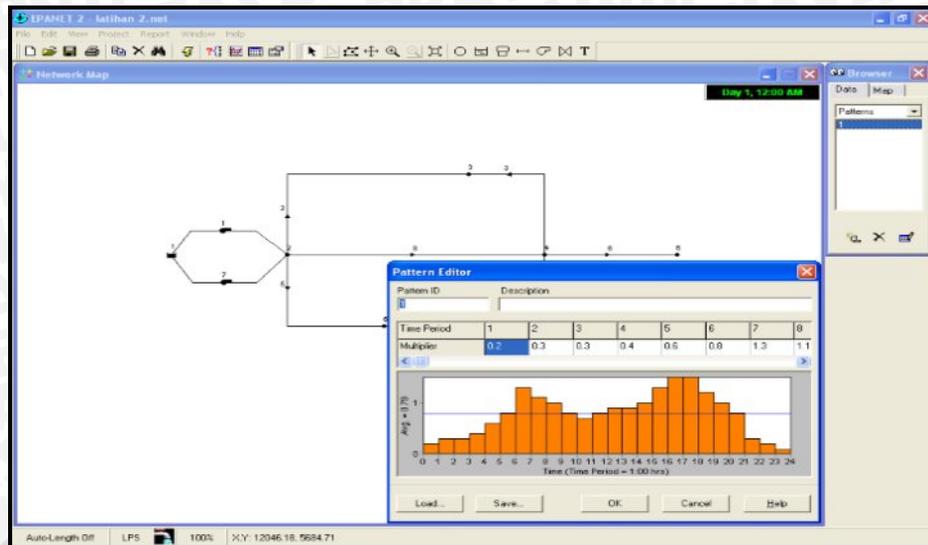
1. Menggambarkan jaringan sistem distribusi air atau memasukkan deskripsi dasar jaringan dengan menggunakan file text, seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.17. Contoh Jaringan Sistem Distribusi Perpipaan

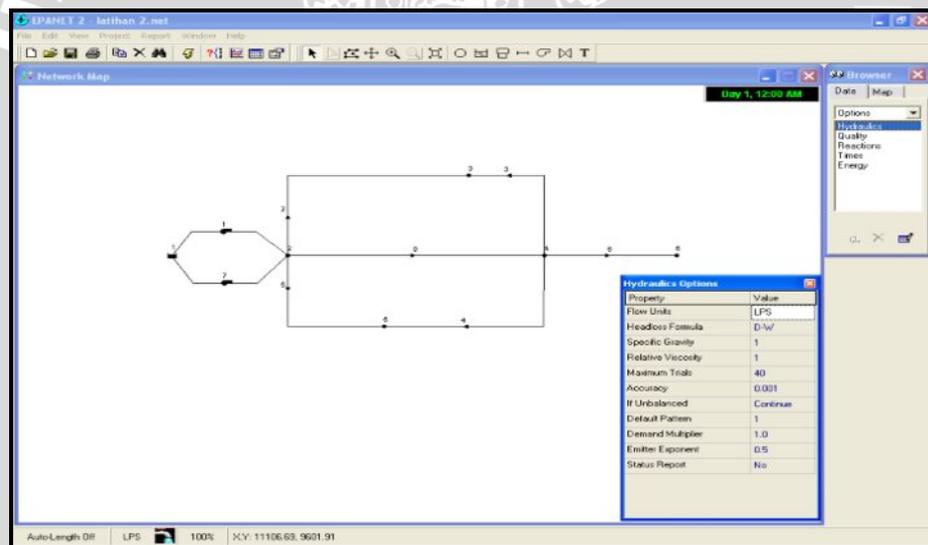
Sumber: EPANET User Manual

2. Meng-edit spesifikasi dari obyek-obyek 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 di atas 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 dipakai bila ingin membandingkan antara analisa statis dan dinamis.



Gambar 2.18. Pengaturan Cara Kerja Sistem
 Sumber: EPANET User Manual

- Menentukan pilihan/option pengaturan analisa yang dapat dilihat pada gambar berikut:

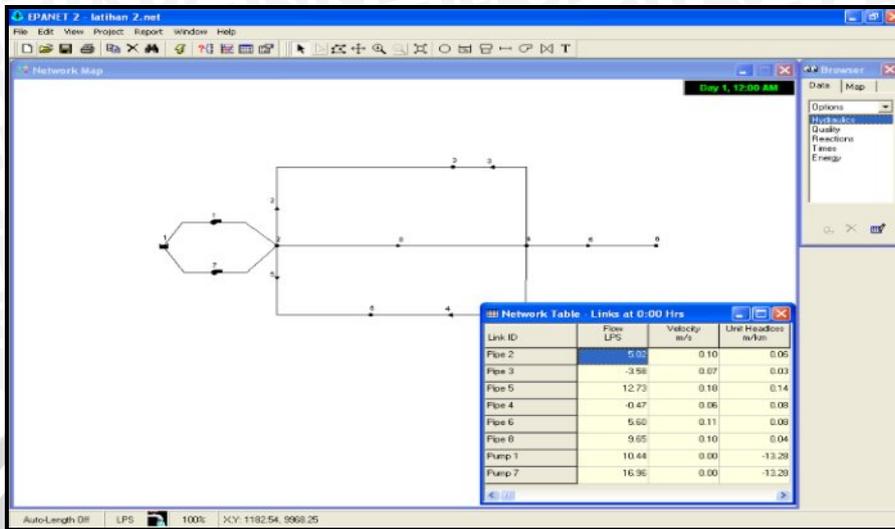


Gambar 2.19. Pengaturan Pilihan Analisa Hidraulis
 Sumber: EPANET User Manual

- Menjalankan analisa hidrolis. Dilakukan dengan menekan ikon *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.
- 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*



Gambar 2.20. Tampilan Hasil Analisa

Sumber: EPANET *User Manual*

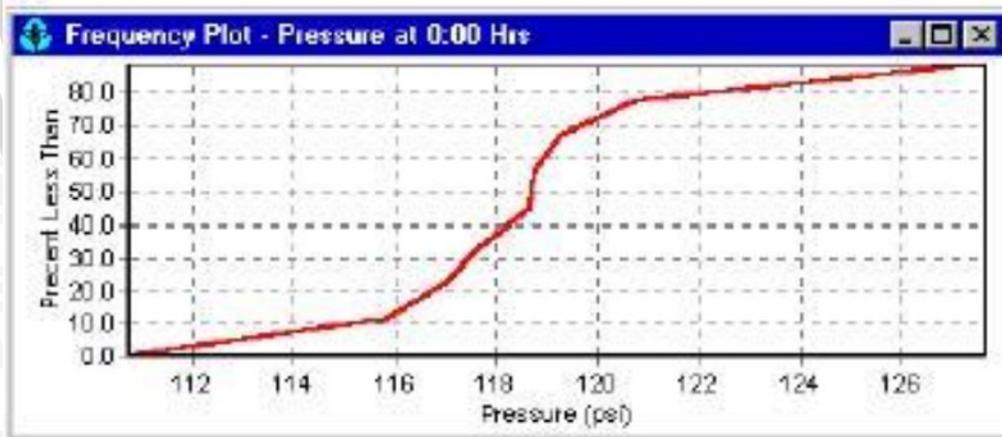
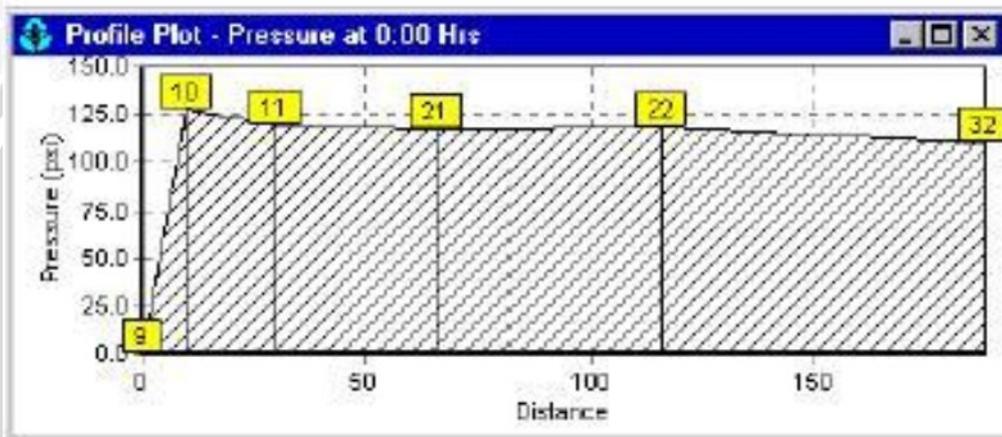
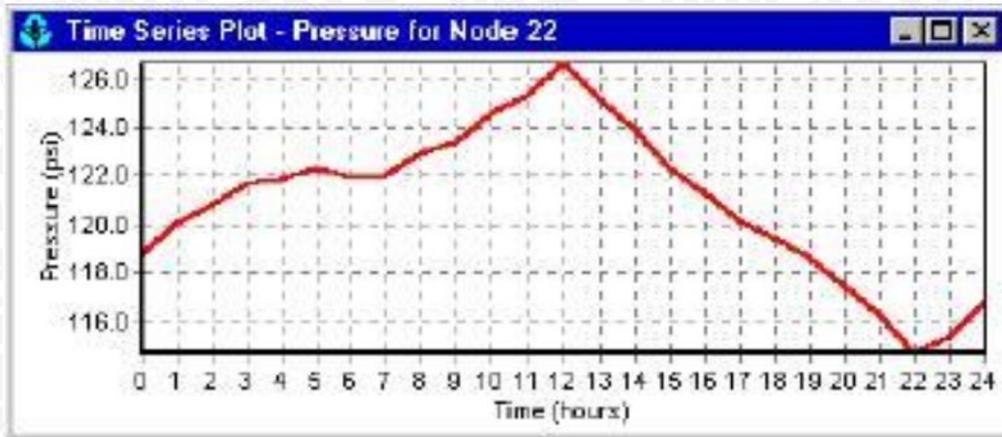
2.7.7 Menampilkan Hasil Epanet v2.0

Banyak cara untuk menampilkan hasil dari simulasi dan nilai database pada map, salah satunya melalui grafik. Beberapa tipe grafik dapat digunakan untuk melihat nilai dari parameter yang terpilih:

Tabel 2.6 Tipe Grafik pada Epanet v2.0

No	Tipe Plot	Penjelasan	Digunakan untuk
1	Time Series Plot	Mem-plot nilai vs waktu	Node atau link khusus pada semua periode waktu
2	Profile Plot	Mem-plot nilai vs jarak	Daftar dari node pada waktu yang khusus
3	Contour Plot	Memperlihatkan area dari peta dengan interval nilai yang khusus	Semua node pada waktu yang khusus
4	Frequency Plot	Mem-plot nilai vs sedikit objek atau nilai dibawahnya	Semua node atau link pada waktu khusus
5	System Flow	Mem-plot keseluruhan sistem	Kebutuhan air untuk semua node

Berikut merupakan beberapa contoh grafik:

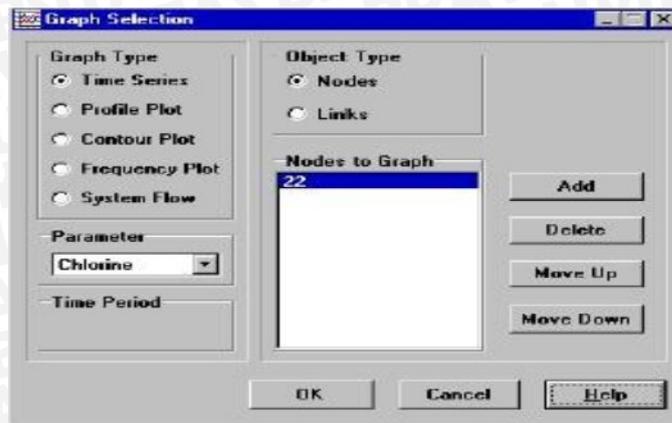


Gambar 2.21. Contoh dari bermacam-macam tipe grafik

Sumber : *Epanet User Manual*

Untuk membuat grafik :

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



Gambar 2.22. Dialog Graph Section

Sumber : *Epanet User Manual*

2.8. Rencana Anggaran Biaya

Sebuah konsep estimasi anggaran biaya yang terstruktur sehingga menghasilkan nilai estimasi rancangan yang tepat dalam arti ekonomis yang selanjutnya dikenal dengan istilah Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek, yang mempunyai fungsi dan manfaat lebih lanjut dalam hal mengendalikan sumberdaya material, tenaga kerja, peralatan dan waktu pelaksanaan proyek sehingga pelaksanaan kegiatan proyek yang dilakukan akan mempunyai nilai efisiensi dan efektivitas.

Konsep penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek, pada pelaksanaannya didasarkan pada sebuah analisa masing-masing komponen penyusunnya (material, upah dan peralatan) untuk tiap-tiap item pekerjaan yang terdapat dalam keseluruhan proyek. Hasil analisa komponen tersebut pada akhirnya akan menghasilkan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) per item yang menjadi dasar dalam menentukan nilai estimasi biaya pelaksanaan proyek keseluruhan dengan mengonversikannya kedalam total volume untuk tiap item pekerjaan yang dimaksud.

2.8.1. Harga Satuan Pekerjaan (HSP)

Harga Satuan Pekerjaan (HSP) terdiri atas biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung terdiri atas upah, alat, dan bahan. Biaya tidak langsung terdiri atas biaya umum dan keuntungan. Biaya langsung masing-masing perlu ditetapkan harganya sebagai Harga Satuan Dasar (HSD) untuk setiap satuan pengukuran standar, sehingga hasil rumusan analisis yang diperoleh mencerminkan harga aktual di lapangan. Biaya tidak langsung dapat ditetapkan sesuai dengan asumsi pelaksanaan/penyediaan yang aktual (sesuai dengan kondisi lapangan) dan mempertimbangkan harga pasar

setempat waktu penyusunan Harga Perkiraan Sendiri (HPS) atau Harga Perkiraan Perencana (HPP).

Dalam penerapannya, perhitungan harga satuan pekerjaan harus disesuaikan dengan spesifikasi teknis yang digunakan, asumsi-asumsi yang secara teknis mendukung proses analisis, penggunaan alat secara mekanis atau manual, peraturan-peraturan dan ketentuan-ketentuan yang berlaku, serta pertimbangan teknis (*engineering judgment*) terhadap situasi dan kondisi lapangan setempat. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2012: 10).

2.8.2. Harga Satuan Dasar

Harga komponen dari mata pembayaran dalam satuan tertentu, misalnya bahan (m, m², m³, kg, ton, zak, dsb.), peralatan (unit, jam, hari, dsb.), dan upah tenaga kerja (jam, hari, bulan, dsb). (Kementerian Pekerjaan Umum, 2012: 4).

2.8.3. Harga Satuan Dasar Tenaga Kerja

Komponen tenaga kerja berupa upah yang digunakan dalam mata pembayaran tergantung pada jenis pekerjaannya. Faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar tenaga kerja antara lain jumlah tenaga kerja dan tingkat keahlian tenaga kerja. Penetapan jumlah dan keahlian tenaga kerja mengikuti produktivitas peralatan utama.

Biaya tenaga kerja standar dapat dibayar dalam sistem hari orang standar atau jam orang standar. Besarnya sangat dipengaruhi oleh jenis pekerjaan dan lokasi pekerjaan. Secara lebih rinci faktor tersebut dipengaruhi antara lain oleh:

- Keahlian tenaga kerja
- Jumlah tenaga kerja
- Faktor kesulitan pekerjaan
- Ketersediaan peralatan
- Pengaruh lamanya kerja, dan
- Pengaruh tingkat persaingan tenaga kerja.

2.8.4. Harga Satuan Dasar Bahan

Faktor yang mempengaruhi harga satuan dasar bahan antara lain adalah kualitas, kuantitas, dan lokasi asal bahan. Faktor-faktor yang berkaitan dengan kuantitas dan kualitas bahan harus ditetapkan dengan mengacu pada spesifikasi yang berlaku. Data harga satuan dasar bahan dalam perhitungan analisis ini berfungsi untuk control

terhadap harga penawaran kontraktor. Harga satuan dasar bahan dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu:

- Harga satuan dasar bahan baku, misal: batu, pasir, semen, baja, tulangan, dan lain-lain.
- Harga satuan dasar bahan olahan, misal: agregat kasar dan agregat halus, campuran beton semen, campuran beraspal, dll.
- Harga satuan dasar bahan jadi, misal: tiang pancang beton pracetak, geosintetik dan lain-lain.

