

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Ketersediaan Air Bersih

2.1.1 Pemilihan Sumber Air Bersih

Menurut (Soemarto, 1987), air yang dapat dimanfaatkan bagian dari daur hidrologi (*Hydrology Cycle*) dibagi menjadi 3 golongan sebagai berikut ini:

1. Air permukaan contohnya air danau, air rawa, air sungai dan sebagainya.
2. Air tanah contohnya mata air, air tanah dalam atau air tanah dangkal.
3. Air atmosfer contohnya hujan es atau salju.

Beberapa sumber air baku yang dapat digunakan untuk penyediaan air bersih dikelompokkan sebagai berikut:

1. Air Hujan

Air angkasa atau yang sering disebut dengan air hujan memiliki beberapa sifat kualitas sebagai berikut:

- a. Bersifat lunak karena tidak mengandung larutan garam dan zat-zat mineral dan air hujan pada umumnya bersifat lebih bersih.
- b. Dapat bersifat korosif karena mengandung zat-zat yang terdapat di udara seperti NH_3 , CO_2 , ataupun SO_2 .

Kuantitas air hujan tergantung pada jumlah curah hujan dan musim, sehingga air hujan tidak dapat memenuhi pasokan air bersih karena jumlahnya bervariasi dan tidak dapat digunakan tanpa batas waktu.

2. Air Permukaan

Air permukaan adalah air yang mengalir di permukaan bumi. Selama pengalirannya air permukaan akan mengalami pengotoran yang disebabkan oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, limbah industri, kotoran penduduk dan sebagainya (Pratama, 2016).

Air permukaan yang biasanya dimanfaatkan sebagai sumber atau bahan baku air bersih adalah:

- a. Air waduk (berasal dari air hujan).
- b. Air sungai (berasal dari air hujan dan mata air).
- c. Air danau (berasal dari air hujan, air sungai atau mata air).

3. Air Tanah

(Pratama, 2016) Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah, yang dibedakan menjadi:

a. Air tanah dangkal

Air tanah dangkal berkisar pada kedalaman sekitar 15 m dari permukaan tanah dangkal sebagai sumber air bersih, namun dari segi kualitas air ini lebih baik namun dari segi kuantitas sangat tergantung pada musim.

b. Air tanah dalam

Air ini memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan air tanah dangkal, karena penyaringannya lebih sempurna dan bebas dari bakteri, sedangkan kuantitasnya tidak dipengaruhi oleh musim.

4. Mata Air

Dari segi kualitas, mata air sangat baik bila dipakai sebagai air baku. Karena berasal dari dalam tanah yang muncul ke permukaan tanah akibat tekanan, sehingga belum terkontaminasi oleh zat-zat pencemar. Biasanya lokasi mata air merupakan daerah terbuka, sehingga mudah terkontaminasi oleh lingkungan sekitar. Contohnya banyak ditemui bakteri *E.-coli* pada air tanah.

Dilihat dari segi kuantitasnya, jumlah dan kapasitas mata air sangat terbatas sehingga hanya mampu memenuhi kebutuhan sejumlah penduduk tertentu.

Survey air baku dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai berbagai alternatif sumber air baku yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di Desa Bungur Raya. Materi survey air baku adalah sebagaimana tertera pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Survey Air Baku

No	Jenis Sumber Air Baku	Data yang Diperlukan	Keterangan
1	Mata Air	▪ Lokasi dan ketinggian ▪ Kualitas Air ▪ Kuantitas dan kontinuitas air (hasil pengamatan dan pengukuran pada musim kemarau) ▪ Peruntukan saat ini ▪ Kepemilikan lahan di	▪ Sumber layak dipilih jika tidak ada konflik kepentingan (musyawarah) ▪ Kualitas dan kuantitas memenuhi ketentuan yang

No	Jenis Sumber Air Baku	Data yang Diperlukan	Keterangan
		sekitar mata air ▪ Jarak ke daerah pelayanan ▪ Yang mempengaruhi kualitas	berlaku
2.	Air Tanah	▪ Lokasi ▪ Kualitas, kuantitas dan kontinuitas ▪ Peruntukan saat ini ▪ Kepemilikan ▪ Jarak ke daerah pelayanan ▪ Jalan untuk masuk ke lokasi	▪ Harus mengetahui kondisi air tanah dalam dan kondisi air tanah dangkal
3	Air Permukaan	▪ Lokasi dan ketinggian ▪ Kualitas air ▪ Kuantitas dan kontinuitas air (hasil pengamatan dan pengukuran pada musim kemarau) ▪ Peruntukan saat ini ▪ Jarak ke daerah pelayanan	▪ Sumber dipilih jika alternatif 1 dan 2 tidak ada
4	Air Hujan	▪ Curah hujan ▪ Kualitas dan kuantitas air hujan	▪ Sumber dipilih jika alternatif 1, 2 dan 3 tidak ada

Sumber: Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum, 2012

Berdasarkan hasil wawancara, Desa Bungurraaya memilih sumber air baku dari mata air pegunungan. Mata air tersebut muncul di lereng gunung dan biasanya berasal dari air resapan tanah dan batuan di daerah hulu yang berupa hutan. Sumber air bersih di Desa Bungurraaya memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan air hingga ke daerah layanan secara berkelanjutan.

2.1.2 Persyaratan dalam Penyediaan Air Bersih

Dalam perencanaan sistem distribusi air bersih tentunya haruslah memenuhi syarat yang aman dari segi higienisnya, dapat dijadikan air minum, ketersediaan yang cukup dan dapat dijangkau oleh segala tingkat sosial. Adapun syarat air bersih yang harus dipenuhi agar air tersebut dikatakan layak yaitu dengan menerapkan konsep 3K.

a. Persyaratan Kualitatif

Konsep kualitatif merupakan persyaratan yang meliputi gambaran mutu dan kualitas air yang akan didistribusikan. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi agar air tersebut aman dan baik dikonsumsi tanpa menimbulkan efek negatif dari pemakaiannya yaitu syarat fisik, syarat kimia, syarat mikrobiologis dan syarat radiologis.

b. Persyaratan Kuantitas

Persyaratan kuantitas dapat dilihat dari debit air bersih yang didistribusikan ke daerah layanan atau konsumen sesuai dengan jumlah kebutuhan. Kebutuhan pasokan air bersih bervariasi, bergantung pada beberapa hal seperti letak geografis, kebudayaan, tingkat ekonomi dan skala perkotaan tempat tinggalnya. Syarat kuantitas berarti air bersih yang tersedia harus memenuhi standar kebutuhan air yang dibutuhkan.

Kuantitas atau jumlah air yang mengalir dari pusat distribusi sangatlah penting dalam analisis jaringan distribusi. Karena tujuan utama dari analisis jaringan distribusi adalah agar kebutuhan masyarakat untuk tersedianya air bersih dapat terlayani dengan baik.

c. Persyaratan Kontinuitas

Air baku yang digunakan sebagai air bersih harus dapat diambil secara terus menerus untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat. Air baku untuk air bersih harus dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relative tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam per hari, atau setiap saat diperlukan, kebutuhan air tersedia. Akan tetapi kondisi ideal tersebut hampir tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia, sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktifitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air. Prioritas pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam per hari, yaitu pada jam-jam aktifitas kehidupan, yaitu pada pukul 06.00 –18.00.

2.2 Kebutuhan Air Bersih

2.2.1 Kriteria Perancangan Kebutuhan Air Bersih

Dalam penentuan kapasitas sistem penyediaan air bersih diperlukan suatu dasar standar perencanaan yang dijadikan sebagai acuan dalam perancangan (mengacu pada ketentuan Dirjen Cipta Karya). Dalam kriteria tersebut tercakup:

a) Macam Kebutuhan Air Bersih

1) Standar Kebutuhan Air Domestik

Menurut (Kindler et al., 1984), kebutuhan domestik meliputi semua kebutuhan air untuk keperluan penghuni rumah. Tingkat kebutuhan air bervariasi berdasarkan keadaan alam diarea pemukiman, banyaknya penghuni rumah, karakteristik penghuni serta ada atau tidaknya perhitungan pemakaian air.

Kebutuhan domestik dimaksudkan adalah untuk memenuhi kebutuhan air bersih bagi keperluan rumah tangga yang dilakukan melalui:

- Sambungan langsung adalah jenis sambungan pelanggan yang mensuplai airnya langsung ke rumah-rumah. Biasanya berupa sambungan pipa-pipa distribusi air melalui meter air dan instalasi pipanya di dalam tanah.
- Sambungan umum adalah jenis pelayanan pelanggan sistem air minum perpipaan atau non perpipaan dengan sambungan per kelompok pelanggan dan tingkat pelayanan hanya untuk memenuhi kebutuhan air minum, dengan cara pengambilan oleh masing-masing pelanggan ke pusat penampungan. Besarnya pemakaian air adalah 60 liter/orang/hari.

Tabel 2. 2 Tingkat Kebutuhan Air Domestik

Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (jiwa)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
Konsumsi Unit Sambungan (SR) (liter/orang/hari)	190	170	130	100	80
Konsumsi Unit Hidran (HU) (liter/orang/hari)	30	30	30	30	30
Konsumsi unit non domestik (liter/orang/hari) (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30

Kehilangan Air (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
Faktor Hari Maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Faktor Jam Puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Jumlah Jiwa per SR (jiwa)	5	5	5	5	5
Jumlah Jiwa per HU (jiwa)	100	100	100	100	100
Sisa tekan di penyediaan distribusi (meter)	10	10	10	10	10
Jam Operasi	24	24	24	24	24
Volume Reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
SR : HU	50 : 50 s/d 80 : 20	50 : 50 s/d 80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30
Cakupan Pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	**) 70

*) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

**) 25% perpipaan, 45% non perpipaan

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum, 1996

Tabel 2. 3 Standar Kebutuhan Air Rumah Tangga Berdasarkan Jenis Kota dan Jumlah penduduk

Jumlah Penduduk	Jenis Kota	Jumlah Kebutuhan Air (liter/orang/hari)
>2.000.000	Metropolitan	>210
>1.000.000-2.000.000	Metropolitan	150-210
500.000-1.000.000	Besar	120-150
100.000-500.000	Besar	100-150
20.000-100.000	Sedang	90-100
3.000-20.000	Kecil	60-100

Sumber: SNI 6728.1:2015 (penyusunan neraca spesial sumber daya Alam-bagian 1 : Sumber daya air).

2) Standar Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air bersih non domestik adalah kebutuhan air untuk memenuhi sarana dan prasarana desa, seperti sekolah, masjid, musholla, perkantoran, puskesmas dan peternakan. Namun untuk kategori desa Ditjen Cipta Karya sudah merumuskan besarnya yaitu sebesar 15% sampai dengan 30% dari kebutuhan domestik. Untuk memastikan besaran seperti yang ditetapkan Ditjen

Cipta Karya perlu dilakukan kajian terhadap faktor perkembangan jumlah fasilitas tersebut untuk mengetahui besaran kebutuhan non domestik.

Kebutuhan air bersih di luar kebutuhan rumah merupakan hal yang lumrah untuk kebutuhan air non domestik :

- a. Penggunaan komersial dan industri, yaitu penggunaan air oleh entitas komersial dan industri, adalah contoh kebutuhan air non-domestik.
- b. Air untuk keperluan umum, seperti fasilitas pemerintah, rumah sakit, sekolah, dan tempat ibadah.

Tabel 2. 4 Kebutuhan Air Non Domestik Kota Kategori V (Desa)

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	5	liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
Puskesmas	1200	liter/unit/hari
Masjid	300	liter/unit/hari
Mushola	2000	liter/unit/hari
Pasar	12000	liter/hektar/hari
Komersial/ <i>industry</i>	10	liter/hari

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, 1996

Tabel 2. 5 Klasifikasi dan struktur kebutuhan air

No	Parameter	Metro	Besar	Sedang	Kecil
1	Tingkat pelayanan (target)	100%	100%	100%	100%
2	Tingkat pemakaian air: (liter/orang/perhari) - Sambungan Rumah (SR) - Kran Umum (KU)	190 30	170 30	150 30	130 30
3	Kebutuhan Non Domestik -Industry (liter/detik/hari) *Berat *Sedang *Ringan -Komersial (liter/detik/ha) *Pasar *Hotel (liter/kamar/hari)	0,50- 1,00 0,25- 0,50			

No	Parameter	Metro	Besar	Sedang	Kecil		
	- Lokal - Internasional -Sosial dan industri *Universitas (liter/mahasiswa/hari) *Sekolah (liter/siswa/hari) *Masjid (m ² /hari/unit) *Rumah Sakit (liter/lt/hari) *Puskesmas (m ² /hari/unit) *kantor *Militer (m ² /hari/unit)	0,15- 1,00 400 1.000 20 15 1 s/d 2 400 1 s/d 2 0,0110	15 % s/d 30 % dari kebutuhan domestic				
4	Kebutuhan hari rata-rata	Kebutuhan Domestik + <i>Non</i> Domestik					
5	Kebutuhan hari maksimum	Kebutuhan rata-rata × 1,15 – 1,20 (faktor jam maksimum)					
6	Kebutuhan air - Sistem Baru - Sistem Lama	- 20 % × kebutuhan rata-rata - 30 % s/d 40 % × kebutuhan rata-rata					
7	Kebutuhan jam puncak	Kebutuhan rata-rata × faktor jam puncak (165% s/d 200%)					

Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum, 1996

b) Tingkat Pelayanan

Tingkat pelayanan yang diberikan meningkat sesuai dengan periode perencanaan, hal ini berdasarkan dengan penambahan penduduk dan pertumbuhan pembangunan. Semakin banyak jumlah penduduk di suatu daerah maka permintaan pelayanan air bersih juga semakin meningkat. Tingkat pelayanan dapat berkisar antara 50 - 100 % dari jumlah penduduk administrasi dan disesuaikan dengan target yang telah ditentukan pemerintah dalam kebijaksanaan pengadaan air bersih. Desa Bungur Raya ini mengajukan 104 sambungan langsung/sambungan rumah yang akan menjadi daerah layanan air bersih.

c) Waktu Operasi Sistem

Waktu operasi sistem harus berdasarkan konsep kontinuitas yang berlangsung selama 24 jam dengan keuntungan konsumen terus menerus mendapatkan air dan konsumen akan selalu mendapatkan air yang masih baru.

d) Periode Perencanaan

Penentuan periode perencanaan digunakan untuk mengetahui besar kapasitas sistem yang diperlukan pada suatu jangka waktu. Sesuai dengan standar yang telah ditetapkan maka periode perencanaan adalah 10 tahun.

e) Kehilangan Air

Kehilangan air adalah selisih antara banyaknya air yang disediakan dengan air yang dikonsumsi. Kehilangan air fisik/teknis maksimal 20%, dengan komponen utama penyebab kehilangan atau kebocoran air yaitu kebocoran pada pipa transmisi dan pipa induk, kebocoran dan luapan pada tangki reservoir, kebocoran pada pipa dinas hingga meter pelanggan (Dirjen Cipta Karya Dinas PU, 2000).

Secara umum, kehilangan air atau kebocoran dalam sistem jaringan pipa distribusi air bersih dapat dibedakan menjadi 2 faktor (Dirjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1987) yaitu :

1. Kehilangan air akibat faktor teknis

- Adanya lubang pada pipa khususnya pada sambungan pipa.
- Pipa pada jaringan distribusi tersebut mengalami pecah.
- Pemasangan pipa di rumah konsumen yang kurang baik.

- Meter yang dipasang di konsumen kurang baik.
2. Kehilangan air akibat faktor non teknis
 - Kesalahan membaca meteran air.
 - Kesalahan penulisan hasil pembacaan meteran air.
 - Adanya aliran udara di dalam pipa yang menyebabkan angka yang ditunjukkan meteran air berkurang.

2.2.2 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk

Untuk menentukan berapa tingkat pertambahan penggunaan layanan air bersih yang akan datang, maka diperlukanlah perhitungan laju pertumbuhan penduduk. Berikut perhitungan laju pertumbuhan penduduk Desa Bungur Raya dimana laju pertumbuhan penduduk dihitung dengan persamaan berikut:

1. Pertumbuhan Penduduk

$$K_a = \frac{P_n - P_0}{T_n - T_0} \times 100 \quad (2.1)$$

keterangan:

K_a = pertumbuhan penduduk (jiwa/tahun)

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

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

T_n = tahun pada akhir taun ke-n (tahun)

T_0 = tahun yang ditinjau (tahun)

2. Rasio Pertumbuhan Penduduk

$$r = \frac{\text{jumlah \% pertambahan } n}{T_n - T_0} \quad (2.2)$$

keterangan:

r = angka pertambahan penduduk (%)

T_n = tahun pada akhir tahun ke-n (tahun)

T_0 = tahun yang ditinjau (tahun)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

Dalam menentukan jumlah proyeksi kebutuhan air bersih dapat dilakukan dengan menghitung jumlah angka pertumbuhan penduduk untuk diproyeksikan terhadap kebutuhan air bersih. Prediksi jumlah penduduk dalam periode perencanaan 10 tahun perlu diketahui untuk mengetahui kebutuhan air bersih wilayah perencanaan.

Dengan memperhatikan laju perkembangan jumlah penduduk masa lampau, maka metode statistik merupakan metode yang paling mendekati untuk memperkirakan jumlah penduduk di masa mendatang. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisa perkembangan jumlah penduduk di masa mendatang yaitu :

1. Metode Aritmatik

Pada metode aritmatik ini mengasumsikan bahwasannya pertumbuhan penduduk beberapa tahun yang akan datang akan bertambah dengan jumlah yang sama atau konstan pada setiap tahunnya (Muliakusumah, 2000).

$$P_n = P_o + (I + in) \quad (2.3)$$

dengan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n perencanaan (jiwa).

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun perencanaan (jiwa).

i = ratio angka pertumbuhan tiap tahun (%).

n = periode tahun rencana.

2. Metode Geometri

Metode Geometrik menganggap bahwasannya pertumbuhan penduduk akan otomatis bertambah dengan sendirinya. Penggunaan metode ini didasari dengan pada saat terjadi perkembangan dengan menurun dan setelah itu naik, yang disebabkan oleh padatnya penduduk dengan mendekati jumlah maksimum (Muliakusumah, 2000).

$$P_n = P_o(I + i)^n \quad (2.4)$$

dengan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n perencanaan (jiwa).

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun perencanaan (jiwa).

i = ratio angka pertumbuhan tiap tahun (%).

n = periode tahun rencana.

3. Metode Eksponensial

Pada perhitungan metode eksponensial ini memberikan gambaran pertambahan penduduk yang terjadi dengan jangka panjang dan jangka menengah sedikit demi sedikit (Muliakusumah, 2000).

$$P_n = P_o \cdot e^{r \cdot n} \quad (2.5)$$

dengan:

- P_n = jumlah penduduk pada tahun ke n perencanaan (jiwa).
 P_o = jumlah penduduk pada awal tahun perencanaan (jiwa).
 e = bilangan logaritma natural besarnya sama dengan 2,7182818
 i = ratio angka pertumbuhan tiap tahun (%).
 n = jumlah tahun proyeksi (tahun).

4. Pemilihan Metode Proyeksi Penduduk

Kriteria pemilihan dari ketiga metode di atas berdasarkan uji korelasi sederhana, dimana nilai koefisien (r) yang mendekati 1 atau $r=1$ digunakan.

Tabel 2. 6 Interpretasi Nilai r

No	Besarnya Nilai r	Interpretasi
1.	0,8 – 1,00	Tinggi
2.	0,6 – 0,8	Cukup
3.	0,4 – 0,6	Agak Rendah
4.	0,2 – 0,4	Rendah
5.	0,0 – 0,2	Sangat Rendah (Tak Berkorelasi)

Sumber: Suharsimi Arikunto (2010)

2.2.3 Perkiraan Kebutuhan Air Bersih

(Pratama, 2016) Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam menghitung jumlah kebutuhan air bersih antara lain:

1. Kebutuhan Air Bersih Domestik

Untuk jumlah kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk yang dilayani dikalikan dengan standar kebutuhan air perorang perhari (S), sedangkan jumlah penduduk yang dilayani dapat dihitung dengan jumlah penduduk dikalikan dengan persentase pelayanan yang akan dilayani ($pl\%$), dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_D = JP \times (pl\%) \times S \quad (2.6)$$

dengan:

- q_D = kebutuhan air domestik (liter/orang/hari).
 JP = jumlah penduduk saat ini (jiwa)
 $pl\%$ = prosentase pelayanan yang akan dilayani.
 S = standar kebutuhan air rata-rata.

2. Kebutuhan Air Bersih Non Domestik

Untuk keperluan air non-domestik dihitung dengan cara kebutuhan air domestik dikalikan dengan prosentase kebutuhan air non-domestik. Dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$q_{nD} = (nD\%) \times q_D \quad (2. 7)$$

dengan:

q_{nD} = kebutuhan air non domestik (liter/orang/hari).

$nD\%$ = persentase kebutuhan air non domestik.

q_D = kebutuhan air domestik (liter/orang/hari).

3. Kebutuhan Air Total

Kebutuhan air total adalah kebutuhan air domestik yang ditambahkan dengan kebutuhan air non domestik, dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_T = q_D + q_{nD} \quad (2. 8)$$

dengan:

q_T = kebutuhan air total (liter/hari).

q_D = kebutuhan air domestik (liter/orang/hari).

q_{nD} = kebutuhan air non domestik (liter/orang/hari).

4. Kehilangan dan kebocoran

Kehilangan air akibat kebocoran dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_{HL} = q_T \times (Kt\%) \quad (2. 9)$$

dengan:

q_{HL} = kebocoran atau kehilangan air (liter/hari).

q_T = kebutuhan air total (liter/hari).

$Kt\%$ = persentase kehilangan atau kebocoran.

5. Kebutuhan Air Rata-Rata

Dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q_{RH} = q_T + q_{HL} \quad (2. 10)$$

dengan:

q_{RH} = kebutuhan air rata-rata (liter/hari).

q_T = kebutuhan air total (liter/hari).

q_{HL} = kebocoran atau kehilangan air (liter/hari).

6. Kebutuhan Air Jam Maksimum/Puncak

Kebutuhan air jam maksimum yaitu besar air maksimum yang dibutuhkan pada jam tertentu pada kondisi kebutuhan air maksimum. Didapatkan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$q_m = q_{RH} \times F \quad (2.11)$$

dengan:

q_m = kebutuhan air maksimum (liter/hari).

q_{RH} = kebutuhan air rata-rata (liter/hari).

F = faktor hari maksimum.

2.3.4 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Fluktuasi merupakan variasi perubahan pemakaian atau pemanfaatan air kepada konsumen dengan periodik. Perhitungan fluktuasi kebutuhan air bersih harus sangat diperhatikan karena kapasitas sistem harus memenuhi untuk mengatasi kebutuhan pada hari maksimum ataupun pada jam puncak. Besarnya pemakaian air oleh masyarakat pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih tidaklah berlangsung konstan, namun terjadi fluktuasi antara waktu yang satu dengan waktu yang lain. Dengan memasukkan faktor kehilangan air kedalam kebutuhan dasar, maka selanjutnya disebut sebagai fluktuasi kebutuhan air.

Faktor-faktor yang menyebabkan fluktuasi yang bervariasi cenderung meningkatkan kebutuhan air bersih:

a) Faktor Harian Maksimum (f_m)

Faktor harian maksimum yaitu fluktuasi yang terjadi dari waktu ke waktu dengan periode harian yang bervariasi, namun terdapat satu hari dimana pemakaian akan lebih besar jika dibandingkan dengan hari lainnya dalam kurun waktu satu tahun. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air pada hari maksimum yaitu:

1) Tingkat ekonomi dan kondisi sosial budaya

Dengan bertambahnya kegiatan ekonomi dan sosial budaya masyarakat akan sangat berpengaruh terhadap kebutuhan pemakaian air bersih.

2) Iklim

Iklim berpengaruh terhadap fluktuasi pemakaian air. Pada saat musim kemarau atau pada daerah yang beriklim tropis memerlukan kebutuhan air yang lebih banyak jika dibandingkan dengan wilayah yang beriklim dingin.

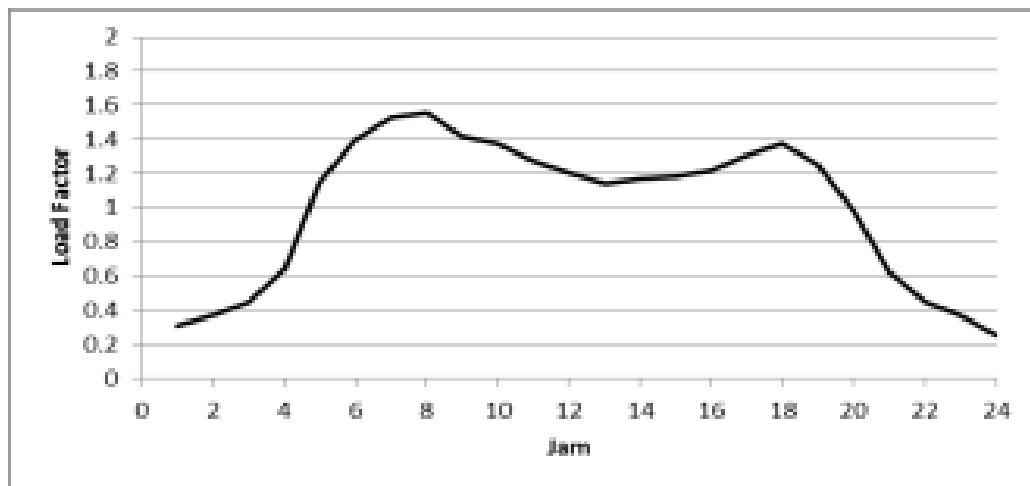
3) Hari libur/hari besar

Pada hari libur/hari besar orang cenderung biasanya berkumpul, sehingga pemakaian air pada hari tersebut akan meningkat.

b) Faktor Jam Puncak (fp)

Faktor jam puncak yaitu pemakaian air tertinggi pada jam-jam tertentu selama periode satu hari. Pada jam-jam tertentu didalam satu hari, pagi atau sore pemakaian air akan memuncak lebih besar dari pada kebutuhan air.

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



Gambar 2. 1 Grafik Fluktuasi Pemakaian Air Bersih Harian

Sumber: Dirjen Cipta Karya Departemen PU, 2004

Berdasarkan grafik fluktuasi pemakaian air bersih harian dari Dirjen Cipta Karya Departemen PU, maka didapatkan nilai *load factor* sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Faktor Pengali (*Load Factor*) Terhadap Kebutuhan Air Bersih

Jam	<i>Load Factor</i>	Jam	<i>Load Factor</i>	Jam	<i>Load Factor</i>	Jam	<i>Load Factor</i>
1	0.31	7	1.53	13	1.14	19	1.25
2	0.37	8	1.56	14	1.17	20	0.98
3	0.45	9	1.42	15	1.18	21	0.62
4	0.64	10	1.38	16	1.22	22	0.45
5	1.15	11	1.27	17	1.31	23	0.37
6	1.4	12	1.2	18	1.38	24	0.25

Sumber: Dirjen Cipta Karya Departemen PU, 2004

Berdasarkan grafik dan faktor pengali diatas, masyarakat Indonesia lebih cenderung menggunakan air pada pagi hari dan sore hari, sehingga tingkat pelayanan air pada jam tersebut meningkat. Oleh karena itu, diperlukan adanya kriteria tingkat kebutuhan yang digunakan dalam upaya untuk pemenuhan kebutuhan per satu harinya. Berikut adalah beberapa kriteria tingkat kebutuhan air masyarakat:

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

Kebutuhan harian maksimum dan jam puncak diperlukan dalam perhitungan besarnya kebutuhan air bersih, karena hal ini menyangkut kebutuhan pada hari-hari tertentu dan pada jam puncak pelayanan. Sehingga penting mempertimbangkan nilai koefisien untuk keperluan tersebut. Pendekatan angka koefisien yang biasa digunakan dalam perhitungan kebutuhan harian dan jam puncak adalah:

- Kebutuhan harian maksimum = 1,15 x kebutuhan air rata-rata.
- Kebutuhan jam puncak = 1,56 x kebutuhan air maksimum.

2.3 Sistem Distribusi Air Bersih

Sistem distribusi adalah sistem yang langsung berhubungan dengan konsumen, yang mempunyai fungsi pokok mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan. Sistem ini terdiri dari reservoir dan pipa distribusi.

Tugas pokok sistem distribusi air bersih adalah menghantarkan air bersih kepada para pelanggan yang akan dilayani, dengan tetap memperhatikan faktor kualitas, kuantitas dan tekanan air sesuai dengan perencanaan awal. Faktor yang diharapkan oleh para pelanggan adalah ketersediaan air setiap waktu.

Kriteria teknis yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sistem distribusi air bersih adalah sebagai berikut:

1. Daerah layanan, jumlah penduduk, dan fasilitas yang akan dilayani.
2. Debit air yang disediakan harus memenuhi distribusi daerah pelayanan.
3. Kondisi topografi daerah layanan untuk menentukan pola jaringan dan sistem aliran yang sesuai.

2.3.1 Perlengkapan Sistem Distribusi Air

1. Reservoir

Reservoir adalah suatu tempat yang dapat menampung air sebelum selanjutnya dilakukan proses pendistribusian kepada daerah pelayanan. Pada umumnya bangunan reservoir biasanya ditempatkan didekat dengan jaringan distribusi air pada ketinggian yang cukup, hal tersebut bertujuan supaya dapat mengalirkan air dengan baik dan merata ke seluruh masyarakat yang membutuhkan.

Reservoir mempunyai fungsi yang sangat penting bagi sistem penyediaan air bersih di suatu daerah. Perbedaan kapasitas pada jaringan transmisi jaringan yang menggunakan kebutuhan maksimum per hari dengan kebutuhan pada jam puncak untuk sistem distribusi, menyebabkan dibutuhkan reservoir. Saat pemakaian air berada di bawah rata-rata, reservoir akan menampung kelebihan air untuk digunakan saat pemakaian maksimum.

Berikut fungsi lain dari reservoir:

1. Memberikan tambahan tekanan air di jaringan pipa distribusi yaitu khususnya bagi reservoir yang memiliki bentuk menara.
2. Menjadikan tekanan air di jaringan pipa distribusi menjadi lebih stabil.
3. Menjadi tempat untuk menampung persediaan air disaat dalam keadaan darurat.
4. Bisa menjadi tempat untuk mencampur air dengan larutan kimia, khususnya pada pembubuhan disinfektan. Di mana pencampuran bahan kimia ini

dilakukan di dalam reservoir supaya pencampuran tersebut lebih merata, selain itu, dengan durasi pencampuran yang lebih lama, maka hal tersebut diharapkan bisa mengurangi sisa zat klor yang berlebih.

5. Bisa menjadi tempat untuk mengendapkan pasir ataupun kotoran-kotoran lain yang mungkin masih terbawa oleh air yang berasal dari instalasi pengolahan ataupun dari sumur dalam.
6. Diharapkan mampu menghemat pemakaian energi listrik, apabila reservoir diisi dengan menggunakan pompa, yaitu ketika proses pemompaan pada reservoir dapat dijalankan dengan lebih merata.

Berdasarkan lokasinya reservoir dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- a. *Ground Reservoir* adalah bangunan penampung air di bawah permukaan tanah.
- b. *Elevated Reservoir* adalah bangunan penampung air di atas permukaan tanah dengan ketinggian tertentu sehingga air pada titik terjauh masih tercapai.

2. Bahan Pipa

Bahan yang sering digunakan dalam merencanakan jaringan distribusi adalah pipa. Pipa yang digunakan untuk mengalirkan air bersih dibagi dalam beberapa jenis, yaitu:

- a. Pipa Galvanis

Pipa ini terbuat dari campuran seng (Zn) dengan timah (Pb) dan pada bagian luar dilapisi dengan lapisan timah untuk mencegah karat.



Gambar 2. 2 Pipa Galvanis

b. Pipa Baja

Pipa ini dibuat dengan dinding yang tipis sehingga menghasilkan pipa yang relatif ringan dan bermutu tinggi.



Gambar 2. 3 Pipa Baja

Sumber: (Wibowo & Setianingrum, 2017)

c. Pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*)

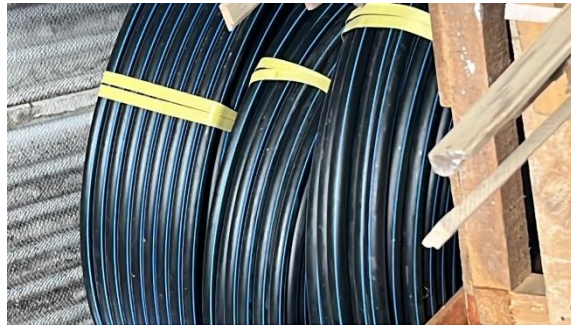
Pipa ini terbuat dari butir-butir *Poly Vinyl Chloride* yang dicampur dengan bahan tambah sampai dengan 6% dan dipanaskan.



Gambar 2. 4 Pipa PVC

d. Pipa HDPE

Pipa dengan daya lentur yang tinggi luar dan dalam permukaan pipa, serta dapat digunakan di daerah berbukit, rawan gempa, dan daerah rawa.



Gambar 2. 5 Pipa HDPE

3. Meter Air

Meter air berfungsi untuk mengukur besar aliran yang melalui suatu pipa.

4. *Flow restrictor*

Flow restrictor berfungsi untuk pembatas air baik untuk rumah maupun kran umum agar aliran merata.

5. Alat Sambung

Macam-macam alat sambung yang dapat digunakan dalam perencanaan jaringan pipa distribusi, yaitu:

- a. *Tee*, berfungsi untuk mengalirkan air dengan cara menyilang.
- b. *Elbow*, digunakan untuk arah berbingkai atau lingkaran.
- c. *Socket*, berfungsi untuk penyambung dua pipa yang berdiameter sama.
- d. *Valve*, berfungsi menutup, membuka aliran dan mengontrol tekanan aliran.
- e. *Reducer*, berfungsi untuk menyambung dua pipa yang berdiameter berbeda.

2.3.2 Jaringan Perpipaan Air Bersih

Sistem jaringan perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakan pompa (Triatmodjo, 1993).

Adapun komponen sistem jaringan perpipaan air bersih sebagai berikut:

- Sistem sumber terdiri dari sistem pengambilan air bersih. Dalam sistem ini ada beberapa macam sumber penyediaan air bersih diantaranya air hujan, air permukaan dan air tanah.
- Sistem transmisi merupakan suatu sistem perpipaan yang mengalirkan air dari bangunan penyadap air baku ke bangunan pengolahan air sampai *reservoir* distribusi.
- Sistem distribusi merupakan sistem perpipaan yang mengalirkan air dari *reservoir* sampai ke konsumen.

Pipa distribusi air dalam sistem penyediaan air bersih bertujuan untuk mengalirkan air bersih dari sumbernya kepada penduduk. Pipa distribusi biasanya terdiri dari beberapa jenis, antara lain:

1. Pipa utama merupakan pipa distribusi yang menghubungkan blok-blok pelayanan dalam area yang dilayani, dimulai dari *reservoir* ke seluruh jaringan. Pipa ini tidak dapat dipakai untuk melayani penyadapan (*tapping*) ke konsumen. Jenis pipa yang digunakan harus mempunyai ketahanan tinggi terhadap tekanan.
2. Pipa distribusi dipakai untuk menyadap air langsung dari pipa utama untuk mengalirkan ke suatu blok pelayanan. Jenis pipa yang digunakan sebaiknya memiliki kualitas yang relatif sama dengan pipa utama. Pipa distribusi terhubung secara langsung dengan pipa servis dan diameternya dapat ditentukan berdasarkan banyaknya pipa servis yang terhubung dengan pipa distribusi tersebut.
3. Pipa dinas adalah pipa yang langsung melayani penduduk. Pipa dinas membawa air dari pipa cabang ke rumah-rumah atau bangunan. Pipa ini

memiliki ukuran yang lebih kecil dan dirancang untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari.

4. Pipa pelayanan (*Service Pipe*) adalah Pipa yang menghubungkan pipa dinas dengan meter air di rumah atau bangunan. Ini adalah pipa terakhir dalam sistem distribusi yang mengalirkan air langsung kepada penduduk.
5. Pipa penghubung (*Connector Pipe*) adalah Pipa yang digunakan untuk menghubungkan pipa-pipa lainnya dalam sistem distribusi, membantu menjaga kesinambungan aliran air.

Adapun standar tebal pipa distribusi yang akan digunakan dalam sistem distribusi air bersih dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2. 8 Tebal Pipa HDPE

ND (inch)	OD (mm)	PN-16 (mm)	PN-12,5 (mm)	PN-10 (mm)	PN-8 (mm)	PN-6,3 (mm)
1/2"	20	1,9	-	-	-	-
3/4"	25	2,3	-	-	-	-
1"	32	2,9	-	-	-	-
1-1/4"	40	3,7	-	2,4	-	-
1-1/2"	50	4,6	3,7	3,0	-	-
2"	63	5,8	4,7	3,8	-	-
2-1/2"	75	6,8	5,5	4,5	3,6	-
3"	90	8,2	6,6	5,4	4,3	3,5
4"	110	10,0	8,1	6,6	5,3	4,3
5"	125	11,4	9,2	7,4	6,0	4,8
5"	140	12,7	10,3	8,3	6,7	5,4

Sumber: SNI 06-4829-2005

Adapun kriteria jaringan pipa distribusi yang akan digunakan dalam sistem distribusi air bersih dapat dilihat pada tabel 2.11 berikut ini.

Tabel 2.9 Kriteria Pipa Distribusi Air Bersih

Kriteria	Perubahan
Kecepatan (<i>Velocity</i>) (0,3 – 4,5 m/dt)	Kecepatan kurang dari 0,3m/dt
	a. Diameter pipa diperkecil
	b. Ditambahkan pompa
	c. Elevasi hulu pipa hendaknya lebih tinggi (disesuaikan di lapangan)
	Kecepatan lebih dari 4,5 m/dt
	a. Diameter pipa diperbesar

Kriteria	Perubahan
	b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir
Headloss Gradient (0 – 15 m/km)	- Headloss Gradient lebih dari 15 m/km a. Diameter pipa diperbesar b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir pipa
Tekanan (Pressure) (0,5 – 8 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 8 atm a. Diameter diperkecil b. Ditambahkan bangunan bak pelepas tekan c. Pemasangan Pressure Reducer Valve (PRV)

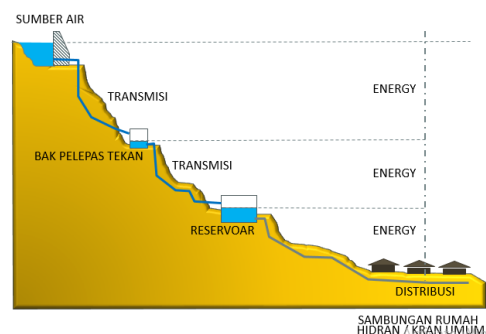
Sumber: PERMENPU No.18, 2007

2.3.3 Sistem Pengaliran Distribusi Air

Sistem pengaliran tergantung dan kondisi topografi daerah dan lokasi *reservoir*. Berikut sistem pengaliran distribusi air bersih:

a. Sistem Gravitasi

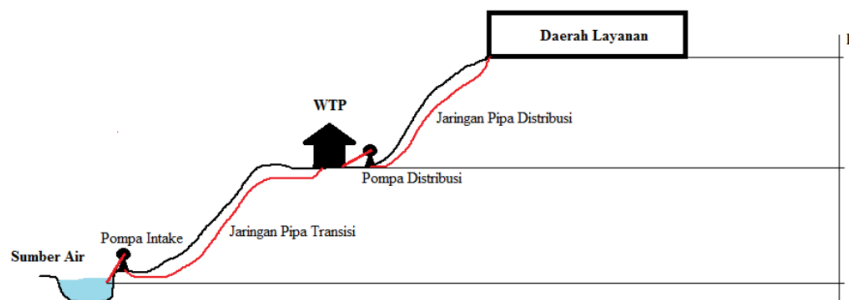
Sistem Gravitasi dapat diaplikasikan jika sumber penyediaan air berada di tempat yang lebih tinggi dari daerah yang akan didistribusikan sehingga pengaruh tekanannya dapat memenuhi keperluan untuk domestik dan non domestik. Metode ini paling baik pengalirannya jika dari sumber penyediaan air ke tempat pelayanan memungkinkan menggunakan pipa berukuran seekonomis mungkin dan pengalirannya dengan lancar dan baik.



Gambar 2. 6 Sistem pengaliran gravitasi
Sumber: Pandu Krishna, 2021

b. Sistem Pemompaan

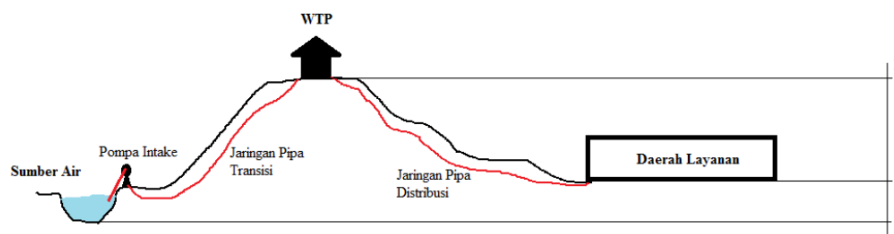
Sistem ini membutuhkan pompa untuk menaikkan/mengalirkan air ke arah elevasi lebih tinggi karena letak reservoir yang lebih rendah dari daerah layanan. Sistem ini cukup ekonomis karena memompa airnya tidak berlangsung secara terus-menerus. Air yang dipompa akan mengalir ke seluruh reservoir, jika kebutuhan air memuncak maka air yang berada dalam reservoir akan mengalir kedaerah pelayanan.



Gambar 2. 7 Sistem pengaliran pemompaan
Sumber: Pandu Krishna, 2021

c. Sistem Pengaliran Gabungan

Sistem ini menggabungkan sistem gravitasi dan sistem pemompaan.



Gambar 2. 8 Sistem pengaliran gabungan
Sumber: Pandu Krishna, 2021

Adapun syarat dalam menentukan sistem distribusi air bersih dapat dilihat dalam Tabel 2. 10:

Tabel 2. 10 Persyaratan dalam menentukan Sistem Distribusi Air Bersih

No	Beda tinggi antara Sumber air dan daerah pelayanan	Jarak	Penilaian
1	Lebih besar dari 30 m	< 2 km	Baik, sistem gravitasi
2	>10 – 30 m	< 1 km	Berpotensi, tapi detail design rinci diperlukan untuk sistem

No	Beda tinggi antara Sumber air dan daerah pelayanan	Jarak	Penilaian
			gravitasi, pipa diameter besar mungkin diperlukan.
3	$3 - \leq 10$ m	$< 0,2$ km	Kemungkinan diperlukan pompa kecuali untuk sistem yang sangat kecil.
4	Lebih besar dari 3 m		Diperlukan pompa

2.3.4 Pola Sistem Jaringan Distribusi Air

1. Sistem Jaringan Bercabang (*Branch System*)

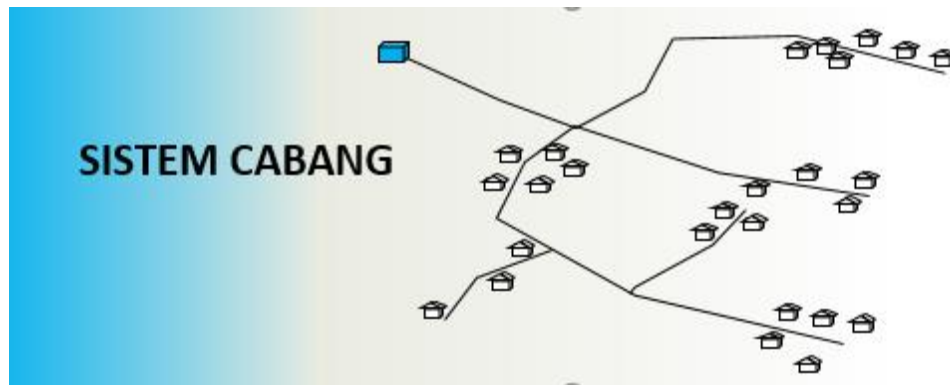
Pada sistem ini ujung pipa cabang dari pipa utama biasanya tertutup sehingga menyebabkan tertutupnya kotoran yang mengganggu pendistribusian air.

a. Keuntungan sistem bercabang:

- Sangat baik untuk area menurun.
- Cukup ekonomis karena jalurnya relatif lebih pendek sehingga pipa yang dibutuhkan lebih sedikit.
- Tekanan air cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengaliran air.
- Mudah dalam operasi karena adanya titik mati kotoran yang terbawa selama pengaliran dapat dibuat pada titik akhir pengaliran
- Mudah dalam perbaikan. Bila ada kerusakan pada titik tertentu untuk melakukan perbaikan cukup menutup aliran dititik di atasnya dan perbaikan dapat dilakukan.

b. Kerugian sistem bercabang:

- Bila aliran terputus, misalnya karena ada kerusakan pada suatu titik otomatis titik yang ada dibawahnya akan terganggu selama perbaikan.
- Tidak bisa melayani peningkatan kebutuhan atau lonjakan kebutuhan air secara tiba-tiba karena tidak ada aliran dari daerah lain.



Gambar 2. 9 Sistem Jaringan Bercabang
Sumber: Pandu Krishna, 2021

2. Sistem Jaringan Melingkar (*Grid System/Loop*)

Sistem *loop* ini biasa disebut dengan sistem distribusi tertutup sehingga pada saat jam puncak seluruh daerah pelayanan dapat dilayani dengan cepat. Biasanya sistem jaringan ini diaplikasikan untuk wilayah yang relatif datar. Sirkulasi air lebih baik dan pembagian air terbagi merata karena perencanaan diameter pipa berdasarkan jumlah kebutuhan air total.

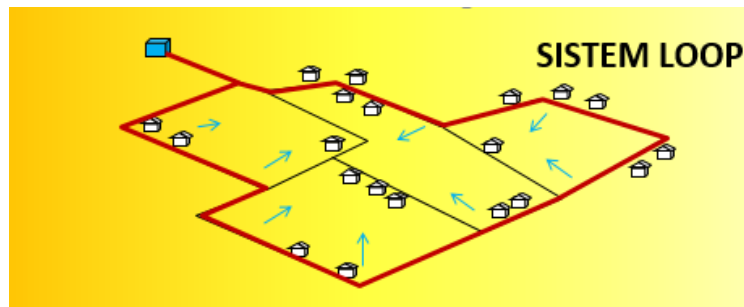
Pada sistem ini ujung-ujung pipa cabang disambungkan satu sama lain, sistem ini lebih baik dari sistem pipa bercabang karena sirkulasinya lebih baik dan kecil kemungkinan aliran menjadi tertutup atau stagnasi.

a. Keuntungan sistem melingkar :

- Sirkulasi airnya baik.
- Pipa sulit tersumbat apabila terdapat kotoran karena air di dalam pipa terus mengalir dan selalu terjadi pergantian air.

b. Kerugian sistem melingkar :

- Dalam pelaksanaannya cukup sulit karena pada ujung sambungan terdapat dua sambungan yang terbuka ataupun berbalik arah.
- Kurang begitu ekonomis karena terlalu banyak sambungan, contohnya seperti sambungan *elbow*, *tee*, dan lain-lain.



Gambar 2. 10 Sistem Jaringan Melingkar
Sumber: Pandu Krishna, 2021

3. Sistem Jaringan *Grid*

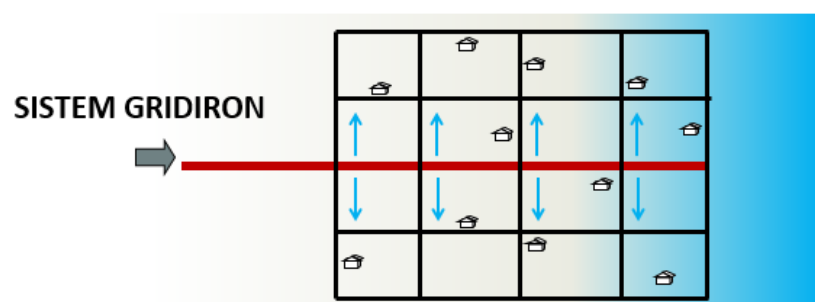
Pada sistem ini ujung-ujung pipa cabang disambungkan satu sama lain, sistem ini lebih baik dari sistem pipa bercabang karena sirkulasinya lebih baik dan kecil kemungkinan aliran menjadi tertutup atau stagnasi.

1. Keuntungan Sistem Grid

- Sirkulasi airnya baik.
- Pipa sulit tersumbat apabila terdapat kotoran karena air di dalam pipa terus mengalir dan selalu terjadi pergantian air sehingga sulit terjadi pengendapan.

2. Kerugian Sistem Grid

- Dalam pelaksanaannya cukup sulit karena pada ujung sambungan terdapat dua sambungan yang terbuka ataupun berbalik arah.
- Kurang begitu ekonomis karena terlalu banyak sambungan, contohnya seperti sambungan elbow, tee, dan lain-lain.



Gambar 2. 11 Sistem Jaringan *Gridion*
Sumber: Pandu Krishna, 2021

2.3.5 Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa Primer

Hidrolika adalah bagian dari hidromekanika yang berhubungan dengan gerak air. Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang perilaku air yang ditelaan harus terukur secara fisik. Perilaku yang dimaksud adalah hubungan antara debit

air mengalir didalam pipa yang dikaitkan dengan diameter pipa sehingga diketahui gejala seperti tekanan, kehilangan energi dan gaya lainnya. Fluida dalam pipa dianggap memiliki kecepatan yang konstan apabila melewati pipa dengan diameter yang sama. Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil. Aliran tersebut memiliki tiga macam energi yang bekerja di dalamnya, yaitu (Priyantoro, 1991, p.5):

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

1. Hukum Bernoulli

Prinsip dari hukum Bernoulli adalah air yang mengalir pada pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi yang besar ke tempat yang memiliki energi lebih kecil.

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

$$E_{Tot} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan} \quad (2.12)$$

$$E_{Tot} = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \quad (2.13)$$

keterangan:

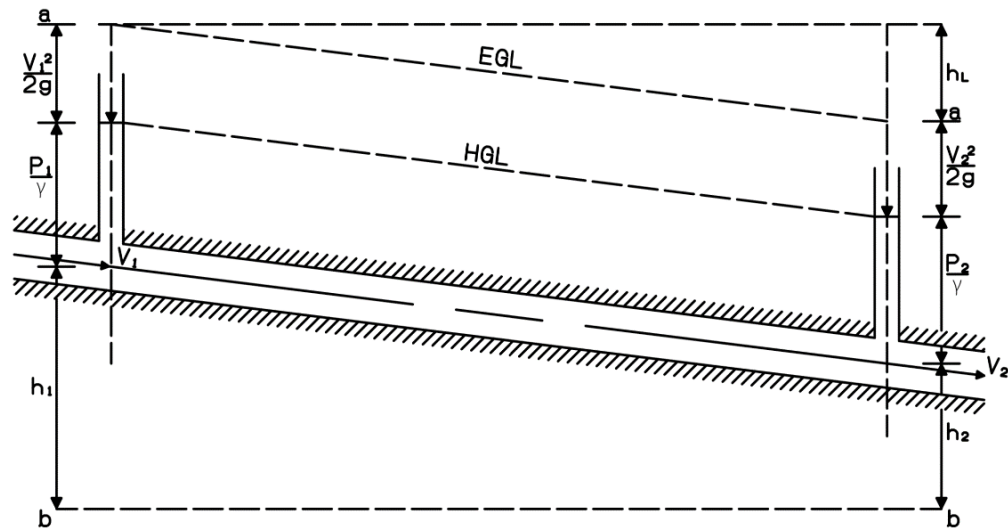
P = tekanan (kg/m²)

γ_w = berat jenis air (kg/m³)

V = kecepatan aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

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 2.12 berikut.



Gambar 2. 12 Diagram Energi dan Garis Tekanan
Sumber: Priyantoro, 1991

EGL (*Energy Grade Line*) menggambarkan tinggi *head total*, tinggi EGL adalah konstan untuk aliran tanpa gesekan. Ketika tidak ada kerja yang terjadi oleh aliran fluida. HGL (*Hydraulic Grade Line*) menunjukkan tingginya *head elevasi* dan *head static*. Dalam praktik nyata, hukum Bernoulli sering kali melibatkan faktor-faktor non-ideal seperti gesekan di dalam pipa atau perubahan bentuk aliran yang menyebabkan kehilangan energi (*head loss*). Faktor ini perlu diperhitungkan untuk mendapatkan gambaran yang lebih realistis mengenai aliran fluida di dunia nyata.

Adapun persamaan Bernoulli dalam gambar di atas dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991):

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (2.14)$$

keterangan:

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

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

p_1, p_2 = tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m²)

γ_w = berat jenis air (kg/m³)

v_1, v_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

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

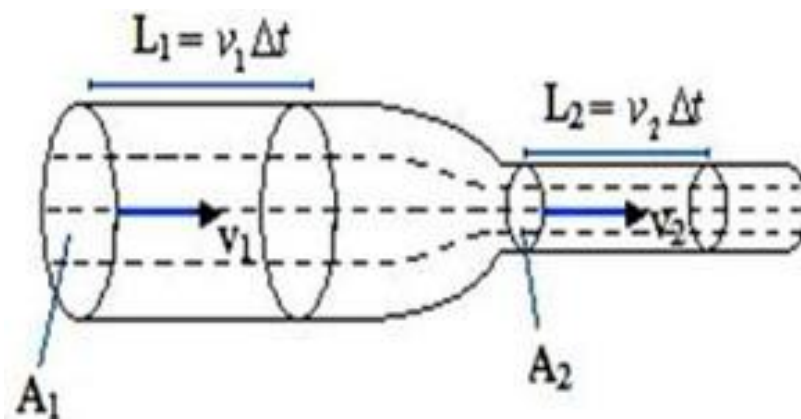
h_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

Tampak garis yang menunjukkan besarnya tekanan air pada penampang tinjauan yang dinamakan garis gradien hidrolik atau garis kemiringan hidrolik. Jarak vertikal antara pipa dengan garis gradien hidrolik menunjukkan tekanan yang terjadi dalam pipa. Pada gambar juga terlihat ada perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2. Perbedaan ketinggian ini menyebabkan adanya kehilangan energi (*head loss*) yang terjadi sepanjang penampang 1 dan 2. *Head loss* biasanya disebabkan oleh berbagai faktor seperti gesekan di dalam pipa, perubahan penampang aliran, atau turbulensi. Kehilangan energi ini menunjukkan bahwa sebagian energi potensial atau kinetik air hilang saat air mengalir dari titik 1 ke titik 2, dan besar kecilnya *head loss* tersebut dapat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kekasaran permukaan pipa, dan jarak yang ditempuh oleh aliran air.

2. Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa mempunyai debit yang sama di setiap penampangnya. Persamaan hukum kontinuitas menyatakan bahwa debit yang masuk ke pipa sama dengan debit yang keluar dari pipa. Hukum kontinuitas tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut (Priyantoro, 1991):

Hal ini ditunjukkan dengan Gambar 2.13 berikut:



Gambar 2. 13 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda
Sumber: Linsley, 1996

Hubungan antara Hukum Kontinuitas dengan ketiga bagan pada Gambar 2.23 dapat ditunjukkan dengan dua persamaan berikut (Priyantoro, 1991):

$$Q_{masuk} = Q_{keluar} \quad (2.15)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.16)$$

keterangan:

Q = debit yang mengalir (m³/det)

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan (m/det)

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

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2.17)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3 \quad (2.18)$$

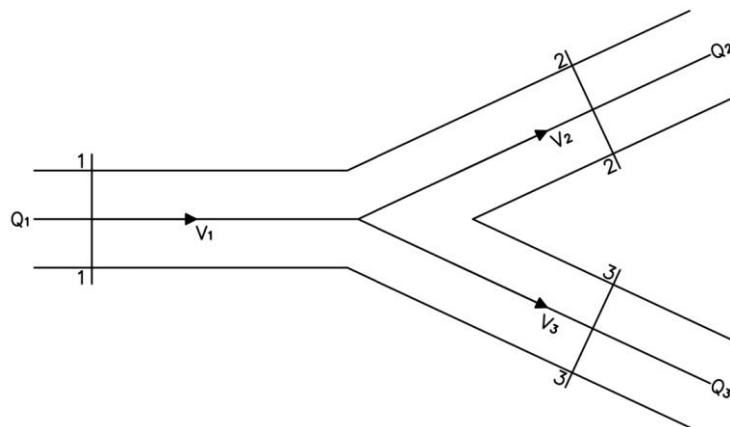
keterangan:

Q = debit yang mengalir (m³/det)

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan (m/det)

Pada jaringan distribusi air bersih, pipa adalah komponen yang utama. Pipa memiliki fungsi sebagai media mengalirkan zat cair dari suatu titik simpul ke titik simpul yang lainnya. Aliran dalam pipa timbul apabila terjadi perbedaan tekanan pada dua tempat yang bisa terjadi karena ada perbedaan antara elevasi muka air atau digunakannya pompa.



Gambar 2.14 Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang
Sumber: Linsley, 1996

3. Kecepatan Aliran

Setelah debit desain diketahui, diameter pipa diasumsikan sedemikian rupa sehingga kecepatan aliran dalam pipa harus tetap antara 0,3 – 4,5 m/s. Kecepatan aliran dalam pipa berbeda-beda tergantung jenis pipa yang digunakan, hal ini juga

akan disesuaikan dengan kondisi kemiringan lahan maupun adanya penambahan tekanan dari adanya pemompaan. Kecepatan tidak boleh terlalu kecil, sebab dapat menyebabkan endapan dalam pipa tidak terdorong, selain itu juga diameter pipa jadi berkurang karena adanya endapan dan akan membebani biaya perawatan. Sebaliknya, apabila kecepatan aliran terlalu tinggi, maka akan berakibat korosi pada pipa dan juga menambah nilai *head loss* yang berakibat elevasi reservoirnya harus tinggi. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 1993).

$$Q = A \cdot V \quad (2.19)$$

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot V \quad (2.20)$$

keterangan:

Q = debit yang mengalir (m³/det)

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan (m/det)

4. Tekanan Air Jaringan Pipa

Dalam pendistribusian air, untuk dapat menjangkau seluruh area pelayanan dan untuk memaksimalkan tingkat pelayanan, maka hal wajib yang harus diperhatikan adalah sisa tekanan air.

Untuk menghitung tekanan air jaringan pipa dapat menggunakan rumus:

$$P = \rho \times g \times H \quad (2.21)$$

keterangan:

P = tekanan Air (N/m²)

G = percepatan gravitasi

H = kedalaman atau tinggi kolom fluida (m)

5. Kehilangan Tinggi Tekan (*Headloss*)

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

a) Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Kehilangan energi mayor disebabkan oleh gesekan atau friksi dengan pipa. Kehilangan energi oleh gesekan disebabkan karena air yang

mempunyai kekentalan dan dinding pipa tidak licin sempurna. Pada dinding yang mendekati licin sempurna, masih pula terjadi kehilangan energi walaupun sangat kecil. Jika dinding licin sempurna, maka tidak ada kehilangan energi yaitu saat diameter kekasaran nol.

Ada beberapa faktor teori dan formula untuk menghitung kehilangan tinggi tekan mayor ini dengan menggunakan *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach*, *Manning*, *Chezy*. Namun dalam studi ini menggunakan 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 kecil. Dengan demikian, penggunaan persamaan *Hazen-Williams* dalam penelitian ini tidak hanya mempercepat proses perhitungan tetapi juga mengurangi potensi kesalahan, terutama dalam penentuan nilai kekasaran pipa. Ini membuat metode ini sangat ideal untuk aplikasi dalam skala praktis, terutama dalam perencanaan dan desain sistem distribusi air bersih. Adapun rumus persamaan *Hazen-Williams* adalah sebagai berikut (Priantoro, 1991):

$$Q = 0.354 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2. 22)$$

$$V = 0.354 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2. 23)$$

dengan:

V = kecepatan aliran pada pipa (m/det)

C_{hw} = koefisien kekasaran pipa *Hazen-Williams* (Tabel 2.11)

A = luas penampang aliran (m²)

Q = debit aliran pada pipa (m³/det)

S = kemiringan hidraulis

$$= \frac{hf}{L}$$

R = jari-jari hidrolis (m)

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

$$= d/4$$

Persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut *Hazen-Williams*:

$$H_f = k \cdot Q^{1,85} \quad (2.24)$$

$$k = \frac{10,675 \cdot L}{C_{hw}^{185} D^{4,87}} \quad (2.25)$$

dengan:

H_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

K = koefisien karakteristik pipa

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

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

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

Tabel 2. 11 Nilai koefisien *Hazen-Williams* setiap jenis pipa

Nilai C_{hw}	Jenis Pipa
120	Asbes cement (ACP)
120	U-PVC
130	PE
110	Ductile (DCIP)
110	Besi tuang (CIP)
110	GIP
110	Baja
120	Pre-stress Concrete (PSC)

Sumber: SNI 7609, 2011

b) 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, kehilangan tinggi tekan minor tidak boleh diabaikan karena nilainya cukup berpengaruh (Priyantoro, 1991). Kehilangan minor pada umumnya akan lebih besar bila terjadi perlambatan kecepatan aliran di dalam pipa dibandingkan peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa (Linsley et al., 1986).

2.3.6 Simulasi Sistem Distribusi dengan Program Epanet 2.0

Setelah jaringan selesai didesain, maka dapat dilakukan proses simulasi dengan perangkat lunak (*software*) komputer. Software komputer yang dapat digunakan untuk simulasi hidrolis jaringan air bersih ada bermacam-macam, seperti Epanet, WaterCad, WaterNet, dan sebagainya. Program komputer yang dipakai untuk simulasi hidrolis dalam skripsi ini adalah Epanet 2.0.

EPANET 2.0 ialah program komputer *open source* produksi US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) yang dapat menggambarkan simulasi hidrolis jaringan pipa distribusi air bersih. Jaringan dalam Epanet terdiri dari pipa, *node* (titik koneksi pipa), katup, pompa dan tangki air (*Reservoir*). EPANET 2.0 adalah aplikasi analisis hidrolis yang memiliki kemampuan seperti:

1. Tidak terbatasnya jumlah jaringan yang dianalisa.
2. Termasuk *minor losses* untuk *bend*, *fitting* dan lain - lain.
3. Model dapat menggunakan pompa dengan kecepatan konstan dan bervariasi.
4. Menghitung *Headloss* akibat gesekan dengan menggunakan persamaan *Hazen Willams*, *Darcy Weisbach* atau *Chezy Manning*.
5. Menghitung energi dan biaya pemompaan.
6. Memodelkan macam-macam *valve* termasuk *shutoff*, *check*, *pressure regulating* dan *flow control valves*.
7. Menyediakan tangki penyimpanan yang memiliki berbagai bentuk (diameter dan tinggi dapat bervariasi).
8. Dapat memenuhi variasi kebutuhan pada tiap node sesuai dengan pola dari variasi waktu.
9. Sistem operasi dapat didasarkan pada kontrol waktu sederhana atau kontrol yang kompleks.

Adapun data yang harus di input sebelum menjalankan simulasi dengan Epanet 2.0 sebagai berikut:

a. Data *Input*

Jaringan air bersih dalam Epanet digambarkan dalam bentuk *node* (titik pertemuan pipa) dan *link* (penghubung antar *node*). Untuk menggambarkan jaringan air bersih diperlukan data-data input seperti elevasi dan *base demand* pada *node*, serta diameter, panjang pipa, dan *pipe roughness coefficient* pada

pipe. Selain itu, satuan aliran (*unit flow*) perlu disesuaikan dengan satuan yang digunakan (dalam skripsi ini digunakan satuan l/det atau LPS).

Selain itu, dipilih juga persamaan yang digunakan untuk menghitung *headloss* pada jaringan. Persamaan-persamaan yang dapat dipilih dalam simulasi hidrolis adalah Hazen-William (H-W), Darcy-Weisbach (D-W), dan Chezy-Manning (C-M). Metode yang dipilih dalam skripsi ini adalah Metode Hazen-Williams (H-W). Jaringan pipa distribusi harus digambar dengan lengkap untuk mendapatkan simulasi yang kondisinya semakin mendekati sesungguhnya. Selain *node* dan *link*, parameter pompa dan *valve* juga sebaiknya digambarkan, dan diisi parameternya sesuai dengan keadaan rencana.

b. Data Output

Setelah jaringan pipa digambar dengan mendekati kondisi sebenarnya, serta dipilih persamaan yang digunakan untuk analisa, Epanet dapat menjalankan *running* analisa hidrolis terhadap jaringan. Hasil dari *running* tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik parameter hidrolis. Parameter penting yang perlu diperhatikan dalam sistem distribusi air bersih adalah nilai sisa tekanan (*pressure*) yang berada pada *junction*, dan *velocity* yang berada pada *pipe*.

Sisa *head* air pada suatu *junction* dapat berubah-ubah dipengaruhi oleh besarnya energi dari sumber awal. Kriteria *pressure* di setiap *junction* sebaiknya lebih dari 10 meter. Apabila *pressure* kurang dari 10 meter, air bersih dikhawatirkan tidak dapat menjangkau seluruh area pelayanan. *Head* air dalam pipa semakin kecil karena adanya *friction energy* (penurunan energi karena adanya gesekan) antara air dengan pipa.

2.4 Tarif Air Yang Harus Dibebankan Kepada Pengguna

Pemenuhan air bersih harus menjangkau semua daerah di Indonesia, perkotaan dan pedesaan. Masyarakat perkotaan mendapatkan layanan air bersih melalui Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Namun ada beberapa wilayah yang tidak dapat dijangkau oleh PDAM. Maka dari itu untuk mengatasi permasalahan tersebut, beberapa lokasi perlu dilakukan pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Pedesaan oleh pemerintah.

Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Bidang Sumber daya Air Kabupaten Pangandaran, berusaha merencanakan dan memfasilitasi Desa Bungurrraya dalam menyediakan pelayanan air bersih. Untuk dapat menjalankannya, maka diperlukanlah biaya operasional total yang baik dan dapat digunakan untuk meningkatkan fasilitas pelayanan bagi penerima manfaat di Desa Bungurrraya.

Menurut Kepala Bidang Sumber Daya Air Kabupaten Pangandaran, penetapan harga air ini direncanakan dengan menggunakan standar perhitungan PAMSIMAS, namun tetap harus melalui musyawarah yang disepakati masyarakat Desa Bungurrraya untuk selanjutnya ditetapkan dengan Surat Keputusan Kepala Desa/Peraturan Desa. Sistem penentuan tarif ini dipertimbangkan antara sama rata untuk semua pelanggan atau tergantung pemakaian air pada water meter.

Beberapa parameter iuran yang direncanakan dan diterapkan dengan baik antara lain:

1. Mampu memenuhi seluruh kebutuhan Biaya Operasional dan Pemeliharaan SPAM terbangun.
2. Keberfungsian cenderung selalu baik dan terjaga karena adanya biaya pemeliharaan dari iuran.
3. Penggantian item yang menyusut dari tahun ke tahun bisa terjamin.
4. Adanya peningkatan pengembangan layanan yang bisa diukur secara berkala.

Perhitungan tarif setting dalam perencanaan ini dilakukan menggunakan standar perhitungan PAMSIMAS.

- Besarnya penyusutan alat:

$$\frac{\text{Biaya Pembuatan}}{\text{Umur Fungsi}} \quad (2.26)$$

- Biaya pemeliharaan dan pengembangan jaringan:

$$\text{Biaya pembuatan} \times 7 \% \quad (2.27)$$

- Biaya operasional:

$$\text{Biaya pengembangan pemeliharaan} + \text{Biaya Penyusutan} \quad (2.28)$$

- Biaya rata-rata:

$$\frac{\text{Biaya Operasional}}{\text{Jumlah SR}} \quad (2.29)$$

- Harga rata-rata air:

$$\frac{\text{Biaya rata-rata}}{\text{Asumsi pemakaian air}} \quad (2.30)$$