

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Air merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Setiap manusia berhak mendapatkan akses terhadap air bersih guna menunjang keberlangsungan hidupnya. Pemerintah dalam prakteknya selalu berusaha untuk memberikan pelayanan terhadap masyarakat berupa pengadaan air bersih. Adapun yang dimaksud dengan pengadaan air bersih menurut Slamet Ryadi dalam (Suhartini, 2008: 4) adalah meliputi penyediaan sumber-sumbernya, pengolahan air menurut prinsip sanitasi, penyaluran kepada konsumen, maupun pengawasan kualitas airnya. Maka pengertian pengadaan air bersih adalah air bersih untuk memenuhi kebutuhan konsumsi keluarga (air minum) rumah tangga maupun umum.

Sistem distribusi air bersih adalah pendistribusian atau pembagian air melalui sistem perpipaan dari bangunan pengolahan (reservoir) ke daerah pelayanan (konsumen). Dalam perencanaan sistem distribusi air bersih, beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain daerah layanan dan jumlah penduduk yang akan dilayani, kebutuhan air, letak topografi daerah layanan, jenis sambungan sistem, pipa distribusi, tipe pengaliran, pola jaringan, perlengkapan sistem distribusi air bersih, dekteksi kebocoran.

Menurut peraturan menteri Pekerjaan umum Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (2010 : 54) Ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi dalam perancangan denah (lay-out) sistem distribusi adalah sebagai berikut:

1. Denah (lay-out) sistem distribusi ditentukan berdasarkan keadaan topografi wilayah pelayanan dan lokasi instalasi pengolahan air.
2. Tipe sistem distribusi ditentukan berdasarkan keadaan topografi wilayah pelayanan.
3. Jika keadaan topografi tidak memungkinkan untuk sistem gravitasi seluruhnya, diusulkan kombinasi sistem gravitasi dan pompa. Jika semua wilayah pelayanan relative datar, dapat digunakan system perpompaan langsung,

kombinasi dengan menara air, atau penambahan pompa penguat (*booster pump*).

4. Jika terdapat perbedaan elevasi wilayah pelayanan terlalu besar atau lebih dari 40 m, wilayah pelayanan dibagi menjadi beberapa zone sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan tekanan minum.

2.2 Perkembangan Penduduk

Kebutuhan air bersih dalam suatu kota berkaitan dengan jumlah penduduk dan kegiatan yang dilaksanakan di daerah pelayanan itu sendiri. Dengan seiring adanya perkembangan penduduk, kebutuhan air bersih juga akan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Perkembangan penduduk merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam perencanaan kebutuhan air bersih di masa yang akan datang.

Berdasarkan Undang-undang RI Nomor 25 tahun 2004 Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) adalah perencanaan 5 tahun mendatang, sehingga dengan perkiraan tersebut kita dapat mempersiapkan segala hal yang dibutuhkan untuk memproduksi air bersih sesuai dengan kebutuhan pada masa yang akan datang. Kebutuhan air bersih dari tahun ke tahun terus meningkat, maka penyediaan air bersih yang sudah ada mungkin tidak dapat melayani kebutuhan air pada masa yang akan datang atau perlu adanya perbaikan dalam sistem distribusi air tersebut.

Maka dari itu perlu adanya proyeksi jumlah penduduk untuk tahun perencanaan untuk menganalisa adanya jaringan yang sudah ada dengan adanya laju perkembangan jumlah penduduk. Terdapat beberapa metode proyeksi penduduk yang dapat digunakan untuk perencanaan, yaitu:

2.2.1 Metode Aritmatik

Menurut (PUPR, 1996) metode ini menganggap sesuai dengan daerah yang perkembangan penduduknya selalu meningkat/bertambah secara konstan. Rumus yang digunakan:

$$P_n = P_o + a \cdot n \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

P_o = Jumlah Penduduk pada awal tahun dasar (jiwa)

a = Rata – rata pertambahan penduduk (jiwa/tahun)

n = kurun waktu proyeksi (tahun)

2.2.2 Metode Geometrik

Menurut (PUPR, 1996) proyeksi dengan metode ini menganggap bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda dengan pertumbuhan penduduk. Metode ini tidak memperhatikan kemungkinan terjadinya perkembangan menurun yang disebabkan kepadatan penduduk mendekati maksimum. Metode ini banyak digunakan karena mudah dan mendekati kebenaran.

Rumus yang digunakan:

$$P_n = P_o + (1 + r)^n \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun dasar (jiwa)

a = Rata-rata pertambahan penduduk (%)

n = Selisih antara tahun proyeksi dengan tahun dasar (tahun)

2.2.3 Metode Least Square

Menurut (PUPR, 1996) metode ini dapat digunakan untuk daerah yang memiliki perkembangan penduduk mempunyai kecenderungan garis linear meskipun perkembangan penduduk tidak selalu bertambah. Rumus yang digunakan:

$$P_n + a + b \cdot x \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

$$a = \frac{\sum P \cdot \sum x^2 - \sum x \cdot \sum P \cdot x^2}{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{N \cdot \sum P \cdot x - \sum x \cdot \sum P}{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Untuk mengetahui metode proyeksi kependuduk, dilakukan uji koefisien determinasi. Pengujian koefisien determinasi ini dilakukan dengan maksud mengukur kemampuan model dalam menerangkan seberapa pengaruh variabel independen secara bersama-sama (stimultan) mempengaruhi variabel dependen yang dapat diindikasikan oleh nilai adjusted R – Squared (Ghozali, 2016). Koefisien determinasi menunjukkan sejauh mana kontribusi variabel bebas dalam model regresi mampu menjelaskan variasi dari variabel terikatnya.

Menurut Ghozali (2016) nilai koefisien determinasi yang kecil memiliki arti bahwa kemampuan variabel – variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen sangat terbatas, Sebaliknya jika nilai mendekati 1 (satu) dan menjauhi 0 (nol) memiliki arti bahwa variabel – variabel independen memiliki kemampuan memberikan semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel dependen (Ghozali, 2016). Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$r = \sqrt{\frac{D_t^2 - D^2}{D_t^2}} \quad \text{atau} \quad r = \frac{((n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y))^2}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}}$$

Keterangan :

- r : Koefisien korelasi antara X dan Y
 x : Jumlah penduduk sesungguhnya
 y : Jumlah penduduk proyeksi
 n : Jumlah data
 D_t^2 : $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$
 D^2 : $\sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x)^2$
 r^2 : Koefisien determinasi

2.3 Kebutuhan Air Bersih

Menurut (PUPR, 1996) kebutuhan air merupakan jumlah air yang diperlukan untuk kebutuhan dasar/suatu unit konsumsi air, dimana kehilangan air dan kebutuhan air untuk pemadam kebakaran juga diperhitungkan. Kebutuhan dasar dan kehilangan tersebut berfluktuasi dari waktu ke waktu, dengan skala jam, hari, minggu bulan selama kurun waktu satu tahun. Besarnya air yang digunakan untuk berbagai jenis penggunaan tersebut dikenal dengan pemakaian air. Besarnya konsumsi air yang digunakan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti:

- Ketersediaan air dari segi kuantitas, kontinuitas, dan kualitas.
- Kebiasaan penduduk setempat.
- Pola dan tingkat kebutuhan.
- Harga air.
- Teknis ketersediaan air seperti fasilitas distribusi, fasilitas pembuangan limbah yang mempengaruhi kualitas air bersih dan kemudahan dalam mendapatkannya.
- Keadaan sosial ekonomi setempat.

2.3.1 Kebutuhan Air Domestik

Menurut (PUPR, 1996) standart penyediaan air domestik ditentukan oleh jumlah konsumen domestik yang dapat diketahui melalui data penduduk yang ada. Standart penyediaan kebutuhan domestik meliputi mandi, masak, minum, dan lain-lain. Meningkatnya kebutuhan air domestik ini dipengaruhi oleh pola hidup masyarakat setempat dan di dukung oleh kondisi sosial ekonomi.

Dengan demikian untuk dapat mengetahui kebutuhan air pada masa yang akan datang, antara lain kita perlu mengetahui jumlah penduduk pada masa yang akan datang. Untuk mengetahui jumlah penduduk pada masa yang akan datang maka kita perlu mengetahui:

- Jumlah penduduk pada saat ini guna sebagai dasar untuk menghitung jumlah penduduk pada saat yang akan datang.
- Kenaikan penduduk.

Dengan adanya data-data diatas kita dapat menghitung/memperkirakan jumlah penduduk pada masa yang akan datang dan kita dapat mengetahui kebutuhan air pada masa yang akan datang. Semakin banyak jumlah orang maka kebutuhan air juga akan semakin meningkat. Kebutuhan air domestik untuk kota dibagi dalam beberapa kategori, yaitu:

- Kota kategori I (Metropolitan)
- Kota kategori II (Kota Besar)
- Kota kategori III (Kota Sedang)
- Kota kategori IV (Kota Kecil)
- Kota kategori V (Desa)

Untuk mengetahui kriteria perencanaan air bersih pada tiap-tiap kategori dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Kriteria Perencanaan Air Bersih

NO	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
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1.	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) 1/org/hari	>150	120-150	90-120	80-120	60-80
2.	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU) 1/org/hari	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40
3.	Konsumsi Unit Non Domestik (%)					
	a. Niaga Kecil (liter/unit/hari)	600-900	600-900		600	
	b. Niaga Besar (liter/unit/hari)	1000-5000	1000-5000		1500	
	c. Industri Besar (liter/detik/ha)	0,2-0,8	0,2-0,8		0,2-0,8	
	d. Pariwisata (liter/detik/ha)	0,1-0,3	0,1-0,3		0,1-0,3	
4.	Kehilangan Air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5.	Faktor Maksimum Perhari	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25
6.	Faktor Pada Jam Puncak	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75	1,75
7.	Jumlah Jiwa Per SR	5	5	5	5	5
8.	Jumlah Jiwa Per HU	100	100	100	100-200	200
9.	Sisa tekan di Jaringan Distribusi (meter)	10	10	10	10	10
10.	Jam Operasi (jam)	24	24	24	24	24
11.	Volume Reservoir (%)	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
12.	SR:HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20:00	70:30:00	70:30:00
13.	Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	70	70

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

2.3.2 Kebutuhan Air Non Domestik

Menurut (PUPR, 1996) standart penyediaan air non domestik ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, kesehatan, industri, komersial, umum, dan lain-lain. Kebutuhan air non domestik terbagi menjadi beberapa kategori, yaitu:

- Umum, meliputi: tempat ibadah, rumah sakit, sekolah, terminal, kantor, dan lain sebagainya.

- Komersil, meliputi: hotel, pasar, pertokoan, rumah makan, dan lain sebagainya.
- Industri, meliputi: peternakan, industri, dan lain sebagainya.

Untuk memprediksi perkembangan kebutuhan air non domestik perlu diketahui rencana pengembangan kota beserta aktivitasnya. Apabila rencana pengembangan kota beserta aktivitasnya tidak dapat diketahui maka prediksi dapat didasarkan pada ekuivalen penduduk dimana konsumen non domestik dapat dihitung mengikuti perkembangan standart penyediaan air domestik. Kebutuhan air non domestik dapat dilihat pada **Tabel 2.2**, **Tabel 2.3**, **Tabel 2.4**.

Tabel 2. 2 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kota Kategori I, II, III, dan IV

SEKTOR	NILAI	SATUAN
Sekolah	10	liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
Puskesmas	2000	liter/unit/hari
Masjid	3000	liter/unit/hari
Kantor	10	liter/pegawai/hari
Pasar	12000	liter/hektar/hari
Hotel	150	liter/bed/hari
Rumah Makan	100	liter/tempat duduk/hari
Komplek Militer	60	liter/orang/hari
Kawasan Industri	0,2-0,8	liter/detik/hektar
Kawasan Pariwisata	0,1-0,3	liter/detik/hektar

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

Tabel 2. 3 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori V (Desa)

SEKTOR	NILAI	SATUAN
Sekolah	5	liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	liter/bed/hari
Puskesmas	1200	liter/unit/hari
Masjid	3000	liter/unit/hari
Mushola	2000	liter/unit/hari
Pasar	12000	liter/hektar/hari
Komersial/industry	10	liter/hari

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

Tabel 2. 4 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori

SEKTOR	NILAI	SATUAN
Lapangan Terbang	10	liter/orang/detik
Pelabuhan	50	liter/orang/detik
Stasiun KA dan Terminal Bus	10	liter/orang/detik
Kawasan Industri	0,75	liter/detik/hektar

Sumber: Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

Dengan demikian kita perlu mengetahui jenis dan jumlah sarana yang akan datang atau dengan kata lain kita harus mengetahui:

- Jenis dan jumlah sarana yang ada saat ini sebagai dasar untuk menghitung perkiraan jenis dan jumlah sarana yang ada saat ini.
- Perkiraan perkembangan jenis dan jumlah sarana pada masa yang akan datang.

2.4 Kebocoran Air

Kebocoran air atau *unaccounted for water* (UFW), merupakan komponen major dari kebutuhan air. Di negara berkembang seperti Indonesia UFW cukup besar yaitu lebih dari 30% dari suplai air (produksi) yang ada sedangkan di negara maju kebocoran air bisa diperkecil sampai di bawah 15%.

Kebocoran air merupakan salah satu faktor utama, karena definisi dari kebocoran air adalah perbedaan antara jumlah air yang diproduksi oleh produsen air dan jumlah air yang terjual kepada konsumen sesuai dengan yang tercatat di meter-meteran air pelanggan. Kebocoran air dibagi menjadi 2 bagian, antara lain:

- Kebocoran Fisik

Kebocoran fisik ini disebabkan oleh adanya kebocoran pipa, reservoir yang melimpas keluar, penguapan, pemadam kebakaran, pencuci jalan, pembilas pipa/saluran, dan pelayanan air tanpa meter air berpotensi terjadinya sambungan yang tidak tercatat.

- Kebocoran Administrasi

Jumlah air yang bocor secara administrasi disebabkan oleh meteran tanpa registrasi, kesalahan dalam sistem pembaca, dan jumlah air yang diambil tidak sesuai dengan peruntukannya.

2.5 Fluktuasi Kebutuhan Air

Menurut (PUPR, 1996) yang dimaksud fluktuasi kebutuhan air adalah:

- Pada jam-jam tertentu dalam satu hari, kebutuhan air akan memuncak yang disebut “Waktu Puncak” (*peak hour*).
- Dalam hari-hari tertentu untuk setiap minggu, bulan, atau tahun akan terdapat kebutuhan air yang lebih besar dari kebutuhan rata-rata yang disebut “Hari Maksimum” (*maximum day*).

Menurut (PUPR, 1996) kebutuhan air bersih akan meningkat terus menerus. Maka dari itu perlu diperkirakan kebutuhan air bersih pada masa yang akan datang. Hal ini dimaksudkan untuk mempersiapkan segala sarana yang dibutuhkan sesuai dengan peningkatan kebutuhan air bersih pada masa yang akan datang dengan baik, efisien dan ekonomis. Dalam memperhitungkan jumlah air yang diproduksi dan tingkat pelayanan air bersih pada masa yang akan datang perlu diperhatikan:

- Jenis dan jumlah fasilitas yang membutuhkan air.
- Kebutuhan air tiap jenis pemakai air.
- Sumber air lain yang ada.
- Kemampuan masyarakat untuk membeli air.

2.6 Perhitungan Kebutuhan Air

Jumlah air yang diproduksi tidak selalu harus sama dengan kebutuhan air yang sebenarnya. Selain dipengaruhi jumlah air yang sebenarnya dibutuhkan, jumlah air yang diproduksi juga dipengaruhi oleh:

- Sumber air lain yang ada.
- Kemampuan masyarakat untuk membeli air, dengan kata lain dipengaruhi oleh pendapatan masyarakat.

Kedua faktor tersebut akan mempengaruhi persentase jumlah penduduk atau sarana yang direncanakan akan diberi pelayanan air bersih. Disamping itu

untuk memperkirakan jumlah kebutuhan air yang diproduksi pada masa yang akan datang perlu diperhitungkan kebutuhan air untuk operasi dan pemeliharaan sistem penyediaan air bersih, misalnya untuk menguras reservoir, filter, dan sebagainya. Selain itu juga harus diperhitungkan pula air yang hilang atau bocor (PUPR, 1996)

2.7 Kualitas Air Baku

Bersumber pada Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1990 tentang: Pengendalian Pencemaran Air Pasal & Penggolongan Air mengeluarkan standar kualitas air baku berdasarkan peruntukannya ditetapkan sebagai berikut:

- Golongan A: Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu.
- Golongan B: Air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum.
- Golongan C: Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
- Golongan D: Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, pembangkit listrik tenaga air. (PerMen RI, 1990)

2.8 Sistem Pendistribusian

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 meliputi unsur sistem perpipaan dan perlengkapannya, hidran kebakaran, tekanan tersedia, sistem pemompaan (bila diperlukan), dan reservoir distribusi.

Dua hal penting yang harus diperhatikan pada sistem distribusi adalah tersedianya jumlah air yang cukup dan tekanan yang memenuhi (kontinuitas pelayanan), serta menjaga keamanan kualitas air yang berasal dari instalasi pengolahan (Joko, 2010:14).

2.9 Sistem Pengaliran

Distribusi air dapat dilakukan dengan beberapa cara, tergantung kondisi topografi yang menghubungkan sumber air dengan konsumen. Distribusi secara gravitasi, pemompaan maupun kombinasi pemompaan dan gravitasi dapat digunakan untuk menyuplai air ke konsumen dengan tekanan yang mencukupi (Joko, 2010:15). Berikut penjelasan dan gambar dari masing” sistem pengaliran distribusi air bersih:

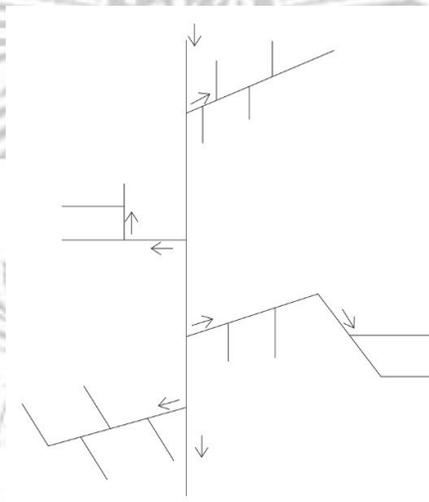
- Cara Gravitasi
Cara gravitasi ini dapat digunakan apabila elevasi sumber air mempunyai perbedaan cukup besar dengan elevasi daerah pelayanan, sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan. Cara ini dianggap cukup ekonomis, karena hanya memanfaatkan beda ketinggian lokasi.
- Cara Pemompaan
Dengan cara ini pompa digunakan untuk meningkatkan tekanan yang diperlukan untuk mendistribusikan air dari *reservoir* distribusi ke konsumen. Cara ini digunakan jika daerah pelayanan merupakan daerah yang datar, dan tidak ada daerah bukit.
- Cara Gabungan
Dengan cara ini, reservoir digunakan untuk mempertahankan tekanan yang diperlukan selama periode pemakaian tinggi dan kondisi darurat, misalnya saat terjadi kebakaran, atau tidak adanya energi. Selama periode pemakaian rendah, sisa air dipompakan dan disimpan dalam reservoir distribusi. Karena reservoir distribusi digunakan sebagai cadangan air selama periode pemakaian tinggi atau pemakaian puncak, maka pompa dapat dioperasikan pada kapasitas debit rata-rata.

2.9.1 Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan suatu rangkaian pipa yang berhubungan dan digunakan untuk mengalirkan air ke konsumen. Tata letak distribusi ditentukan oleh kondisi topografi daerah layanan dan lokasi instalasi pengolahan biasanya diklasifikasikan sebagai:

1. Sistem Cabang (*branch*)

Menurut Joko (2010:17) bentuk cabang dengan jalur buntu (*dead-end*) menyerupai cabang sebuah pohon. Pada pipa induk utama (*primary feeders*), tersambung pipa induk sekunder (*secondary feeders*), dan pipa induk sekunder tersambung pipa pelayanan utama (*small distribution mains*) yang terhubung dengan penyediaan air minum dalam gedung. Dalam pipa dengan jalur buntu, arah aliran air selalu sama dan suatu areal mendapat suplai air dari suatu pipa tunggal. Contoh jaringan pipa dengan Sistem Bercabang (*branch*) bisa dilihat pada **Gambar 2.1.**



Gambar 2. 1 Jaringan Pipa Sistem Bercabang (*branch*)

Kelebihan dari Sistem Cabang (*branch*):

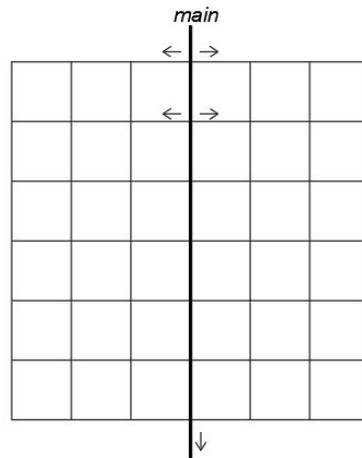
- Sistem ini sederhana dan desain jaringan perpipaan juga sederhana.
- Cocok untuk daerah yang sedang berkembang.
- Pengambilan dan tekanan pada titik manapun dapat dihitung dengan mudah.
- Pipa dapat ditambah bila diperlukan (pengembangan kota).
- Dimensi pipa lebih kecil karena hanya melayani populasi yang terbatas.
- Membutuhkan beberapa katup untuk mengoperasikan sistem

Kekurangan dari Sistem Cabang (*branch*):

- Saat terjadi kerusakan, air tidak tersedia untuk sementara waktu.
- Tidak cukup air untuk memadamkan kebakaran karena suplai air hanya dari pipa tunggal.
- Pada jalur buntu, mungkin terjadi pencemaran dan sedimentasi jika tidak ada penggelontoran.
- Tekanan tidak mencukupi ketika dilakukan penambalan areal ke dalam sistem penyediaan air minum.

2. Sistem *Gridiron*

Menurut Joko (2010:18) pipa induk utama dan pipa induk sekunder terletak dalam kotak, dengan pipa induk utama, pipa induk sekunder, serta pipa pelayanan utama saling terhubung. Contoh jaringan pipa dengan Sistem Bercabang (*branch*) bisa dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Jaringan Pipa Sistem Gridiron

Kelebihan dari sistem *Gridiron*:

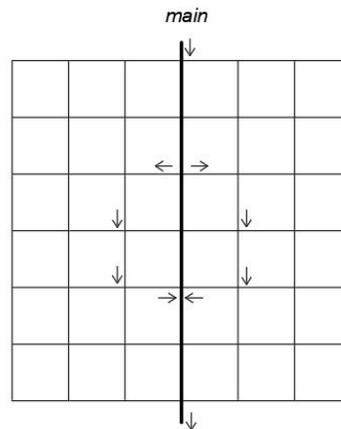
- Air dalam sistem mengalir bebas ke beberapa arah dan tidak terjadi stagnasi seperti cabang.
- Ketika ada perbaikan pipa, air yang tersambung dengan pipa tersebut tetap mendapatkan air dari bagian yang lain.
- Ketika terjadi kebakaran, air tersedia di semua arah.
- Kehilangan tekanan pada semua titik dalam sistem minimum.

Kekurangan dari sistem *Gridiron*:

- Perhitungan pipa lebih rumit.
- Membutuhkan lebih banyak pipa dan sambungan pipa sehingga lebih mahal.

3. Sistem Melingkar (*loop*)

Menurut Joko (2010:19) pipa induk utama terletak mengelilingi daerah layanan. Pengambilan dibagi menjadi dua dan masing-masing mengelilingi batas daerah layanan dan keduanya bertemu Kembali diujung. Didalam daerah layanan, pipa pelayanan utama terhubung dengan pipa induk utama. Sistem ini merupakan sistem yang paling ideal. Contoh jaringan pipa dengan Sistem Melingkar (*loop*) bisa dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Jaringan Pipa Sistem Melingkar (loop)

Kelebihan dari Sistem Melingkar (*loop*):

- Setiap titik mendapat suplai dari dua arah.
- Saat terjadi kerusakan pipa, air dapat disediakan dari arah lain.
- Untuk memadamkan kebakaran, air tersedia dari segala arah.
- Desain pipa mudah.

Kekurangan dari Sistem Melingkar (*loop*):

- Membutuhkan lebih banyak pipa.

2.9.2 Sistem Pendistribusian

Menurut Joko (2010:15) sistem pendistribusian air ke masyarakat dapat dilakukan secara langsung dengan gravitasi maupun dengan sistem pompa. Pembagian air dilakukan melalui pipa-pipa distribusi seperti:

1. Pipa primer, tidak diperkenankan untuk dilakukan tapping.
2. Pipa sekunder, diperkenankan tapping untuk keperluan tertentu, seperti: *fire hidran*, bandara, Pelabuhan, dan lain-lain.
3. Pipa tersier, diperkenankan tapping untuk kepentingan pendistribusian air ke masyarakat melalui pipa kuartier.

2.10 Perpipaan

2.10.1 Perpipaan Transmisi

Menurut Joko (2010:153) Pipa transmisi merupakan sistem pengaliran air sebelum masuk ke bangunan pengolahan (*treatment*), biasanya pipa ini didesain berdasarkan kebutuhan maksimum berdasarkan kebutuhan penduduk.

Jenis pipa ditentukan berdasarkan material pipanya seperti CI, beton (*concrete*), baja, AC, GI, plastic, dan PVC. Kelebihan dan kekurangan pemakaian pipa-pipa tersebut:

1. *Cast-Iron Pipe*

Pipa CI tersedia untuk ukuran panjang 3,7 sampai 5,5 dengan diameter 50-900 mm, serta dapat menahan tekanan air hingga 240 m tergantung besar diameter pipa.

Kelebihan:

- Harga tidak terlalu mahal
- Ekonomis karena berumur panjang (bisa mencapai 100 tahun)
- Kuat dan tahan lama
- Tahan korosi jika dilapisi
- Mudah disambung
- Dapat menahan tekanan tanpa mengalami kerusakan.

Kekurangan:

- Bagian dalam pipa lama kelamaan menjadi kasar sehingga kapasitas pengangkutan berkurang
- Pipa berdiameter besar berat dan tidak ekonomis
- Cenderung patah selama pengangkutan dan penyambungan.

2. *Concrete Pipe*

Pipa beton biasanya digunakan jika tidak berada dalam tekanan dan kebocoran pada pipa tidak terlalu dipermasalahkan. Diameter pipa

beton mencapai 610 mm. pipa RCC digunakan untuk diameter lebih dari 2,5 m dan bisa didesain untuk tekanan 30 m.

Kelebihan:

- Bagian dalam pipa sangat halus dan kehilangan akibat friksi paling sedikit
- Tahan lama, sekurangnya 75 tahun
- Tidak berkarat atau terbentuk lapisan didalamnya
- Biayanya pemeliharaan murah

Kekurangan:

- Pipanya berat dan sulit diangkat
- Cenderung patah saat pengangkutan
- Sulit diperbaiki

3. *Steel Pipe*

Pipa baja digunakan untuk memenuhi kebutuhan pipa yang berdiameter besar dan bertekanan tinggi. Pipa ini dibuat dengan ukuran dan diameter standart. Pipa baja kadang-kadang dilindungi dengan lapisan mortar.

Kelebihan:

- Kuat
- Lebih ringan daripada pipa CI
- Mudah dipasang dan disambung
- Dapat menahan tekanan hingga 70 mka (meter kolom air)

Kekurangan:

- Mudah rusak karena air yang asam dan basa
- Daya tahan hanya 25-30 tahun kecuali dilapisi bahan tertentu.

4. *Asbestos-Cement Pipe*

Pipa ini dibuat dengan mencampurkan serat asbes pada tekanan tinggi. Diameternya berkisar 50-90 mm dan dapat menahan tekanan antara 50-250 mka tergantung kelas dan tipe pembuatan.

Kelebihan:

- Ringan dan mudah digunakan
- Tahan terhadap air yang asam dan basa
- Bagian dalamnya tahan halus dan tahan terhadap korosi
- Tersedia dengan ukuran yang lebih panjang sehingga sambungannya lebih sedikit
- Dapat dipotong menjadi beberapa ukuran panjang dan disambung seperti pipa CI

Kekurangan:

- Rapuh dan mudah patah
- Tidak dapat digunakan untuk tekanan tinggi.

5. *Galvanised-Iron Pipe*

Pipa GI banyak digunakan untuk saluran dalam gedung. Tersedia untuk ukuran diameter 60-750 mm.

Kelebihan:

- Murah
- Ringan, sehingga mudah digunakan dan diangkat
- Mudah disambung
- Bagian dalamnya halus sehingga kehilangan tekanan akibat gesekan kecil.

Kekurangan:

- Umur pendek 7-10 tahun
- Mudah rusak karena air yang asam dan basa serta mudah terbentuk lapisan kotoran di bagian dalamnya.
- Mahal dan sering digunakan untuk kebutuhan pipa dengan diameter kecil.

6. *Plastic Pipe*

Pipa plastik memiliki banyak kelebihan, seperti tahan terhadap korosi, ringan dan murah. Pipa *Polytene* tersedia dalam warna hitam. Pipa ini

lebih tahan terhadap bahan kimia, kecuali asam nitrat dan asam kuat, lemak, dan minyak. Pipa plastik terdiri dari 2 tipe:

- *Low-Density Polytene Pipe*. Pipa ini lebih fleksibel, diameter yang tersedia mencapai 63 mm, digunakan untuk jalur panjang, dan tidak cocok untuk penyediaan air minum dalam gedung.
- *High-Density Polytene Pipe*. Pipa ini lebih kuat dibandingkan *Low-Density Polytene Pipe*. Diameter pipa berkisar antara 16 mm-400mm.

Pipa plastik tidak bisa memenuhi standart lingkungan, yaitu jika terjadi kontak dengan bahan-bahan seperti asam organic, keton, ester, alcohol, dan sebagainya.

7. *PVC Pipe (Unplasticised)*

Kekurangan pipa PVC (*Polivinyll Chloride*) adalah tiga kali kekuatan pipa *polythene* biasa. Pipa PVC lebih kuat dan dapat menahan tekanan lebih tinggi. Sambungan lebih mudah dibuat dengan car las.

Pipa PVC tahan terhadap asam organik, alkali dan garam, senyawa organik, serta korosi. Pipa ini banyak digunakan untuk penyediaan air dingin didalam maupun diluar sistem penyediaan air minum, sistem pembuangan, dan drainase bawah tanah. Pipa PVC tersedia dalam ukuran yang bermacam-macam.

2.10.2 Pipa Distribusi

1. Penanaman Pipa

Perpipaan induk distribusi sedapat mungkin dipasang di dalam tanah. Kedalaman tanah penutup pipa minimum ditentukan 80 cm pada kondisi biasa dan 100 cm untuk pipa di bawah jalan. Untuk kemudahan pemasangan dan pemeriksaan, perpipaan ini dipasang di sepanjang pinggir jalan yang diperlukan.

2. Perlengkapan Pipa

Terdapat beberapa perlengkapan untuk pengaliran air dalam system distribusi air baku selain pipa distribusi, antara lain:

- *Air Valve*

Air Valve (katup udara) berguna untuk pelepasan udara yang ada didalam pipa. Pada jembatan pipa dan pada jalur distribusi utama yang relatif panjang, pada umumnya peralatan ini tidak diperlukan pada perpipaan distribusi. Hal ini

disebabkan karena selain pada umumnya jalur pipa tidak terlalu panjang, juga sambungan rumah dapat berfungsi sebagai pelepas udara yang ada didalam pipa.

- Pengurasan

Perlengkapan penguras diperlukan untuk mengeluarkan kotoran/endapan yang terdapat didalam pipa. Biasa dipasang di tempat yang paling rendah pada perpipaan distribusi dan pada jembatan pipa.

- Hidran Kebakaran (*Fire Hydrant*)

Unit ini perlu disediakan pada perpipaan distribusi sebagai tempat (sarana) pengambilan air yang diperlukan pada saat terjadi kebakaran. Hidran kebakaran juga bisa sebagai penguras.

- *Stop/Gate Valve*

Gate Valve perlu dipasang didalam suatu daerah perencanaan yang terbagi atas blok-blok pelayanan, tergantung dari kondisi topografi dan prasarana yang ada. Perlengkapan ini diperlukan guna melakukan pemisahan/melokalisasi suatu blok/pelayanan/jalur tertentu yang sangat berguna pada saat perawatan.

- Perkakas (*fitting*)

Perkakas (*tee, bend, reducer*, dan lain-lain) perlu disediakan dan dipasang pada perpipaan distribusi sesuai dengan keperluan dilapangan.

- Peralatan Kontrol Aliran

Unit peralatan ini terdiri atas *gate valve* dan perkakas tempat memasukkan alat pembersih ke dalam pipa serta tempat penggelontoran. Penempatan peralatan ini harus dipilih pada tempat yang relatif luas dan ada saluran/tempat yang lebih rendah untuk membuang air dari penggelontoran tersebut.

- Jalur Pipa Sekunder/Tersier

Sambungan rumah/sambungan ke bangunan lain tidak boleh dilakukan terhadap pipa induk distribusi yang diameternya lebih besar dari 150 mm. Untuk itu perlu adanya perpipaan sekunder/tersier yang berdiameter 80 mm atau 50 mm yang dipasang sejajar (sesuai dengan keperluan) dengan diameter pipa induk tadi untuk tempat pemasangan sambungan rumah tersebut (Joko, 2010:23).

2.11 Reservoir

2.11.1 Lokasi dan Tinggi Reservoir

Mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum No: 18 Tahun 2007, lokasi dan tinggi reservoir ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Reservoir pelayanan di tempat sedekat mungkin dengan pusat daerah pelayanan, kecuali kalau keadaan tidak memungkinkan. Selain itu harus dipertimbangkan pemasangan pipa parallel;
- b. Tinggi reservoir pada sistem gravitasi ditentukan sedemikian rupa sehingga tekanan minimum sesuai dengan hasil perhitungan hidrolis di jaringan pipa distribusi. Muka air reservoir rencana diperhitungkan berdasarkan tinggi muka air minum;
- c. Jika elevasi muka tanah wilayah pelayanan bervariasi, maka wilayah pelayanan dapat dibagi menjadi beberapa zona wilayah pelayanan yang dilayani masing-masing dengan satu reservoir.

2.11.2 Volume Reservoir

- a. Reservoir Pelayanan.
Volume reservoir pelayanan (*service reservoir*) ditentukan berdasarkan:
 - Jumlah volume air maksimum yang harus ditampung pada saat pemakaian air minum ditambah volume air yang harus disediakan pada saat pengaliran jam puncak karena adanya fluktuasi pemakaian air di wilayah pelayanan dan periode pengisian reservoir.
 - Cadangan air untuk pemadam kebakaran kota sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk daerah setempat Dinas Kebakaran
 - Kebutuhan air khusus, yaitu pengurusan reservoir, taman dan peristiwa khusus.

b. Reservoir Penyeimbang

Volume efektif reservoir penyeimbang (*balance reservoir*) ditentukan berdasarkan keseimbangan aliran keluar dan alira masuk reservoir selama pemakaian air di daerah pelayanan. Sistem pengisian reservoir dapat dengan sistem pompa maupun gravitasi. Suplai air ke konsumen dilakukan secara gravitasi. Metoda perhitungan volume efektif reservoir:

- Secara Tabulasi

Dengan cara tabulasi, volume efektif adalah jumlah selisih terbesar yang positif (m^3) dan selisih terbesar yang negative (m^3) antara fluktuasi pemakaian air dan suplai air ke reservoir. Hasil perhitungan nilai kumulatif dibuat dalam bentuk tabel.

- Metoda kurva masa

Volume efektif didapat dari jumlah persentase akumulasi surplus terbesar pemakaian air ditambah akumulasi deficit terbesar pemakaian air terhadap akumulasi pengaliran air ke reservoir (bila pengaliran air ke reservoir dilakukan selama 24 jam).

- Secara Persentase

Volume efektif ditentukan sebesar sekian persen dari kebutuhan air maksimum per hari minimal 15%. Penentuan dengan cara ini tergantung pada kebiasaan kota yang bersangkutan, karena itu harus berdasarkan pengalaman.(Peraturan Meteri Pekerjaan Umum, 2007)

2.12 Hukum Kontinuitas

Menurut Triatmodjo (1995:116) apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan maka volume cairan yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua penampang.

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$A \times V - A \times V \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3/det)

A = Luas penampang (m^2)

V = Kecepatan Aliran (m/det)

2.13 Kecepatan Rerata

Menurut Triatmodjo (Hidraulika II 2017:33) untuk mencari kecepatan rerata, dipandang suatu pias kecil aliran. Apabila debit aliran melalui pipa dengan diameter D adalah Q, maka Kecepatan Rerata V diberikan oleh:

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3 /det)

V = Kecepatan Aliran (m/det)

D = Diameter Pipa (m)

2.14 Kehilangan Tenaga Aliran Melalui Pipa

Menurut Triatmodjo (2017:25) pada zat cair mengalir didalam bidang batas (pipa, saluran terbuka atau bidang datar) akan terjadi tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan aliran karena adanya kekentalan. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan kehilangan tenaga selama pengaliran. Berikut merupakan Persamaan Bernouli:

$$Z_1 + \frac{r_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{r_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + hf \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

h1 = Elevasi Pipa 1 dari datum (m)

h2 = Elevasi Pipa 2 dari datum (m)

P1 = Tekanan di titik 1 (kg/m^2)

V = Kecepatan aliran (m/det)

g = Gravitasi (m/det^2)

γ_w = Berat jenis air (kg/m^3)

Hf = Head Loss (m)

2.15 Kehilangan Energi Utama (Mayor)

Kehilangan energi mayor disebabkan oleh gesekan atau friksi dengan dinding pipa. Kehilangan energi oleh gesekan disebabkan karena cairan atau fluida mempunyai kekentalan dan dinding pipa tidak licin sempurna. (Anastasya Feby Makawimbang Lambertus Tanudjaja, 2017)

2.15.1 Mayor Losses

a. Persamaan Dary Wesbach

Kehilangan energi utama sepanjang pipa karena gesekan menurut Dary Wesbach diberikan persamaan:

$$hf = f \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

hf = Kehilangan energi (m)

f = koefisien gesek (Darcy)

V = Kecepatan Aliran Air (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

D = Diameter Pipa (m)

L = Panjang Pipa (m)

b. Persamaan Hazen Williams

Persamaan ini sangat dikenal di USA. Persamaan kehilangan energi sedikit lebih sederhana dibandingkan Persamaan Dary Wesbach karena koefisien kehilangan (CHW)-nya tidak berubah terhadap angka Reynold. Persamaan ini hanya bisa digunakan untuk air.

$$Q=C_U \times C_{HW} \times d^{2.63} \times i^{0.54} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dari turunan rumus diatas didapat persamaan 2.9

$$H_f = \left(\frac{Q}{0.2785 \times C \times D^{2.63}} \right)^{1.85} \times L \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

C_U = 0,2785

C_{HW} = Koefisien Hazen Williams

I = Kemiringan atau *slope* garis Tenaga ($i = \frac{H_f}{L}$)

Q = Debit (m³/detik)

D = Diameter pipa (m)

H_f = Kehilangan Energi (m)

L = Panjang Pipa (m)

2.15.2 Kehilangan Tenaga Sekunder Dalam Pipa

Menurut Triatmadja (2017:58), kehilangan tenaga yang terjadi pada tempat yang memungkinkan adanya perubahan penampang pipa, sambungan, belokan, dan katup (kehilangan tenaga sekunder).

$$H_f = K \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

K = konstanta kontraksi (sudah tertentu)

2.16 Analisa Jaringan dengan EPANET 2.2

Menurut (Rossman, 2000) EPANET adalah program computer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir di dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari Pipa, Node, Pompa, Katub dan Tangki air atau reservoir. EPANET menjajaki aliran di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan kondidi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama periode pengaliran. EPANET memiliki kemampuan antara lain:

1. Kemampuan analisa yang tidak terbatas..
2. Terdapat tiga macam metode dalam menghitung kekasaran pipa yaitu persamaan *Hazen-Williams*, *Darcy Weisbach*, dan *Chezy-Manning*.

3. Dapat memodelkan pompa dengan kecepatan yang konstan maupun variable.
4. Dapat menghitung energi pompa dan biaya.

EPANET adalah aplikasi hidrolis yang tersusun dan tidak dibatasi oleh wilayah jaringan. Kehilangan tekanan dikarenakan oleh gesekan dihitung dengan menggunakan rumus Hazen Williams, Darcy Weisbach atau Chezy Manning. Sebagai dasar dari sistem operasi untuk mengontrol ketinggian air di *reservoir* dan waktu. Berbagai jenis model katub dengan daun jendela, pengatur tekanan dan katup dengan pengatur kecepatan model kecepatan konstan atau variable, Epanet juga menawarkan analisis kualitas air dengan memodelkan pergerakan elemen material non-reaktif melalui jaringan setiap saat.

