

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Jalur Pipa Transmisi Air Bersih merupakan rangkaian saluran penghantar air sebelum mencapai fasilitas pengolahan utama. Proses penyaluran dapat dijalankan melalui bantuan pompa atau memanfaatkan gaya gravitasi alamiah (Joko, 2010).

Air yang keluar dari Instalasi Pengolahan Air bisa disimpan di dalam tangki penampung atau reservoir, yang berperan menjaga keseimbangan antara volume produksi dan tingkat kebutuhan. Tangki reservoir tersebut dapat dibangun di bawah permukaan tanah atau dalam bentuk menara air, yang lazim digunakan untuk mengantisipasi lonjakan permintaan di wilayah layanan distribusi (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 18 2007).

Rancangan Sistem Penyediaan Air Minum pada unit distribusi bisa berupa jaringan pipa berbentuk lingkaran tertutup (*loop system*), pola cabang distribusi tunggal (*dead-end distribution*), atau gabungan keduanya (*grade system*). Penentuan bentuk jaringan distribusi bergantung pada karakteristik topografi, letak tangki penampung, luas cakupan pelayanan, jumlah konsumen, serta pola jaringan jalan yang akan dilalui pipa (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 18 2007).

Ketetapan yang perlu diperhatikan saat membuat rancangan tata letak sistem penyaluran yakni :

1. Tata letak jaringan distribusi disesuaikan dengan kondisi kontur area layanan serta posisi fasilitas pengolahan air.
2. Jenis sistem distribusi ditetapkan menyesuaikan bentuk permukaan tanah di area pelayanan.
3. Apabila kondisi topografi tidak mendukung penggunaan sistem gravitasi penuh, direkomendasikan penerapan gabungan antara gravitasi dan pompa. Untuk wilayah dengan permukaan relatif rata, dapat dipakai sistem pompa langsung, kombinasi bersama menara penampung air, atau tambahan pompa penguat (*booster pump*).
4. Ketika terdapat selisih ketinggian area layanan yang terlalu signifikan atau melebihi 40 meter, maka area pelayanan dibagi menjadi beberapa zona agar

tetap memenuhi batas tekanan minimum yang dipersyaratkan. Tata letak jaringan distribusi ditetapkan dari kondisi kontur wilayah layanan serta posisi fasilitas pengolahan air.

(Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, 2010:54)

2.2 Sumber-sumber Air Bersih

Sumber daya air merupakan segala bentuk air, cadangan air, dan potensi air yang ada di dalamnya (UU No. 17 tahun 2019 pasal 1 ayat 1).

Air adalah seluruh bentuk cairan yang berada di atas, pada, maupun di bawah permukaan tanah, mencakup pengertian air permukaan, air tanah, serta air laut yang terletak di daratan (UU No. 17 tahun 2019 pasal 1 ayat 2).

2.2.1 Air Permukaan

Air permukaan merupakan seluruh jenis air yang berada di atas tanah, baik berbentuk perairan tenang maupun aliran sungai.

1. Sungai

Adalah aliran air yang memiliki titik awal (hulu) dan akhir (hilir), umumnya berwarna kecokelatan akibat membawa partikel tanah yang tererosi.

2. Rawa atau danau

Adalah segala macam air yang berada di rawa maupun danau dengan warnanya keruh hijau atau kekuningan, disebabkan oleh tingginya kandungan bahan organik maupun anorganik yang telah mengalami pembusukan dan larut di dalamnya.

2.2.2 Air Laut

Air asin di laut timbul karena adanya kandungan natrium klorida dengan persentase sekitar 3%. Kondisi tersebut membuat air tidak memenuhi kriteria sebagai air bersih (Sutrisno, 2010:14).

2.2.3 Air Hujan

Air hujan pada kondisi aslinya tergolong sangat bersih, namun akibat pencemaran udara dari limbah industri maupun sumber lainnya, kualitasnya menjadi menurun. Oleh sebab itu, jika ingin memanfaatkannya sebagai

sumber air bersih, penampungan sebaiknya tidak dilakukan tepat saat hujan baru mulai turun karena pada tahap awal air masih membawa banyak kotoran (Sutrisno, 2010:14).

2.2.4 Air Tanah

Jenis air ini biasanya berada dibawah permukaan, air ini termasuk air bersih yang sering digunakan untuk air minum.

1. Air tanah dangkal

Air tanah dangkal terbentuk akibat proses air yang meresap dari permukaan ke dalam tanah. Lumpur tersaring, begitu pula sebagian dari bakteri, yang akibatnya airnya tampak jernih. Namun, kadar zat kimia cenderung lebih tinggi karena air melewati lapisan tanah. Lapisan tanah ini berperan sebagai penyaring alami (Sutrisno, 2010:17).

2. Air tanah dalam

Air tanah dalam umumnya memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan air dangkal, karena proses penyaringannya lebih sempurna serta bebas bakteri. Kandungan unsur kimianya dipengaruhi oleh jenis lapisan tanah yang dilalui. Apabila air melewati tanah berlumpur, maka sifatnya menjadi sadah akibat adanya $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Sebaliknya, jika melewati batuan granit, air menjadi lunak dan bersifat agresif karena mengandung gas CO_2 dan $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ (Sutrisno, 2010:18).

3. Mata air

Merupakan air tanah yang secara alami muncul ke permukaan. Jika sumbernya berasal dari lapisan tanah dalam, kualitasnya hampir sama dengan air tanah dalam dan tidak terpengaruh oleh perubahan musim (Sutrisno, 2010:19).

2.3 Perkembangan Penduduk

Perkembangan penduduk adalah perubahan jumlah, bertambah ataupun berkurangnya penduduk setiap tahun di suatu wilayah. Perkembangan penduduk berguna untuk mempresiksi jumlah penduduk di masa depan.

2.3.1 Metode Geometrik

Di prosedur tersebut berasumsi bahwasannya pertumbuhan populasi terjadi dengan cara sama setiap tahunnya. Model perhitungannya dituliskan yakni :

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

Dimana :

P_n = Total populasi di tahun ke- n

P_o = Total populasi di tahun pertama rencana

n = Jangka waktu rencana (dalam tahun)

r = Jumlah peningkatan populasi

2.3.2 Metode Aritmatika (Regresi Linear)

Dalam metode ini yang menganggap kenaikan jumlah penduduk bersifat konstan setiap tahun. Perhitungan menggunakan model:

$$P_n = P_o (1 + rn) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

P_n = Total populasi di tahun n

P_o = Total populasi di tahun pertama rencana

n = Jangka waktu rencana (dalam tahun)

r = Jumlah peningkatan populasi rerata di tiap tahunnya

2.3.3 Metode Eksponensial

Metode eksponensial menggambarkan pertumbuhan penduduk yang terus berlangsung setiap hari dengan tingkat pertumbuhan yang konstan.

Model yang digunakan :

$$P_t = P_o \cdot e^{r \cdot n} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

P_t = Total populasi di tahun n

P_o = Total populasi di tahun pertama rencana

e = bilangan dasar logaritma natural ($e = 2,7182818$).

n = Jangka waktu rencana (dalam tahun)

r = Jumlah peningkatan populasi rerata di tiap tahunnya

2.4 Kebutuhan Air

Air yang diperlukan (*water requirements*) adalah jumlah air yang dimanfaatkan guna mendukung seluruh aktivitas manusia, mencakup penyediaan air higienis untuk keperluan domestik maupun non-domestik, irigasi di sektor pertanian serta perikanan, hingga suplai air bagi proses penggelontoran kota (Kodoatie & Sjarief, 2008:174). Ketersediaan air layak pakai tersebut dimanfaatkan demi mencukupi kebutuhan seperti :

1. Air untuk kebutuhan domestik: dimanfaatkan bagi berbagai aktivitas rumah tangga.
2. Air untuk keperluan non-domestik: digunakan pada sektor industri, bidang pariwisata, sarana peribadatan, fasilitas sosial, serta beragam area publik lainnya

2.4.1 Kebutuhan Air Domestik

Total populasi serta tingkat pemakaian per kepala keluarga menjadi faktor utama yang mempengaruhi besarnya kebutuhan air domestik. Perkiraan jumlah populasi di masa mendatang adalah salah satu indikator penting dalam menghitung kebutuhan air untuk keperluan domestik (Kodoatie dan Sjarief, 2008:174).

Standar pemakaian air domestik merujuk pada penggunaan air bersih di lingkungan tempat tinggal pribadi guna menunjang kebutuhan harian, seperti minum, mandi, dan mencuci. Satuan pengukuran yang digunakan adalah liter per orang per hari. Gambaran mengenai volume air yang diperlukan untuk kepentingan domestik yakni :

Tabel 2.1 “Pemakaian Air Rata-rata Untuk Kebutuhan Air Domestik”

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) l/o/h”	190	170	150	100	80

2	“Konsumsi unit Hidran Umum (HU) liter/orang/hari”	30	30	30	30	30
3	“Konsumsi unit Non Domestik (%)”	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	“Kehilangan air (%)”	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	“Faktor maximum hari”	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	“Faktor <i>Peak-jam</i> ”	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	“Jumlah jiwa per Sambungan Rumah”	5	5	6	6	6
8	“Jumlah Jiwa per Hidran Umum”	100	100	100	100-200	200
9	“Sisa tekan dijaringan distribusi (mka)”	10	10	10	10	10
10	“Jam operasi (jam)”	24	24	24	24	24
11	“Volume reservoir (%) (<i>maks hari wilayah</i>)”	20	20	20	20	20
12	“SR : HU”	50 : 50 s/d 80:20:0 0	51 : 50 s/d 70:30:0 0	80:20:00	70:30:00	70:30: 00

Sumber: NSPM Kimpraswil, 2002

2.4.2 Kebutuhan Air Non Domestik

Pemakaian air untuk keperluan industri mencakup keperluan manufaktur, kebutuhan berbagai pemerintah, serta sektor komersial. Permintaan di bidang komersial pada suatu wilayah cenderung bertambah seiring bertumbuhnya jumlah populasi dan perubahan fungsi lahan.

Kebutuhan air untuk institusi mencakup pasokan bagi sekolah, fasilitas kesehatan seperti rumah sakit, gedung pemerintahan, tempat peribadatan, serta berbagai sarana lainnya. Jumlah air yang dibutuhkan bagi kepentingan non-domestik bisa dilihat di tabel 2.2 hingga 2.4 berikut:

Tabel 2.2 “Pemakaian Air Rata-rata Untuk Kebutuhan Air Non Domestik”

No	Tipe Kebutuhan	Penggunaan air rerata tiap hari (liter)	Penjelasan
1	“Kantor”	100-200	“per karyawan atau 1-2 m ³ /unit/hari”
2	“Rumah Sakit”	250-1000	“setiap tempat tidur pasien”
			“pasien luar : 8 liter” “pegawai : 8 liter”
3	“Gedung Bioskop”	10	“per pengunjung”
4	“SD, SLTP”	40-50	“per murid, guru : 44 liter”
	“SLTA dan Lebih tinggi”	80	“per murid, guru : 44 liter”
5	“Laboratorium”	100-200	“per karyawan”
6	“Toserba”	3	“pengunjung, karyawan ; 100 liter”
7	“Industri Pabrik”	buruh pria : 80	“per orang per shift”
		buruh wanita : 100	
8	“Stasiun dan Terminal”	3	“setiap penumpang”
9	“Restoran”	30	“penghuni : 160 liter”
10	“Hotel”	250-300	“untuk setiap tamu”

Sumber: NSPM Kimpraswil, 2002

Tabel 2.3 “Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kota Kategori I, II III dan IV”

Bidang	Angka	Ukuran
“Sekolah”	400	“liter/murid/hari”
“Rumah Sakit”	200	“liter/bed/hari”
“Puskesmas”	1000	“liter/hari/unit”
“Masjid”	1000	“liter/hari/unit”
“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: NSPM Kimpraswil, 2002

Tabel 2.4 “Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kota Kategori V”

SEKTOR	NILAI	SATUAN
“Sekolah”	10	“liter/murid/hari”
“Rumah Sakit”	200	“liter/bed/hari”
“Puskesmas”	1200	“liter/hari”
“Hotel”	90	“liter/bed/hari”
“Kawasan Industri”	10	“liter/detik”

Sumber: NSPM Kimpraswil, 2002

2.5 Fluktuasi Kebutuhan Air

Variasi pemakaian air untuk keperluan rumah tangga sangat dipengaruhi oleh kondisi ekonomi masing-masing keluarga, dengan kisaran umum sekitar 75 hingga 380 liter per orang setiap hari. Air juga dimanfaatkan dalam sektor industri dan usaha komersial, mencakup kegiatan di pabrik, kantor, pusat perniagaan, sarana rekreasi, pertokoan, dan lainnya. Pada sektor ini, jumlah air yang digunakan akan berubah-ubah bergantung pada jenis dan skala industri, jumlah tenaga kerja, serta luas lahan yang digunakan. Kebutuhan air untuk layanan publik mencakup penyediaan air bersih di fasilitas pemerintahan, pelayanan publik, gedung umum, sekolah, kegiatan pembersihan jalan, penyiraman taman kota, hingga penanggulangan kebakaran. Konsumsi air untuk kepentingan tersebut umumnya berkisar antara 50 sampai 75 liter per orang per hari, sejalan dengan fungsi lahan yang ada (McGhee dan Steel, 1991).

Perubahan pola konsumsi air dalam periode waktu tertentu dapat dikategorikan menjadi:

- a. Rata-Rata Kebutuhan Harian adalah jumlah pemanfaatan air bersih sehari yang mencakup keperluan rumahan atau komersil. Nilai rata-rata harian ini dihitung dengan membagi total volume air bersih yang digunakan selama satu tahun dengan jumlah hari pada tahun tersebut.
- b. Kebutuhan Harian Tertinggi mengacu pada jumlah konsumsi air terbesar dalam satu hari selama periode satu tahun penuh. Faktor hari tertinggi dapat ditentukan melalui perbandingan antara volume kebutuhan harian maksimum dengan rata-rata kebutuhan harian. Umumnya, nilai faktor ini berada di kisaran 1,1 hingga 1,3.

- c. Kebutuhan pada Jam Puncak adalah jumlah air yang dipakai paling tinggi dalam satu jam pada rentang sehari. Aspek waktu tertinggi dihitung melalui perbandingan keperluan pada waktu tertinggi sama rata-rata konsumsi perhari. Biasanya, nilai aspek waktu tertinggi berada dalam rentang 1,5 sampai 1,75 (Hadisoebroto dkk., 2007).

2.6 Kehilangan Air

Kehilangan air adalah jumlah pasokan air yang tidak lagi tersedia akibat berbagai faktor. Kehilangan ini tetap dibutuhkan untuk menjaga keberlangsungan tujuan penyediaan air bersih, yang mencakup terpenuhinya mutu, jumlah, serta keberlanjutan alirannya. Kondisi tersebut dapat timbul karena kegiatan pemakaian maupun proses pengolahan air. Penjelasan ini mengacu pada Kriteria dan Standar Perencanaan Sistem Air Bersih di daerah desa.

Hilangnya air bisa dibandingkan ke dalam 3 bagian seperti:

1. Hilangnya air yang terencana
Merupakan volume ditujukan dialokasikan bagi menunjang kesuksesan kegiatan operasional serta perawatan sarana penyedia air minum (Modul Non Revenue Water (NRW), 2014).
2. Hilangnya air yang sia-sia
Adalah hilangnya pasokan air yang berhubungan dengan bagian tempat penyedia air layak minum, bisa yang telah diolah, operasionalisasi dan pemakaian oleh pemakai yang sia-sia (Modul Non Revenue Water (NRW), 2014).
3. Hilangnya air akibat insiden

Hilangnya air sebagai sampingan dari bencana yang tidak diperkirakan (Modul Non Revenue Water (NRW), 2014).

Namun dari bentuknya, hilangnya air dapat digolongkan menjadi dua adalah:

1. Kerusakan yang tampak
Adalah kerusakan yang mengakibatkan air gagal disalurkan kepada konsumen karena air yang keluar akibat berbagai faktor tertentu (Ferijanto, 2017). Contoh kerusakannya seperti :
 - Kerusakan di saluran distribusi dan transmisi.

- Kerusakan di saluran dinas.
- Kerusakan tanki.

2. Kerusakan yang tidak tampak

Adalah kerusakan yang berakibat air yang tidak diperkirakan yang merugikan. Contoh kerusakannya seperti :

- Pengukur air yang tidak akurat.
- Konsumen yang tidak kedata sebagai akibat dari rusaknya atau tidak akurat dari meteran ukur.
- Perilaku mencuri persediaan air yang dilakukan oknum tidak bertanggung jawab.
- Surat penagihan air yang salah oleh pihak yang mengelola (Fallis et al., 2010).

Toleransi NRW maksimal adalah sebesar 20%. Kebocoran yang cukup tinggi dapat menyebabkan kurangnya tekanan air di dalam pipa pada jaringan pipa transmisi maupun pipa distribusi yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas dan kuantitas air bersih kepada pelanggan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.20 Tahun 2006).

Alasan hilangnya air disebabkan dari :

1. Hilangnya air yang tampak

Merupakan berkurangnya pasokan air yang benar-benar terbuang dari jaringan distribusi sehingga tidak bisa dimanfaatkan kembali. Kehilangan jenis ini biasanya dapat diamati secara langsung, misalnya melalui keluarnya air dari pipa distribusi akibat kebocoran (Febriany, 2014).

Menurut Non Revenue Water (2014) dikatakan bahwasannya, hilangnya air yang tampak ini penyebabnya adalah :

- a. Terdapat celah di sambungan ataupun salurannya dikarenakan:
 - Kualitas saluran yang buruk.
 - Karat di saluran.
- b. pecahnya saluran sistem penyaluran dikarenakan :
 - Terdapat penekanan di bagian luar saluran contohnya dilewati transportasi besar.
- c. Saluran yang dipasang di sistem rumah yang buruk seperti :

- Keran yang dipakai buruk atau menutup keran yang kurang rapat sehingga tetesan air muncul.

2. Kehilangan Air Non Fisik (Tidak Nyata)

Adalah berkurangnya pasokan air yang secara kasatmata tidak tampak atau tidak masuk dalam perhitungan penagihan. Kehilangan jenis ini bisa mencakup air yang tercatat maupun yang tidak tercatat. Penyebabnya umumnya berasal dari aspek non-teknis, seperti :

- a. Pembacaan meteran air yang tidak tepat.
- b. Pencatatan dari pembacaan meteran air yang salah.
- c. Salah dalam membuat tagihan air.
- d. Air yang dipakai di sistem.
- e. Terdapat sambungan ilegal dari keran umum dan kebakaran.
- f. Penyediaan air yang tidak bayar untuk umum.

2.7 Kapasitas Sistem Pengaliran

Perhitungan kapasitas suatu sistem didasarkan pada estimasi kebutuhan air untuk sektor rumah tangga atau domestik yang digabung dengan kebutuhan sektor non-domestik. Proyeksi total populasi, tingkat layanan yang direncanakan, serta besaran konsumsi air menjadi dasar perhitungan kebutuhan domestik. Sedangkan untuk sektor non-domestik, perhitungannya menggunakan acuan volume konsumsi air bersih per unit fasilitas dikalikan dengan jumlah fasilitas yang ada. Selain faktor-faktor utama tersebut, terdapat beberapa hal yang wajib dipertimbangkan, diantaranya :

1. Kebocoran atau kehilangan air

Persentase kehilangan air diperkirakan mencapai sekitar 20% dari total kapasitas produksi. Cakupan kehilangan ini meliputi pemakaian internal di instalasi pengolahan, kehilangan pada jalur transmisi, penurunan volume di reservoir, serta kebocoran di jaringan distribusi.

2. Besaran air baku yang diambil

Pengambilan air baku dari sumbernya harus disesuaikan dengan besaran produksi yang tersedia atau debit maksimum pada hari dengan kebutuhan tertinggi

3. Fluktuasi atau variasi kebutuhan akan air bersih

Kebutuhan rata-rata meliputi pemakaian domestik dan non domestik, sedangkan pemakaian hari maksimum diperkirakan sebesar 1,15 kali kebutuhan rata-rata dan pemakaian jam puncak diperkirakan sebesar 1,75-2 kali pemakaian rata-rata.

4. Transmisi pipa jaringan

Rancangan pipa transmisi ditujukan agar mampu menyalurkan air sejalan dengan besaran tertinggi pada hari dengan kebutuhan maksimum.

5. Besaran distribusi reservoir

Reservoir distribusi didesain untuk menyimpan sisa produksi air saat kebutuhan berada pada titik terendah, serta mampu menyuplai tambahan air pada saat beban puncak. Penyediaan air baku direncanakan melalui sistem penampungan menggunakan reservoir, di mana kapasitasnya ditentukan berdasarkan debit sumber air, kemampuan tampungan, dan proyeksi kebutuhan di masa mendatang. Rumus perhitungan kapasitas reservoir adalah:

$$V = (15\% - 20\% \times 86.400 \text{ detik/hari} \times K) / 1.000 \text{ meter kubik/liter}$$

dimana :

$$V = \text{Besaran rencana reservoir (dalam m}^3\text{)}$$

$$K = \text{Permintaan air di waktu tertinggi.}$$

6. Distribusi jaringan induk pipa

Pipa pusat dari pendistribusian dirancang untuk menyalurkan air bersih di kondisi jam tertinggi. Ketentuan perencanaan meliputi:

- Rancangan kapasitas jaringan perpipaan dibuat agar mampu mencukupi pasokan air pada periode beban puncak maupun saat kebutuhan harian tertinggi.
- Kecepatan akan aliran di dalam pipa ditetapkan tidak kurang dari 0,3 m/detik dan tidak melebihi 3,0 m/detik, dengan tekanan sisa minimum yang harus dipenuhi pada titik kritis sebesar 10 meter kolom air atau setara 1 atmosfer.

- Wilayah pelayanan terbagi ke beberapa blok, di mana kebutuhan air setiap blok disesuaikan dengan jumlah penduduk dan jenis aktivitas yang berlangsung di dalamnya.
- Jenis pipa yang dipilih diselaraskan dengan besarnya tekanan serta volume air yang akan dialirkan melewati pipa itu.

7. Besaran aliran didalam pipa

Dirancang dengan kecepatan minimum sebesar 0,5 meter per detik dan kecepatan maksimum mencapai 3 meter per detik. Batas ini ditetapkan untuk menjaga efisiensi aliran sekaligus menghindari kerusakan pada jaringan perpipaan

8. Rasio tingkat kekasaran pipa

Adalah acuan dalam perhitungan kapasitas hidrolis, baik untuk jalur transmisi maupun distribusi. Perhitungan ini menggunakan koefisien Hazen-Williams.

- pipa PVC yang baru memiliki nilai antara 120 hingga 140
- pipa baja yang baru berada pada kisaran 100 hingga 120

2.8 Perpipaan

2.8.1 Perpipaan Transmisi

Pipa transmisi merupakan sistei penyaluran air tahap awal yang kemudian dialirkan menuju ke struktur pengolahan (*treatment*), biasanya pipa ini didesain berdasarkan kebutuhan maksimum berdasarkan kebutuhan penduduk (Joko, 2010:153).

Tipe pipa penentuannya didasarkan di bahan pembuatnya contohnya PVC, plastik, GI, AC, beton (*concrete*), CI, dan baja. Kelemahan dan keunggulan dari penggunaan saluran itu :

a. *Cast – Iron Pipe*

Saluran CI hadir dalam variasi ukuran 3,7 hingga 5,5 meter, dimana ukuran panjang lingkaran mulai 50 hingga 900 mm, dan mampu menahan tekanan air mencapai 240 meter tergantung besar kecilnya diameter pipa.

Keunggulan :

- Harganya relatif terjangkau.
- Biaya efisien karena masa pakainya panjang (dapat bertahan hingga satu abad).
- Kokoh serta awet.
- Tahan terhadap karat apabila diberikan lapisan pelindung.
- Mudah untuk dirangkai.
- Mampu menahan tekanan tanpa mengalami keretakan.

Kelemahan :

- Permukaan bagian dalam pipa perlahan menjadi kasar yang berakibat kapasitas alirannya menurun.
- Pipa yang memiliki diameter besar, memiliki bobot berat dan kurang hemat biaya.
- Rentan pecah saat proses pemindahan atau menyambungkan.

b. Concrete Pipe

Pipa beton umumnya dimanfaatkan apabila tidak berada di bawah tekanan serta kebocoran di saluran tersebut tidak menjadi masalah. Ukuran diameter dapat mencapai 610 mili meter. Sementara itu, pipa RCC dipakai untuk ukuran lebih besar dari 2,5 meter dan dapat dirancang menahan tekanan hingga 30 meter.

Keunggulan :

- Permukaan bagian dalam pipa amat licin sehingga kehilangan energi akibat gesekan menjadi minimal.
- Memiliki umur pakai panjang, setidaknya hingga 75 tahun.
- Tak mengalami korosi ataupun pembentukan lapisan di bagian dalamnya.
- Biaya perawatan relatif rendah.

Kelemahan :

- Berat pipa cukup besar sehingga sulit untuk dipindahkan.
- Rawan retak ketika proses transportasi.
- Perbaikannya tergolong sulit dilakukan

c. *Steel Pipe*

Pipa baja dimanfaatkan dalam pemenuhan kebutuhan saluran bertekanan tinggi serta berdiameter besar. Saluran ini diproduksi dengan ukuran serta diameter yang telah distandardisasi. Pada beberapa kasus, pipa baja diberikan perlindungan berupa lapisan mortar.

Keunggulan :

- Memiliki kekuatan tinggi.
- Bobotnya lebih ringan dibanding pipa CI.
- Proses pemasangan dan penyambungan tergolong mudah.
- Mampu menahan tekanan mencapai 70 mka

Kelemahan :

- Rentan mengalami kerusakan akibat paparan air bersifat asam maupun basa.
- Umur pakai hanya sekitar tahun 25 hingga 30 namun mendapatkan pelapisan yang khusus.

d. *Asbestos-Cement Pipe*

Pipa ini dibuat dengan mencampurkan serat asbes dengan semen. Pipa ini diproduksi melalui proses pencampuran serat asbes bersama material semen di bawah tekanan tinggi. Ukuran diameternya berada pada rentang 50–90 mm dan mampu menahan tekanan diantara 50–250 mka, menyesuaikan dengan kelas serta metode pembuatannya.

Keunggulan :

- Bobot ringan sehingga praktis untuk penanganan.
- Mampu bertahan terhadap pengaruh air asam maupun basa.
- Dibagian dalamnya memiliki panjang lebih besar sehingga memerlukan sambungan lebih sedikit.
- Bisa dipotong ke beberapa bagian yang kemudian disambung seperti pipa besi tuang (CI).

Kelemahan :

- Bersifat rapuh dan mudah mengalami keretakan.

- Tidak cocok untuk menahan tekanan yang terlalu tinggi.

e. *Galvanised-Iron Pipe*

Jenis pipa GI umum dipakai sebagai saluran air di dalam bangunan. Ketersediaannya mencakup diameter antara 60–750 mm.

Kelebihan :

- Beratnya tidak berat yang akibatnya gampang diangkut dan dipakai.
- Penyambungan relatif gampang dilakukan.
- Permukaan bagian dalam lembut karenanya hilangnya gaya tekan karena gaya sentuh sangat minim.

Kelemahan :

- Masa pakai relatif singkat, hanya sekitar 7 sampai 10 tahun.
- Mudah mengalami kerusakan akibat air bersifat asam atau basa, dan rentan terbentuk kerak di bagian dalam.
- Harganya tinggi dan umumnya diaplikasikan pada pipa berdiameter sempit.

f. *Plastic Pipe*

Pipa berbahan plastik memiliki beragam keunggulan, seperti ketahanan terhadap karat, bobot yang ringan, serta biaya yang ekonomis. Pipa polietilena biasanya berwarna hitam. Jenis ini lebih tahan terhadap reaksi kimia, kecuali terhadap minyak atau lemak asam kuat serta asam nitrat.

Pipa plastik terbagi menjadi 2 jenis:

- 1) "*Low-Density Polytene Pipe*" : lebih lentur, ada sampai lingkaran 63 milimeter, sering dipakai pada saluran jauh, tetapi tak direkomendasikan bagi suplai minum di dalam bangunan.
- 2) "*High-Density polytene Pipe*" : memiliki kekuatan yang tinggi dibanding tipe "*Low-Density*", dengan ukuran diameter mulai dari 16 hingga 400 mm.

Meski praktis, saluran pelastik tidak standart untuk sekitar apabila berkontak dengan zat contohnya alkohol, ester, keton, asam organik dan senyawa sejenisnya.

g. *PVC Pipe (Unplasticised)*

Dibanding pipa polietilena biasa, pipa *Polyvinyl Chloride* memiliki kekuatan tiga kali lipat. Pipa ini lebih kokoh dan mampu menahan tekanan yang lebih besar. Sambungannya dapat dibuat dengan metode pengelasan.

Pipa PVC tahan terhadap pengaruh korosi, garam, senyawa organik, alkali, serta asam organik. Penggunaannya meliputi penyaluran air dingin baik di dalam atau luar sistem saluran drainase bawah tanah, pembuangan air, dan distribusi air minum.

Pipa PVC tersedia di beragam pilihan ukuran.

2.8.2 Perencanaan Teknik Unit Distribusi

Rencana pada pembangunan SPAM pada bagian penyaluran bisa meliputi sistem saluran yang saling terhubung membentuk sistem tertutup, jaringan distribusi bercabang, maupun perpaduan keduanya. Desain pola sistem saluran penyaluran dipengaruhi dari faktor kondisi jalanan wilayah, letak reservoir, cakupan area pelayanan, jumlah konsumen, serta jalur jalan yang menjadi lokasi pemasangan pipa. Kriteria pipa distribusi ini dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 “Kriteria Pipa Distribusi”

No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	“Debit Perencanaan”	“Q puncak”	“Kebutuhan air jam puncak” $Q_{\text{peak}} = F_{\text{peak}} \times Q_{\text{rata-rata}}$
2	“Faktor jam puncak”	“F.puncak”	1.15 - 3
3	“Kecepatan aliran air dalam pipa”		
	a) “Kecepatan Minimum”	“V min”	0.3 - 0.6 m/det
	b) “Kecepatan Maksimum”		
	“Pipa PVC atau ACP”	“V. max”	3 - 4.5 m/det
	“Pipa baja atau DCIP”	“V. Max”	6 m/det
4	“Tekanan air dalam pipa”		
	a) “Tekanan Minimum”	“h min”	“(0.5 - 1) atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh.”
	b) “Tekanan Maksimum”		
	“Pipa PVC atau ACP”	“h max”	6 - 8 atm

“Pipa baja atau DCIP”	“h max”	10 atm
“Pipa PE 100”	“h max”	12.4 Mpa
“Pipa PE 80”	“h max”	9.0 MPa

(Sumber : Peraturan Menteri Pekerja Umum Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum No : 18 Tahun 2007)

2.8.3 Perpipaan Distribusi

1. Penempatan Pipa

Saluran utama penyaluran sebisanya diletakkan pada bawah permukaan daratan. Ketebalan lapisan daratan yang menutup saluran paling sedikit ditetapkan 80 sentimeter di situasi normal dan 100 sentimeter bagi saluran yang berada di bawah jalan.

2. Peralatan Pipa

Selain saluran distribusi utama, dibutuhkan pula tambahan perlengkapan untuk membantu proses penyaluran air pada sistem ini.

a) Katup Udara

Air Valve (katup udara) berfungsi untuk melepaskan gelembung atau kantong udara yang berada di dalam saluran pipa.

b) Sistem Penguras

Perangkat penguras digunakan untuk membuang kotoran atau sedimen yang mengendap di bagian dalamnya saluran.

c) Supply Pemadam Api

Bagian tersebut wajib tersedia di jaringan penyalur untuk titik atau fasilitas pengambilan air ketika terjadi insiden kebakaran.

d) Katup Gerbang

Peralatan ini digunakan untuk memisahkan atau mengisolasi sebuah tempat layanan atau jalur terbatas, dimana amat bermanfaat waktu proses pemeliharaan dilakukan.

e) Sambungan Pipa

Perlengkapan seperti tee, belokan, *reducer*, dan komponen lainnya harus disediakan serta dipakai di jalur penyaluran sejalan kebutuhan di tempat.

f) Perangkat Kendali Aliran

Setiap jarak 200 hingga 300 meter pada pipa distribusi harus dipasang alat pengendali guna mengatasi potensi penyumbatan yang diakibatkan oleh kotoran yang terperangkap di dalam pipa.

g) Jaringan Saluran Tersier atau Sekunder

Titik sambung menuju tempat tinggal atau gedung lainnya tak diperbolehkan langsung ke saluran penyalur utama yang memiliki diameter lebih dari 150 mm. Oleh sebab itu, dibutuhkan pipa sekunder atau tersier dengan ukuran 80 milimeter atau 50 milimeter yang terpasang lurus. Tujuannya adalah untuk meminimalkan atau mencegah rembesan yang umumnya ada di titik sebrangan saluran karena kerusakan atau rusaknya saluran itu (Joko, 2010).

2.9 Reservoir

2.9.1 Lokasi dan Tinggi Reservoir

Tempat serta ketinggian tanki tampungan ditentukan dengan mempertimbangkan hal-hal berikut :

- a. Penempatan layanan penampung dekat sumber area layanan, dikecualikan apabila kondisi lapangan tak mendukung. Lainnya, perlu juga mempertimbangkan pemakaian saluran pipa ganda
- b. Ketinggian penampung di gaya tarik bumi harus diatur sebisanya yang akibatnya penekanan minimal sejalan hitungan hidrolis pada sistem distribusi saluran. Permukaan air dalam tanki penampungan perencanaan ditetapkan dari ketinggian permukaan terendah
- c. Apabila tingkatan permukaan daratan di area layanan tidak seragam, area layanan bisa terbagi ke zona layanan, di mana tiap tiap dilayani oleh 1 unit tanki penampungan. (Peraturan Menteri Pekerja Umum Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum No:18 Tahun 2007)

2.9.2 Volume Reservoir

- a. Tanki Penampungan untuk Layanan

Penentuan kapasitasnya didasarkan pada:

- Total besaran air terbanyak wajib diletakkan ketika konsumsi air berada pada titik terendah, ditambah volume yang diperlukan saat distribusi pada waktu tertinggi akibat dari variasi penggunaan di area layanan serta waktu isi reservoir.
- Persediaan air untuk kebutuhan pemadaman api perkotaan sejalan dengan ketentuan setempat pada daerah kerja Dinas Pemadam Kebakaran setempat.
- Kebutuhan air khusus, seperti untuk pengurusan reservoir, pemeliharaan taman, dan keperluan pariwisata tertentu.

b. Reservoir Penyeimbang

Kapasitas efektif tangki penyeimbang ditetapkan berdasarkan perbandingan antara debit keluaran dan debit masukan ke tangki selama penggunaan air di wilayah layanan. Mekanisme pengisian tangki dapat dilakukan dengan sistem pompa ataupun memanfaatkan gaya gravitasi. Penyaluran air menuju pengguna dilakukan melalui aliran gravitasi.

Teknik Perhitungan Kapasitas Efektif Tangki :

1) Melalui Bentuk Tabel

Dengan metode penyajian tabel, kapasitas efektif merupakan total perbedaan paling besar yang bernilai positif (m^3) serta perbedaan paling besar yang bernilai negatif (m^3) antara variasi penggunaan air dan pasokan air menuju bak penampung. Hasil penghitungan nilai akumulatif disajikan dalam format tabel.

2) Teknik Grafik Waktu

Kapasitas efektif diperoleh melalui total persentase penjumlahan kelebihan terbesar konsumsi air ditambah total kekurangan terbesar penggunaan air terhadap total penyaluran air menuju bak penampung (apabila penyaluran air ke bak penampung dilakukan 24 jam penuh).

3) Berdasarkan Presentase

Kapasitas efektif ditetapkan sejumlah persentase tertentu dari konsumsi air tertinggi harian, setidaknya 15%. Penetapan menggunakan metode ini dipengaruhi oleh pola kebiasaan daerah terkait, sehingga perlu mengacu pada pengalaman yang ada.

2.10 Hukum Kontinuitas

Jika fluida tidak termampatkan bergerak secara terus-menerus melewati tabung atau kanal, dengan luas penampang aliran tetap maupun berubah, maka jumlah volume fluida yang melintas pada setiap unit waktu akan sama di seluruh penampang (Triatmodjo, 1995:116)

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

$$A \times V = A \times V \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

Q = Debit aliran (m³/det)

A = Luas penampang (m²)

V = Kecepatan aliran (m/det)

2.11 Kecepatan Rerata

Untuk menghitung laju rata-rata, dianggap sebuah irisan kecil dari aliran. Jika kapasitas aliran yang melewati pipa berdiameter D adalah Q, maka Laju Rata-rata (V) dinyatakan dengan : (Triatmodjo Hidraulika II, 2010:33)

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

Q = Debit aliran (m³/det)

A = Luas penampang (m²)

V = Kecepatan aliran (m/det)

2.12 Kehilangan Tenaga Aliran Melalui Pipa

Ketika fluida bergerak melalui permukaan pembatas (seperti tabung, kanal terbuka, atau permukaan rata), akan timbul gaya geser serta perbedaan laju pada seluruh area aliran akibat adanya viskositas. Gaya geser tersebut mengakibatkan

hilangnya energi selama proses aliran berlangsung (Triatmodjo, 2010:25). Hukum Bernoulli :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

h_1 = Ketinggian Pipa 1 terhadap bidang acuan (dalam m)

h_2 = Ketinggian Pipa 2 terhadap bidang acuan (dalam m)

P_1 = Tekan pada titik satu (dalam kg/m²)

V = Laju aliran (dalam meter/detik)

g = Percepatan gaya tarik bumi (dalam meter/detik²)

γ_w = Massa dari fluida (dalam kilogram/meter³)

H_f = Hilangnya tinggi tekan (dalam meter)

2.13 Kehilangan Energi Utama (Mayor)

Selama aliran melalui saluran pipa, cairan mengalami penurunan energi yang diakibatkan oleh gesekan atau friksi terhadap permukaan bagian dalam pipa. (Triatmodjo, 2016:288).

2.13.1 Mayor Losses

1. Rumus dari Darcy-Wesbach

Penurunan tenaga pusat di seluruh saluran akibat sentuhan sesuai teori Darcy–Weisbach dinyatakan dengan rumus:

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

h_f = Penyusutan tenaga (meter)

f = Faktor hambatan sentuh (Darcy)

V = Laju alir fluida (meter/detik)

g = Laju kecepatan gaya tarik bumi (09,81 meter/detik²)

D = Ukuran lingkaran saluran (meter)

L = Ukuran keseluruhan saluran (meter)

2. Persamaan Hazen Williams

Persamaan kehilangan energi sedikit lebih sederhana dibandingkan persamaan Darcy Wesbach karena koefisien kehilangan (C_{HW})-nya

tidak berubah terhadap Angka Reynold. Persamaan ini hanya bisa digunakan untuk air,.

$$Q = C_u \times C_{HW} \times d^{2.63} \times i^{0.54} \dots\dots\dots(8)$$

Dari turunan rumus diatas di dapat persamaan

$$H_f = \frac{Q^{1,85}}{(0,2785 \cdot D^{2,63} \cdot C)^{1,85}} \times L \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

C_u = memiliki nilai sebesar 0,2785

C_{HW} = Koefisien Hazen Williams, yang digunakan dalam perhitungan aliran fluida

i = Kemiringan atau gradien dari garis tenaga ($I = \frac{H_f}{L}$)

Q = Debit aliran dalam satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$)

D = Ukuran diameter saluran (dalam meter)

H_f = Besarnya energi yang hilang (dalam meter)

L = Panjang keseluruhan saluran (dalam meter)

2.13.2 Kehilangan Tenaga Sekunder Dalam Pipa

Penurunan energi yang berlangsung di lokasi-lokasi yang memungkinkan perubahan diameter pipa, titik sambung, tikungan, serta katup (penurunan energi sekunder) (Triatmodjo, 2010).

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

K = Nilai kontraksi konstanta (telah ditetapkan)

2.14 Aplikasi WaterCAD

Perangkat lunak "WaterCAD" merupakan aplikasi pemodelan serta pengelolaan distribusi air yang simpel digunakan oleh perusahaan ataupun lembaga yang merancang dan mengatur sistem air dengan kapasitas analisis pipa lebih dari 250 unit. Program ini menawarkan antarmuka yang user-friendly, dimana seluruh fitur telah disusun dalam menu pilihan yang siap diterapkan sesuai dengan tipe tugas yang dibutuhkan. Data masukan yang diperlukan meliputi informasi debit

kebutuhan serta ketersediaan sumber air, data distribusi, peta, dan detail teknis jaringan, yang nantinya akan menghasilkan output berupa karakteristik debit air, kecepatan aliran, tekanan, serta hilangnya penekanan

Program WaterCAD memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Melakukan analisis distribusi air dalam jaringan dengan aliran konstan yang melibatkan pompa, tangki, serta katup pengatur.
2. Menyediakan tahapan atau periodisasi simulasi sistem perpipaan guna mengakomodasi kebutuhan air yang berubah-ubah atau fluktuatif.
3. Memperlihatkan kualitas air yang didistribusikan sekaligus menghitung potensi kehilangan unsur kimia tertentu selama proses distribusi berlangsung.
4. Melaksanakan analisis aliran hydrant (*Fire Flow Analysis*) dan menggambarkan perilaku jaringan pipa saat menghadapi kondisi ekstrem.

