

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Kebutuhan Air Bersih

Dalam analisa kebutuhan air bersih digunakan standar yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya pada tahun 1996. Dalam standar tersebut telah dibagi kategori-kategori wilayah berdasarkan pada jumlah penduduk yang ada. Untuk kebutuhan domestik meliputi kebutuhan rumah tangga sedangkan kebutuhan non-domestik meliputi fasilitas umum yang terdapat pada suatu daerah.

Untuk kategori kebutuhan non-domestik dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan besarnya suatu daerah :

- Kategori I (Metro)
- Kategori II (Kota Besar)
- Kategori III (Kota Sedang)
- Kategori IV (Kota Kecil)
- Kategori V (Desa)

Tabel 2.1 Standar kebutuhan air domestik

Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk				
	Metro >1.000.000	Besar 500.000 s/d 1.000.000	Sedang 100.000 s/d 500.000	Kecil 20.000 s/d 100.000	IKK dan Desa <20.000
Sambungan rumah tangga (L/O/h)	190	170	150	130	100
Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
Sambungan umum (L/O/h)	30	30	30	30	30
Jumlah jiwa per SU	100	100	100	100-200	200
Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
Faktor jam puncak	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75-2,0	1,75	1,75
Sisa tekan di penyediaan air (mka)	10	10	10	10	10
Jam operasi	24 jam	24 jam	24 jam	24 jam	24 jam

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya, 1996)

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori Kota

Sektor	Nilai Kebutuhan	Satuan
Sekolah	10	Liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
Puskesmas	2.000	Liter/hari
Mesjid	3.000	Liter/hari
Perkantoran	10	Liter/pegawai/hari
Pasar	12.000	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: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya, 1996)

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori V (Desa)

Sektor	Nilai Kebutuhan	Satuan
Sekolah	5	Liter/murid/hari
Mesjid	3.000	Liter/Unit/Hari
Musholla	2.000	Liter/Unit/Hari
Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
Puskesmas	1.200	Liter/hari
Hotel	90	Liter/hari
Kawasan Industri	10	Liter/hari

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya, 1996)

2.1.1 Analisis Pertumbuhan Penduduk

Dalam perencanaan kebutuhan air bersih, diperlukan metode analisa pertumbuhan penduduk. Hal ini berfungsi sebagai proyeksi kebutuhan air bersih pada masa yang akan datang. Untuk menganalisis pertumbuhan penduduk tersebut maka digunakan 2 metode, yaitu :

1. Metode Geometrik

2. Metode Aritmatik

A. Metode Geometrik

Proyeksi dengan metoda ini menganggap bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda. Metode ini memperhatikan suatu saat terjadi perkembangan menurun dan kemudian mantap, disebabkan kepadatan penduduk mendekati maksimum.

Rumus yang digunakan :

$$P_n = P_o (1 + r)^{d_n} \quad (2-1)$$

Dimana :

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

P_o = jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = rata-rata prosentase tambahan penduduk tiap tahun.

d_n = kurun waktu proyeksi

B. Metode Aritmatik

Metode ini sesuai untuk daerah yang memiliki karakteristik perkembangan penduduk selalu naik secara konstan, dan dalam kurun waktu yang pendek.

Rumus yang digunakan :

$$P_n = P_o + r (d_n) \quad (2-2)$$

Dimana :

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun periode

P_o = jumlah penduduk pada awal proyeksi

r = rata-rata pertumbuhan penduduk tiap tahun.

d_n = kurun waktu proyeksi

2.2 Distribusi Air Bersih

Sistem distribusi merupakan distribusi atau pembagian air melewati sebuah sistem perpipaan dari bangunan reservoir menuju daerah pelayanan.

Dalam perencanaannya, sistem distribusi air bersih menggunakan pipa memiliki beberapa faktor yang harus diperhatikan, diantaranya yaitu :

1. Daerah layanan dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Jumlah penduduk yang dilayani tergantung pada :
 - Kebutuhan
 - Kemauan / minat

- Kemampuan atau tingkat sosial ekonomi masyarakat
- 2. Kebutuhan air
kebutuhan air adalah debit air yang harus disediakan untuk distribusi daerah pelayanan.
- 3. Letak topografi daerah layanan, yang akan menentukan sistem jaringan dan pola aliran yang sesuai

2.2.1 Tipe Pengaliran

Tipe pengaliran sistem distribusi air bersih meliputi aliran gravitasi dan aliran secara pemompaan. Tipe pengaliran secara gravitasi diterapkan bila tekanan air pada titik terjauh yang diterima konsumen masih mencukupi. Jika kondisi ini tidak terpenuhi maka pengaliran harus menggunakan sistem pemompaan.

2.3 Definisi Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran, dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas, dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan di permukaan zat cair di sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer (Bambang Triatmodjo, 1993:25).

2.3.1 Pipa Distribusi

Pipa distribusi adalah pipa yang membawa air dari reservoir atau sumber air menuju ke konsumen yang terdiri dari :

1. Pipa induk : yaitu pipa utama pembawa air yang akan dibagikan kepada konsumen
2. Pipa cabang : yaitu pipa cabang dari pipa induk
3. Pipa dinas : yaitu pipa pembawa air yang langsung melayani konsumen

2.3.2 Jenis Pipa

Berdasarkan materialnya, pipa terbagi menjadi 2 yaitu pipa logam dan pipa non-logam.

1. Pipa Logam
 - Pipa Baja (Steel Pipe)
 - Pipa Besi Tuang
 - Ductile Cast Iron Pipe (DCIP)
 - Galvanized Iron Pipe (GIP)

- Cast Iron Pipe (CIP)
 - Pipa Logam Campuran (metal/alloy)
2. Pipa Non-Logam
- Pipa Beton
 - Pipa PVC (Poly Vinyl Chloride)
 - Pipa Fiber Glass
 - Pipa Asbes Semen
 - Pipa PE (Poly Ethylene)

2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Pipa

Dari banyaknya jenis pipa yang telah ada, berikut merupakan kelebihan dan kekurangan pipa dari tiap jenisnya :

1. Besi tuang (*cast iron*)

Jenis pipa ini termasuk yang paling lama digunakan, biasanya akan tercelup dalam larutan anti karat untuk perlindungan pipa itu sendiri dari proses perkaratan. Panjang pipa ini antara 4-6 meter, dan dapat mencapai umur 100 tahun. Keuntungan penggunaan pipa ini adalah:

- a. Harga pipa cukup murah dan banyak tersedia di pasaran
- b. Mudah dalam proses penyambungan
- c. Tahan terhadap daya korosi

Kerugian dari penggunaan jenis pipa ini adalah:

- a. Konstruksi pipa keras mudah pecah
- b. Pipa berat sehingga berpengaruh terhadap daya pengangkutan ke lokasi

2. Besi galvanis (*galvanized iron pipe*)

Pipa jenis ini bahannya terbuat dari pipa besi yang dilapisi seng. Umurnya relative pendek antara 7-10 tahun, pipa ini dipakai secara luas untuk jaringan pelayanan yang kecil di dalam suatu distribusi.

Keuntungan penggunaan pipa ini adalah:

- a. Harga terjangkau dan banyak terdapat di pasaran.
- b. Ringan sehingga mudah diangkut ke lokasi pekerjaan.
- c. Mudah dalam proses penyambungan

Kerugian dari penggunaan pipa ini adalah mudah terjadi krosi atau perkaratan.

3. Pipa plastic (PVC)

Pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) sekarang ini banyak digunakan dalam proyek-proyek jaringan distribusi air bersih. Panjang pipa 4-6 meter dengan berbagai ukuran. Keuntungan penggunaan pipa ini adalah:

- a. Umur pipa dapat mencapai 75 tahun
- b. Banyak tersedia di pasaran dan harga cukup murah
- c. Sangat ringan dan mudah dalam proses pemasangannya
- d. Bahan terbuat dari plastic, sehingga PVC sangat tahan terhadap karat.
- e. Mudah dalam pengangkutan ke lokasi pemasangan

Satu kelemahan dari jenis pipa PVC adalah koefisien muai yang cukup besar sehingga tidak tahan terhadap suhu yang terlalu tinggi.

4. Pipa baja (*steel pipe*)

Pipa ini terbuat dari baja lunak dan mempunyai banyak ragam serta ukuran.

Keuntungan penggunaan pipa ini adalah:

- a. Tersedia dalam berbagai ukuran
- b. Umur pipa bisa sampai 40 tahun

Kerugiannya adalah:

- a. Berat sehingga berpengaruh terhadap biaya pengangkutan
- b. Tidak tahan perkaratan
- c. Untuk ukuran yang besar sistim penyambungan agak sulit.

2.4 Reservoir

Reservoir merupakan bangunan penampungan air bersih sebelum dilakukan pendistribusian ke pelanggan / masyarakat, yang dapat ditempatkan di permukaan tanah, di atas permukaan tanah maupun dibawah permukaan tanah. Bangunan reservoir umumnya di letakan di dekat jaringan distribusi pada ketinggian yang cukup untuk mengalirkan air secara baik dan merata ke seluruh daerah konsumen. Penentuan dimensi *reservoir* memiliki peran penting dalam sistem penyediaan air bersih karena berkaitan dengan kapasitas tampung air. *Reservoir* diharapkan memiliki kapasitas yang cukup untuk menampung air pemasukan dan cukup untuk menyimpan debit air yang akan didistribusikan ke sambungan rumah.

2.5 Mekanika Fluida

2.5.1 Definisi Fluida

Fluida adalah zat yang dapat mengalir, yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa. Tahanan fluida terhadap

perubahan bentuk sangat kecil, sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruangan/tempat yang membatasinya (Suroso 2008:11). Fluida dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu zat cair dan zat gas.

Persamaan sifat-sifat zat cair dan gas adalah:

1. Tidak melawan perubahan bentuk.
2. Tidak mengadakan reaksi terhadap gaya geser, yaitu gaya yang bekerja sejajar dengan permukaan lapisan zat cair atau gas yang mencoba menggeser lapisan tersebut sehingga dengan sentuhan sedikit saja maka akan bergerak.

Sedang perbedaan utamanya adalah:

1. Zat cair mempunyai permukaan bebas dan zat cair hanya akan mengisi volume ruangan yang diperlukan saja, sedangkan gas tidak mempunyai permukaan bebas dan massanya akan mengisi seluruh ruangan.
2. Zat cair praktis sebagai zat yang tak termampatkan (*incompressible*), sedangkan gas adalah zat yang dapat dimampatkan.

2.5.2 Sifat Dasar Fluida

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu (Streeter dan Wylie, 1993:3). Untuk memahami aliran fluida maka harus mengetahui sifat dasar fluida. Beberapa sifat dasar fluida yaitu kekentalan (*viscosity*), kerapatan (*density*), berat jenis spesifik (*specific gravity*), gravitasi jenis spesifik (*specific gravity*) dan tekanan (*pressure*).

a. Kerapatan (*density*)

Kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massanya per volume satuan. Kerapatan atau densitas atau massa jenis merupakan ukuran seberapa banyak suatu entitas berada dalam suatu jumlah yang tetap dalam suatu ruang. Kerapatan dinyatakan dengan ρ yang dibaca "rho".

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-3)$$

dimana :

m : massa (kg)

V : volume (m^3)

ρ : kerapatan (kg/m^3)

Berikut merupakan tabel nilai kerapatan dari berbagai bahan, dalam tabel tersebut ditetapkan juga suhu dan tekanan karena besaran ini akan dipengaruhi kerapatan bahan (meskipun pengaruhnya kecil untuk zat cair).

Tabel 2.4 Kerapatan (density) bahan

Bahan	Kerapatan ρ (kg/m ³)
Cair	
Air pada suhu 4°C	1.00x10 ³
Darah, plasma	1.03x10 ³
Darah seluruhnya	1.05x10 ³
Air laut	1.025x10 ³
Raksa	13.6x10 ³
Alkohol, alkyl	0.79x10 ³
Bensin	0.68x10 ³
Gas	
Udara	1.29
Helium	0.179
Karbon dioksida	1.98
Uap air pada suhu 100°C	0.598

b. Kekentalan (*viscosity*)

Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya (Bambang Triatmodjo, 1993:1). Nilai kekentalan suatu fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan (μ).

$$\mu = \frac{F \times L}{A \times v} \quad (2-4)$$

dimana :

μ : koefisien kekentalan (Pa.s)

F : gaya (N)

L : jarak antar dinding wadah (m)

A : luasan fluida yang bersinggungan dengan wadah (m²)

v : kecepatan fluida (m/detik)

c. Berat Jenis Spesifik (*specific weight*)

Berat jenis satu zat adalah beratnya per volume satuan. Berat jenis spesifik dinyatakan dengan γ yang dibaca “gamma”.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{m \times g}{V} = \frac{\rho \times V \times g}{V} = \frac{\rho}{g} \quad (2-5)$$

dimana :

W : berat (kg.m/s²)

V : volume (m³)

m : massa (kg)

g : percepatan gravitasi = 9,81 m/s²

ρ : kerapatan (kg/m³)

γ : berat jenis spesifik (N/m³)

d. Gravitasi Jenis Spesifik (*specific gravity*)

Gravitasi jenis satu zat adalah perbandingan beratnya terhadap berat air pada kondisi standar pada volume yang sama. Gravitasi jenis dapat pula dinyatakan sebagai perbandingan kerapatan atau berat jenisnya terhadap kerapatan atau berat jenis air (Streeter dan Wylie, 1993:14). Fluida standar adalah air murni pada suhu 4°C untuk cairan dan udara pada suhu ruangan (20-25°C) untuk gas. Gravitasi jenis spesifik adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan. Gravitasi jenis spesifik dinyatakan dengan SG.

$$SG_{\text{cairan}} = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

e. Tekanan (*pressure*)

Gaya normal yang mendorong suatu bidang datar dibagi dengan luas bidang tersebut adalah tekanan rata-rata (Streeter dan Wylie, 1993:14). Jika suatu fluida melakukan tekanan terhadap dinding-dinding sebuah wadah, maka wadah tersebut akan melakukan reaksi terhadap fluida itu yang akan bersifat kompresif (memampatkan).

$$P = \frac{F}{A} \quad (2-6)$$

dimana :

F : Gaya normal (N)

A : Luas bidang (m²)

P : Tekanan (N/m² atau Pa)

2.5.3 Hukum Newton Tentang Kekentalan Zat Cair

Kekentalan zat cair menyebabkan terbentuknya gaya-gaya geser antara dua elemen zat cair. Keberadaan kekentalan ini menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran atau diperlukannya energi untuk menjamin adanya pengaliran.

Hukum Newton tentang kekentalan menyatakan bahwa tegangan geser antara dua partikel zat cair yang berdampingan adalah sebanding dengan perbedaan kecepatan dari kedua partikel (Bambang Triatmodjo, 1993:2).

2.5.4 Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

Kecepatan aliran fluida perlu diketahui agar dapat menentukan kapasitas aliran fluida. Besarnya kecepatan fluida dapat diperoleh dengan menghitung waktu yang diperlukan suatu benda tertentu untuk menempuh jarak yang telah ditentukan. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar pula kapasitas aliran. Secara matematis, kapasitas aliran dinyatakan dengan:

$$Q = A \times v \quad (2-7)$$

dengan :

A = luas penampang aliran fluida (m²)

v = kecepatan rata-rata aliran fluida (m/s)

Q = kapasitas aliran fluida (m³/s)

2.5.5 Angka Reynolds

Osborn Reynolds melalui percobaannya menyimpulkan bahwa keadaan aliran dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu kekentalan, rapat massa zat cair, dan diameter pipa. Reynolds menunjukkan bahwa aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan suatu angka tertentu. Angka tersebut diturunkan dengan membagi kecepatan aliran di dalam pipa dengan nilai yang disebut angka Reynolds.

$$Re = \frac{v}{\mu / \rho \times d} = \frac{v \times \rho \times d}{\mu} \text{ atau } Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (2-8)$$

Dimana:

- v : Kecepatan (rata-rata) fluida yang mengalir (m/s)
- d : Diameter dalam pipa (m)
- ρ : Massa jenis fluida (kg/m^3)
- μ : Viskositas dinamik fluida (kg/m.s) atau (N. det/ m^2)

Berdasarkan percobaan aliran dalam pipa, Reynolds menetapkan bahwa angka Reynolds di bawah 2000, gangguan aliran dapat diredam oleh kekentalan zat cair, dan aliran pada kondisi tersebut laminar. Aliran akan menjadi turbulen apabila angka Reynolds lebih besar dari 4000. Apabila angka Reynolds antara kedua nilai tersebut $2000 < \text{Re} < 4000$ maka aliran berjenis transisi. (Suroso 2008:232)

2.5.6 Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Dalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran ini terjadi apabila kecepatan kecil dan/atau kekentalan besar.

Pada aliran turbulen gerak partikel-partikel zat cair tidak teratur. Aliran ini terjadi apabila kecepatan besar dan kekentalan zat cair kecil (Bambang Triatmodjo, 1993:3).

2.5.7 Kehilangan Energi Aliran Melalui Pipa (Head Loss)

Pada zat cair yang mengalir di dalam 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 menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran. Kehilangan energi karena gesekan antara zat cair dengan bidang batas disebut kehilangan energi primer (major losses). Pada aliran turbulen dan mantap seperti pada gambar, dianggap hanya terjadi kehilangan energi karena gesekan. Gaya-gaya yang bekerja adalah gaya tekanan, berat zat cair dan gaya geser dinyatakan dalam persamaan Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H \quad (2-9)$$

Dimana:

- γ : Berat jenis fluida
- g : Percepatan gravitasi ($9,82 \text{ m/s}^2$)
- v : Kecepatan fluida (m/s^2)
- z : Tinggi permukaan (m)
- p : Tekanan pada fluida (N/m^2)

H : Kehilangan tekanan atau *head loss* (m)

Secara umum kehilangan energi terbagi menjadi 2 macam, yaitu :

1. Kehilangan energi mayor
2. Kehilangan energi minor

2.5.8 Kehilangan Energi Mayor (Major Losses)

Kehilangan energi mayor atau kehilangan energi yang disebabkan oleh gesekan. Kehilangan energi ini juga dapat disebut sebagai kehilangan energi primer. Kehilangan energi mayor terjadi akibat adanya kekentalan zat cair karena adanya kekasaran dinding batas pipa dan akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan kehilangan energi disepanjang pipa dengan diameter konstan pada aliran seragam. Persamaan yang digunakan untuk menganalisa mayor losses yaitu dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L v^2}{d 2g} \quad (2-10)$$

Dimana:

- f : Koefisien kerugian gesek
 L : Panjang pipa (m)
 v : Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)
 d : Diameter dalam pipa (m)
 g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.5.9 Kehilangan Energi Minor (Minor Losses)

Kehilangan energi minor adalah kehilangan energi yang diakibatkan karena adanya perubahan kecepatan pada zat cair. Selain itu, kehilangan energi minor juga disebabkan oleh kelengkapan pada pipa seperti sambungan, siku, katup dan sebagainya. Persamaan yang digunakan untuk menganalisa minor losses yaitu:

$$h_L = k_L \frac{v^2}{2g} \quad (2-12)$$

dimana:

- h_L : Kehilangan energi minor
 k_L : Koefisien kerugian head minor kelengkapan pipa
 v : Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)
 g : Percepatan gravitasi = 9,81 m/s