

BAB II

LANDASAN TEORI

Penyediaan air bersih di Desa Kanigoro Kecamatan Saptosari Kabupaten Gunungkidul diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat, yang kemudian dapat berdampak pada perkembangan daerah atau kawasan tersebut. Untuk itu sasaran jangka pendek dari perencanaan ini adalah mengupayakan ketersediaan air dengan tingkat pemenuhan yang dapat ditelorir di daerah yang membutuhkan, yaitu dengan membuat atau mencari suatu sumber air. Untuk keperluan jangka panjang perencanaan detail desain dilakukan dengan mempertimbangkan seluruh masyarakat terlayani secara optimal, baik untuk keperluan rumah tangga, fasilitas umum (MCK umum), perkantoran, sekolahan dan sarana ibadah. Kebutuhan air yang ideal dihitung dengan pertimbangan *life time* dari bangunan yang direncanakan. Berdasarkan data ini dapat dihitung tingkat pemenuhan yang ideal dan tingkat pemenuhan saat ini. Jika tingkat pemenuhannya sangat kecil, maka perlu segera direncanakan lagi penambahan sumur, jaringan pipa, bak reservoir dan bak distribusi.

2.1. Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air pada tingkat minimal adalah berupa pemasangan kran umum, yang dapat melayani beberapa rumah tangga. Kebutuhan tersebut dapat diestimasi berdasarkan persamaan berikut :

$$V_n = J_p \cdot S_p \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

V_n = Kebutuhan air (liter/hari),

J_p = Jumlah pengguna (orang),

S_p = Satuan pemakaian (liter/orang/hari).

Satuan pemakaian sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: kepadatan penduduk, kesejahteraan masyarakat, iklim, kebiasaan penduduk, usia penduduk dll. Dalam perencanaan ini digunakan standar dari Cipta Karya dimana kebutuhan air bersih untuk daerah pedesaan adalah 60 lt/orang/hari. Sedangkan kebutuhan air bersih untuk kecamatan, kabupaten dan propinsi berdasarkan standar dari Cipta Karya adalah seperti terlihat pada Tabel 2.1. Kebutuhan lainnya yang perlu diperhitungkan adalah kebutuhan air untuk keperluan fasilitas umum (sarana ibadah dan kantor pemerintahan), kebocoran di jaringan pipa dan untuk ternak. Standar kebutuhan air yang digunakan menggunakan analisis kebutuhan air adalah Kriteria Penentuan Kebutuhan Air Domestik Perkotaan yang dikeluarkan oleh Direktorat Teknik Penyehatan Direktorat Jenderal Cipta Karya sebagaimana tabel berikut.

Tabel 2.1.
Kriteria Penentuan Kebutuhan Air Domestik Perkotaan

No.	Jenis Kebutuhan	Jenjang Perkotaan		
		Propinsi	Kabupaten	Kecamatan (IKK)
1	Domestik	120 l/o/h	100 l/o/h	80 l/o/h
2	Pelayanan Umum	35 % Domestik	25 % Domestik	10 % Domestik
3	Industri	25 % Domestik	20 % Domestik	20 % Domestik
4	Perdagangan	25 % Domestik	20 % Domestik	15 % Domestik
5	Kehilangan Air	15 % Domestik	15 % Domestik	10 % Domestik
6	Penggelontoran	40 % Domestik	35 % Domestik	30 % Domestik

Sumber : Direktorat Teknik Penyehatan Direktorat Jenderal Cipta Karya
Departemen Pekerjaan Umum Tahun 1988

2.1.1. Kebutuhan Air

Kebutuhan air merupakan jumlah air yang diperlukan bagi kebutuhan per unit konsumsi, serta kehilangan air dan pertimbangan bagi kebutuhan air pemadam kebakaran. Kebutuhan air dibedakan menjadi :

1. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan dasar domestik ditentukan oleh adanya konsumen domestik yang berasal dari data penduduk, pola kebiasaan, dan tingkat hidup yang didukung adanya perkembangan sosial ekonomi yang memberikan kecenderungan peningkatan kebutuhan air.

2. Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik ditentukan oleh adanya konsumen non domestik. Konsumen non domestik ini, meliputi fasilitas-fasilitas :

- perkantoran,
- tempat ibadah,
- tempat pendidikan,

- kesehatan (puskesmas, rumah sakit),
- komersial (pasar, toko, penginapan, gedung bioskop, tempat pariwisata),
- industri.

Untuk perkembangan kebutuhan dasar non domestik perlu diketahui rancangan pengembangan aktivitasnya. Bila tidak ada rancangan pengembangan aktivitas yang dimaksud, maka konsumen non domestik dapat dihitung dengan mengikuti perkembangan kebutuhan dasar konsumen domestik pada satuan ekuivalen penduduk. Pada perhitungan kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan harian maksimum dan kebutuhan air jam maksimum, dengan referensi kebutuhan air rata-ratanya.

1. Kebutuhan Air Rata-rata Harian (Q_{rh})

Yaitu banyaknya air yang dibutuhkan selama satu tahun dibagi dengan banyaknya hari dalam satu tahun (365 hari).

$$Q_{rh} = \frac{\sum_{n=1}^{365} Q_n}{365} \dots\dots\dots (2.2)$$

Besarnya kebutuhan air rata-rata harian ini digunakan untuk perencanaan pada pembangunan instalasi pengolahan air bersih.

2. Kebutuhan Air Harian Maksimum (Q_{hm})

Yaitu banyaknya air yang dibutuhkan terbesar pada hari tertentu dalam waktu satu tahun.

$$Q_{hm} = F_{hm} * Q_{rh} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$F_{hm} > 1 \text{ atau } F_{hm} = (115-120)\% \dots\dots\dots (2.4)$$

3. Kebutuhan air jam maksimum (Q_{jm})

Yaitu banyaknya air yang dibutuhkan terbesar pada jam tertentu pada kondisi kebutuhan air hari maksimum.

$$Q_{jm} = F_{hm} * Q_{hm} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$F_{hm} = 1,5-3,5 \dots\dots\dots (2.6)$$

Besarnya kebutuhan air jam maksimum ini digunakan untuk menentukan dimensi pipa induk distribusi.

2.1.2. Proyeksi Penduduk

Untuk mengetahui kebutuhan air pada tahun perencanaan, maka harus diketahui paling tidak perkiraan jumlah penduduk pada tahun tersebut, berdasarkan data yang ada pada tahun-tahun sebelumnya. Adapun metode proyeksi penduduk yang biasa digunakan ada beberapa macam, antara lain :

1. Metode Rata-rata Aritmatika

Metode ini sesuai untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang selalu naik secara konstan.

$$P_n = P_0 + (r * n) \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

P_0 = jumlah penduduk pada awal proyeksi (jiwa),

P_n = jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa),

r = rata-rata pertambahan penduduk (jiwa/tahun),

n = kurun waktu proyeksi (tahun).

2. Metode Regresi Linier

Metode ini juga sesuai untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang mempunyai kecenderungan garis linier meskipun perkembangan penduduk tidak selalu bertambah.

$$P_n = a + (b * n) \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana :

P_n = jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

n = kurun waktu proyeksi (tahun)

$$a = \frac{\sum P * \sum X^2 - \sum X * \sum P * X}{N * \sum X^2 - (\sum X)^2} \text{ (jiwa) } \dots\dots\dots (2.9)$$

$$b = \frac{N * \sum P * X - \sum X * \sum P}{N * \sum X^2 - (\sum X)^2} \text{ (jiwa) } \dots\dots\dots (2.10)$$

3. Metode Geometri

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

$$P_n = P_0 * (1 + r)^n \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

P_n = jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa),

P_0 = jumlah penduduk pada awal proyeksi (jiwa),

r = rasio penambahan penduduk / populasi (%),

n = kurun waktu proyeksi (tahun).

2.2. Sistem Distribusi Air Bersih

2.2.1. Sistem Pengaliran Air Bersih

Untuk mendistribusikan air bersih pada dasarnya dapat dipakai salah satu sistem diantara tiga sistem pengaliran yang ada, yaitu :

1. Sistem pengaliran secara gravitasi

Sistem ini digunakan bila tinggi elevasi sumber air bersih atau pengolahan berada jauh di atas tinggi elevasi daerah pelayanan. Dan sistem ini dapat memberikan energi potensial yang cukup tinggi hingga pada daerah pelayanan terjauh. Sistem ini merupakan sistem yang paling memuaskan dan menguntungkan karena pengoperasian dan pemeliharaannya lebih mudah.

2. Sistem pengaliran dengan menggunakan pompa

Sistem ini digunakan bila beda tinggi elevasi antara sumber air atau instalasi dengan daerah pelayanan tidak dapat memberikan tekanan air yang diinginkan/cukup, sehingga debit dan tekanan air yang diinginkan akan dipompa langsung ke jaringan pipa distribusi.

3. Sistem pengaliran kombinasi

Sistem ini merupakan pengaliran dimana air bersih dari sumber air atau instalasi pengolahan akan dialirkan ke jaringan pipa distribusi dengan menggunakan pompa dan reservoir distribusi, baik dioperasikan secara bergantian atau bersama-sama.

2.2.2. Sistem Penyediaan Air Bersih

Ada dua sistem distribusi air bersih yang akan disediakan melalui pipa induk, yaitu:

1. Sistem *Kontinyu*

Pada sistem ini, air bersih yang ada akan disediakan dan didistribusikan kepada konsumen secara terus menerus selama 24 jam. Sistem ini biasanya akan diterapkan bila pada setiap waktu kuantitas air bersih yang ada dapat menyediakan seluruh kebutuhan konsumen di daerah pelayanan tersebut. Keuntungan sistem distribusi ini adalah :

- a. konsumen akan mendapatkan air bersih setiap saat,
- b. air bersih yang diambil dari titik pengambilan di dalam jaringan pipa distribusi selalu dalam keadaan segar.

Kerugian sistem ini adalah:

- a. pemakaian air cenderung lebih besar,
- b. bila ada sedikit kebocoran, maka jumlah air yang terbuang besar.

2. Sistem *Intermiten*

Pada sistem ini, air bersih yang ada akan disediakan dan didistribusikan kepada konsumen hanya selama beberapa jam dalam satu harinya, biasanya 2-4 jam pada pagi hari dan 2-4 jam pada sore hari. Sistem distribusi ini dipilih terutama bila kuantitas dan tekanan air yang cukup tidak tersedia dalam sistem. Keuntungan sistem ini :

- a. pemakaian cenderung lebih hemat,
- b. bila ada kebocoran, maka jumlah air yang terbuang relatif kecil.

Kerugian sistem ini :

- a. bila terjadi kebakaran pada saat jam tidak beroperasi, maka air untuk pemadam kebakaran tidak tersedia,
- b. setiap rumah perlu menyediakan tempat penyimpanan air yang cukup agar kebutuhan air sehari-hari dapat terpenuhi,
- c. dimensi pipa yang dipakai akan lebih besar, karena kebutuhan air yang akan disediakan dan didistribusikan dalam sehari hanya ditempuh dalam jangka waktu pendek.

Dari kedua sistem distribusi ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kontinyu merupakan sistem distribusi yang baik dan ideal.

2.2.3. Sistem Jaringan Induk

Ada dua sistem jaringan induk distribusi yang dipakai dalam pendistribusian air bersih, yaitu :

1. Sistem Cabang atau *Branch (Dead End System)*

Sistem ini merupakan sistem jaringan perpipaan dimana pengaliran air hanya menuju ke satu arah saja dan terdapat titik akhir (*dead end*) yang merupakan ujung jaringan pipa. Keuntungan sistem ini adalah lebih sederhana dalam perhitungan dimensi pipa yang akan dipakai. Kerugiannya ialah :

- a. kemungkinan terjadinya penimbunan kotoran dan pengendapan di ujung pipa tidak dapat dihindari, sehingga diperlukan pembersihan yang intensif untuk mencegah timbulnya bau,
- b. bila terjadi pengrusakan, pengaliran air dibawahnya akan terhenti,

- c. kemungkinan tekanan air yang diperlukan tidak cukup bila ada sambungan baru.

2. Sistem Melingkar atau *Loop (Grid Iron)*

Pada sistem ini, jaringan pipa induk distribusi saling berhubungan satu sama lainnya membentuk lingkaran-lingkaran, sehingga pada pipa induk tidak terdapat titik mati (*dead end*).

Keuntungan dari sistem ini :

- a. tidak terjadi penimbunan kotoran dan pengendapan,
- b. keseimbangan aliran air mudah dicapai.

Kerugian sistem ini adalah :

- a. sistem perpipaannya rumit,
- b. perlengkapan pipa yang digunakan sangat banyak.

2.2.4. Sistem Perpipaan

Menurut penggunaannya macam-macam pipa yang dipergunakan dalam perencanaan sistem distribusi air bersih , sebagai berikut :

1. Pipa Primer atau Pipa Induk (*Supply Main Pipe*)

Pipa primer adalah pipa yang berfungsi membawa air bersih dari instalasi pengolahan atau reservoir distribusi ke satu zona atau daerah pelayanan. Pipa primer ini memiliki diameter yang relatif besar.

2. Pipa Sekunder (*Artikel Main Pipe*)

Pipa sekunder adalah pipa yang disambungkan langsung pada pipa primer dan mempunyai diameter yang sama atau kurang dengan diameter pipa primer.

3. Pipa Tersier atau pipa servis (*Service Connection*)

Pipa tersier merupakan pipa yang dihubungkan langsung ke konsumen atau dapat disambungkan langsung pada pipa sekunder atau primer. Pipa tersier ini mempunyai diameter yang relatif kecil.

Beberapa jenis pipa yang umum digunakan dalam pekerjaan sistem distribusi air bersih, antara lain :

- a. *Cast Iron Pipe* (CIP),
- b. *Ductile Iron Pipe* (DIP),
- c. *Galvanized Iron Pipe* (GIP),
- d. *Asbes Cement Pipe* (ACP),
- e. *Polyvinyl Chloride* (PVC),
- f. *Polyethelene* (PE).

Dalam merencanakan suatu sistem distribusi air bersih, ada hal-hal yang perlu diperhatikan sehubungan dengan masalah perpipaan, yaitu :

1. Pemilihan bahan pipa

Bahan pipa yang akan dipakai dan dipasang tergantung pada faktor-faktor:

- a. harga,
- b. tekanan air dalam system,
- c. korosifitas oleh air dan tanah,
- d. kondisi lapangan (beban lalu lintas, letak saluran air kotor dan kepadatan daerah perkotaan/pemukiman).

2. Kedalaman dan perletakan pipa

Kedalaman atau penanaman pipa disesuaikan dengan kemiringan pipa yang didapat dari hitungan di bab iv pada kedalaman berbeda menurut ukuran pipa yang di dapat pada karakteristik tiap pipa.

2.2.5. Tekanan Kerja Pipa

Pada kenyataan, pipa yang ditanam di dalam tanah mengalami dua tekanan yang datang dari dalam pipa itu sendiri akibat fluida yang ada dalam pipa, dan tekanan lain yang berasal dari gaya berat pelindung dan beban lain yang melewati jalan dimana pipa tersebut ditanam.

Tekanan karena fluida yang berada dalam pipa (dalam hal ini adalah air) yang paling berpengaruh adalah tekanan statisnya. Sedangkan tekanan dinamisnya sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Tekanan statis ini terjadi karena beda muka air antara dua titik yang ditinjau, yaitu muka air di reservoir dengan titik yang ditinjau, atau muka air tertinggi terhadap muka air terendah.

Tekanan yang bekerja pada dinding yang berasal dari luar dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

- berat beban di atas tanah, yaitu beban hidup dan beban mati (berat tanah sendiri),
- homogenitas lapisan tanah/pasir pelapis,
- konsentrasi tekanan pipa.

Pipa akan lebih mudah pecah bila pada dindingnya bekerja tanah yang terpusat (misalnya dengan adanya batu/benda keras lainnya disekitar dinding pipa).

2.2.6. Hidraulika Aliran dalam Pipa

Suatu aliran dalam pipa (*pipe flow*) dapat terjadi jika terdapat beda tinggi energi (*head*). Persamaan energi antara dua penampang pipa dihitung berdasarkan persamaan berikut ini.

$$Z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + h_p = Z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

Z_A dan Z_B = Elevasi titik A dan B terhadap datum,

V_A dan V_B = Kecepatan rerata pada titik A dan B,

$\frac{p_A}{\gamma}$ dan $\frac{p_B}{\gamma}$ = Tinggi tekanan di titik A dan B,

h_p = Tinggi tekanan energi yang diberikan oleh pompa,

h_f = Kehilangan tekanan akibat gesekan.

Kehilangan tinggi tekanan (h_f) dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach sebagai berikut:

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

f = Koefisien kekasaran pipa yang dihitung dengan menggunakan grafik Moody.

Kehilangan tinggi tekanan yang diakibatkan oleh belokan maupun sambungan pipa dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$H = k \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

k = koefisien belokan/sambungan,

v = kecepatan aliran dalam m / dt,

g = gravitasi bumi dalam 9,81 m² / dt.

Secara empiris Hazen-William menyajikan suatu persamaan untuk menghitung kecepatan aliran dalam pipa, yaitu :

$$V = 0,354 \cdot C_H \cdot I^{0,54} \cdot D^{0,63} \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana :

I = kemiringan garis energi,

C_H = koefisien Hanzen-William,

D = diameter pipa dalam meter (m)

Tabel 2.2.
Nilai koefisien belokan atau sambungan

Tipe sambungan	Koefisien kehilangan energi (k)
Lengkung	
- 90°	0,4
- 45°	0,3
- 22,5°	0,2
Tebah	
- Pengaliran dalam pipa induk	0,2
- Pengaliran dalam pipa cabang	0,9
Stop kran	
- Terbuka penuh	0,2

Debit aliran yang mengalir dalam pipa dihitung dengan persamaan:

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana :

D = diameter pipa dalam meter (m),

v = kecepatan aliran m / dt.

2.2.7. Percabangan Pipa

Aliran air dari bak reservoir menuju beberapa bak distribusi merupakan suatu sistem percabangan pipa. Untuk itu kemana arah aliran sesungguhnya dan berapa debit yang mengalir di tiap pipa perlu dihitung. Perhitungan dengan menggunakan trial and error, yaitu dengan menganggap aliran terjadi pada suatu jalur tertentu, kemudian di cek kebenarannya, apabila ternyata tidak tepat, maka perlu dirubah lagi arahnya dan diameter dari pipa yang dipasang.

2.2.8. Alat Ukur Debit

Alat ukur debit yang digunakan dalam penelitian ini dengan metode manual. Alat ukur manual yang dipergunakan adalah jam, alat ukur/pengaris. Cara pengukuran yang dilakukan adalah :

1. Mengetahui volume bak yang akan diukur (panjang-lebar-tinggi),
2. Menghitung banyak waktu dalam detik untuk memenuhi volume atau dengan cara mengukur ketinggian air masuk ($p \times l \times t$) dibagi waktu,
3. Perhitungan dengan menggunakan rumus dasar :

Debit aliran yang mengalir dalam pipa dihitung dengan persamaan :

$$Q = V / t \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana :

Q = Debit dalam l/dt,

V = Volume yang akan diukur dalam m^3 ,

t = Waktu dalam detik (dt).