

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum

Jumlah volume air total di Bumi adalah sekitar 1,4 miliar km³, namun jumlah yang sungguh besar tersebut, tidak banyak yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, karena 97,3% di antaranya merupakan air laut. Jumlah air yang dapat dimanfaatkan hanya 2,7% yang tersedia di permukaan bumi oleh manusia, yaitu yang merupakan air tawar yang terdapat di daratan. Jumlah air tawar yang tersedia di planet ini, sebanyak 37,8 juta km³ air tawar tersebut adalah berupa lapisan es pada puncak-puncak gunung dan gleyser, dengan porsi 77,3%. Sisa porsi air tawar 22,7% dibagi menjadi air tanah dan resapan 22,4%, serta air danau dan rawa 0,35%, lalu uap air di atmosfer sebanyak 0,04%, dan sisanya merupakan air sungai sebanyak 0,01% (Wahana Lingkungan Hidup (WALHI) Pusat, 2005; Pikiran Rakyat 22 Maret 2005).

2.2. Air Tanah

Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air). Kecepatan aliran air tanah ini secara alami sangatlah kecil, yaitu berkisar antara 1,5 m/th - 2 m/hari (Kashef, 1987 dan Verruijt, 1970). Air tanah pada umumnya jernih dan memiliki kualitas air yang konstan sepanjang waktu. Air tanah pada akuifer bebas kualitasnya dapat dipengaruhi oleh pembuangan sampah. Sampah yang membusuk akan mengalami dekomposisi dengan menguraikan zat organik menjadi materi lain seperti padatan total, Nitrogen organik, Nitrat, Fosfor, Kalsium, Magnesium, Potasium, Sodium, Clorida, Sulfat, Besi dan lain-lain. Zat-zat ini akan larut ke dalam air sebagai air sampah (*Leachate*) dan akan meresap ke dalam tanah sehingga mencemari air tanah.

2.3. Mata Air

Mata air adalah air tanah yang mengalir ke permukaan tanah secara alami karena adanya gaya gravitasi atau gaya tekanan tanah (BPP Kimpraswil, 2002; Wanielista, *et all*, 1990). Menurut Soetrisno (2004) penggunaan mata air sebagai sumber air bersih dapat dilakukan jika mata air tersebut dihasilkan dari aliran air di bawah tekanan hidrostatik sebagai akibat dari gaya gravitasi, sedangkan jika mata air merupakan hasil rekahan yang meluas sampai jauh ke dalam kerak bumi akibat dari gaya non gravitasi akan berupa mata air panas dan cocok digunakan untuk pariwisata.

2.4. Kuantitas Air

Mata air jika digunakan untuk air bersih harus memenuhi persyaratan kuantitas (BPP Kimpraswil, 2002) dan kualitas berdasarkan Peraturan Menkes No. 416 Tahun 1990 (Nastain dkk, 2004).

Kuantitas air dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran debit menggunakan alat pengukur debit Thomson dengan sudut pintu sebesar 60° dan 90°. Besarnya debit ditentukan dengan rumus sebagai berikut (BPP Kimpraswil, 2002) :

$$Q = 0,0134H^{2,5} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$$Q = \text{debit (lt/detik)}$$

$$H = \text{tinggi muka air di atas ambang/pintu (cm)}$$

Pengukuran debit dapat dilakukan dengan menggunakan tabung atau gelas atau ember ukur jika debit mata air cukup kecil. Debit dihitung dengan menggunakan rumus (BPP Kimpraswil, 2002) :

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.2.)$$

Dimana : $Q = \text{debit (l/detik)}$

$V = \text{volume tabung/gelas/ember ukur (liter)}$

$t = \text{waktu (detik)}$

Kelayakan kuantitas air dievaluasi berdasarkan debit minimum, yaitu debit terkecil yang dapat memenuhi kebutuhan bagi masyarakat pedesaan (debit minimum harus lebih besar dari rencana kebutuhan) dan ketersediaan debit sepanjang musim (BPP Kimpraswil, 2002).

2.5. Kualitas Air

Kualitas air dapat ditentukan dengan cara pengukuran nilai besaran fisika yaitu bau (*odor*), warna (*color*), kekeruhan (*turbidity*), rasa (*taste*), suhu (*temperature*), dan zat padat terlarut (*residu*), besaran kimia (*inorganic chemical*, *organic chemical*), mikrobiologi (*biological standards*), dan radio aktivitas (*radioactivity*) (Kashef, 1987; Permen Kesehatan RI No. 416/ MENKES/ PER/ IX/ 1990; Kep. Gubernur Jateng No. 660.1/ 26/ 1990). Badan Penelitian dan pengembangan Kimpraswil (2002) memberikan batasan bahwa uji kualitas air untuk sumber air bersih pedesaan hanya meliputi parameter fisik kekeruhan, warna, rasa, bau dan temperatur, sedangkan parameter kimia meliputi pH, Kandungan Besi (Fe), dan kandungan Mangan (Mn).

Jenis parameter dan metode uji kualitas air minum pedesaan didasarkan pada Petunjuk Teknik dan Manual Air Minum Pedesaan BPP Kimpraswil (2002), seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Parameter dan metode uji kualitas air minum pedesaan

No	Parameter	Satuan	Metode	Peralatan	Keterangan
FISIK					
1	Kekeruhan	mg/l	Visual	-	
2	Warna	-	Visual	-	
3	Rasa	-	Dicicipi tanpa ditelan	-	
4	Bau	-	Dibau dan	-	
5	Temperatur	⁰ C	dicicipi Diukur	Termometer	
KIMIA					
1	pH	-			
2	Besi (Fe)	mg/l	Diukur	Kertas Lakmus	Flek Kuning
3	Mangan (Mn)	mg/l	Visual	-	Bercak pada cucian
			Visual	-	

(Sumber: Kimpraswil, 2002)

Berdasarkan pengukuran di lapangan dan di laboratorium dapat diketahui kualitas air berdasarkan parameter fisik dan kimia yang telah diukur. Hasil pengukuran kualitas air juga dibandingkan dengan standar kualitas air sebagaimana tercantum dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990 tanggal 3 september 1990 seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Persyaratan kualitas air bersih dan air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/Per/IX/1990

No	Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan untuk air bersih
BAKTERIOLOGIS			
1.	Total Bakteri Coliform	Jumlah per 100 ml sampel	Perpipaan = 10 Non Perpipaan = 50
KIMIA			
1.	pH	-	6,5 - 9,0
2.	Nitrat	mg/l	10
3.	Nitrit	mg/l	1,0
4.	Zat Organik	mg/l	10
5.	Mangan	mg/l	0,5
6.	Besi	mg/l	1,0
7.	Kesadahan	mg/l	500
8.	Klorida	mg/l	600
9.	Fluoride	mg/l	1,5
10.	Sisa Chlor	mg/l	-
FISIK			
1.	Suhu	°C	Suhu udara ($\pm 3^{\circ}\text{C}$)
2.	Bau	-	-
3.	Rasa	-	-
4.	Warna	-	-
5.	Kekeruhan	Skala NTU	25

(Sumber: Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990)

Nastain dkk (2004) mengatakan bahwa kualitas air mata air alami cukup baik. Kualitas air mata air dapat dikatakan relatif konstan karena tidak tergantung oleh musim dan lingkungan (Budi dan Sulastoro, 1999). Kualitas air dapat

dikategorikan sesuai standar yang berlaku. Penggolongan air menurut UU No: 20 TAHUN 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air menetapkan standar kualitas air baku yang dibedakan dalam 4 kategori sebagai berikut :

- a. Golongan A : Air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu;
- b. Golongan B : Air yang dapat digunakan sebagai air baku air minum;
- c. Golongan C : Air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan;
- d. Golongan D : Air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, pembangkit listrik tenaga air.

2.6. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik adalah kebutuhan air untuk keperluan rumah tangga. Jumlah kebutuhannya didasarkan pada banyaknya penduduk, persentase yang diberi air dan cara pembagian air yaitu dengan sambungan melalui bak umum.

Kebutuhan air per-orang per-hari disesuaikan dengan standar yang biasa digunakan serta kriteria pelayanan berdasarkan pada kategorinya. Kebutuhan domestik menurut Petunjuk Perencanaan Teknis Air Bersih tahun 1994 Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kebutuhan Air

No.	Kategori Kota	Kebutuhan Air (liter/orang/hari)
1	Metropolitan	190
2	Kota besar	170
3	Kota sedang	150
4	Kota kecil	130
5	Ibukota kecamatan	100
6	Pedesaan	60

(DPU, 1994)

Badan Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil (2002) memberikan batasan khusus untuk kebutuhan air masyarakat desa, bahwa jika air bersih tersebut disalurkan melalui kran umum (KU) atau hidran umum (HU) maka kebutuhan air masyarakat desa adalah 30 liter/orang/hari.

2.7. Luas Daerah Pelayanan

Luas daerah pelayanan didapat dengan melakukan pengukuran potensi energi potensial dan trase jaringan air menggunakan alat Theodolit dan GPS untuk mengetahui dan mendapatkan beda tinggi gravitasi permukaan air (h), dan ditentukan sebagai berikut (Wongsocitro, 1999):

$$h_{A-B} = BT(B) - BT(A) \dots \dots \dots (2.4.)$$

Dimana:

h_{A-B} = beda tinggi antara titik A dan B (m)

$BT(A)$ = bacaan benang tengah di titik A

$BT(B)$ = bacaan benang tengah di titik B

Pengukuran dilakukan dengan metode poligon terbuka, sehingga beda tinggi (h) dihitung berdasarkan pengukuran pulang pergi sebagai berikut:

$$h = \frac{(h_{A-B} + h_{B-A})}{2} \dots \dots \dots (2.5.)$$

2.8. Sistim Distribusi

Sistim distribusi air pada umumnya dibagi mejadi 3 (tiga) yaitu :

1. Metode sistim gravitasi

Sistim ini sangat memungkinkan untuk area pelayanan yang memiliki lokasi sumber suplai air di atas area pelayanan, sedemikian rupa sehingga dapat dikondisikan tekanan yang cukup memadai di dalam jaringan pipa.

2. Metode kombinasi sistim gravitasi –pompa

Dalam metode ini, kelebihan air yang dipompakan selama periode konsumsi air rendah ditampung dalam tangki atau reservoir. Pada saat konsumsi air tinggi, air yang tertampung dialirkan untuk menambah air yang didistribusikan.

3. Metode sistim pompa

Untuk sistim ini pompa mendesak air langsung ke dalam pipa distribusi. Bila kegagalan oleh energi pengaliran akan sangat berarti dalam menambah gangguan distribusi air, maka metode ini layak untuk digunakan dengan biaya mahal.

2.9. Pipa dan Sarana Penunjang

Pipa yang diperlukan untuk mengalirkan air baku dari mata air ke bak penampungan, maupun dari penampungan ke konsumen memiliki bentuk penampang bulat. Pipa yang digunakan dapat dibuat dari berbagai macam bahan, antara lain sebagai berikut (Sri Sudarti, 2003) :

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 keefisien 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 sistem penyambungan agak sulit.

Selain jenis-jenis pipa telah disebutkan terdapat juga beberapa sarana penunjang yang sering dipergunakan dalam suatu jaringan perpipaan antara lain:

1. Sambungan pipa

Untuk menggabungkan dua buah pipa atau lebih diperlukan sambungan pipa, baik sambungan antara pipa yang berdiameter sama maupun yang tidak sama. Jenis sambungan pipa antara lain:

- a. Mangkok (*bell*) dan lurus
- b. Sambungan mekanik
- c. Sambungan dorong (*push and joint*)
- d. Sambungan pinggiran roda (*flange*)

Sambungan pipa dipakai dengan menyesuaikan kebutuhan di lapangan.

2. Pompa

Pompa merupakan alat untuk menaikkan tekanan atau energi potensial air. Pompa dapat menambah tekanan pada aliran sehingga air dapat mengalir sesuai dengan yang diharapkan. Pompa mengalirkan air ke satu arah dengan menaikkan tinggi tekanan di daerah rendah menuju yang lebih tinggi.

2.10. Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Air Pedesaan

Sistem jaringan pipa biasa digunakan pada bidang teknik sipil khususnya untuk distribusi air bersih. Sistem perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair atau fluida dari satu tempat ke tempat lain. Timbulnya aliran dapat diakibatkan karena adanya perbedaan elevasi atau karena pompa.

a. Sistem jaringan pipa air bersih

Perancangan sistem jaringan perpipaan harus dirancang dengan teliti agar sistem dapat bekerja secara optimal dan efisien. Jaringan pipa harus memenuhi persamaan kontinuitas dan tenaga yaitu (Triatmodjo, 1993):

1. Aliran air di dalam pipa harus memenuhi hukum gesekan pipa aliran tunggal,
2. Aliran masuk sama dengan aliran keluar,
3. Jumlah aljabar tenaga dalam suatu jaringan tertutup sama dengan nol.

b. Persamaan energi

Tinggi energi pada sistem hidraulika diwakili dengan tiga bagian, yaitu tekanan, elevasi, dan kecepatan. Keseimbangan energi antara dua titik dalam sistem diterangkan dalam persamaan Bernoulli (Triatmodjo, 1996) :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a.V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a.V_2^2}{2g} + hf \dots\dots\dots(2.6.)$$

dimana:

Z = energi potensial

$\frac{p}{\gamma}$ = energi tekanan hidrostatik

$$\frac{a.V^2}{2g} = \text{energi kecepatan}$$

$$h_f = \text{kehilangan energi}$$

c. Kehilangan energi pada pipa

Fluida dalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan karena adanya kekentalan. Tegangan geser tersebut menyebabkan kehilangan energi utama (Triatmodjo, 1993). Faktor lain yang berperan dalam kehilangan energi aliran adalah adanya belokan, penyempitan maupun pembesaran penampang secara mendadak pada pipa katup dan sambungan sehingga menimbulkan turbulensi. Faktor ini disebut kehilangan energi minor (Triatmodjo, 1993).

1. Kehilangan energi utama

Kehilangan energi utama pada pipa bertekanan digunakan rumus Darcy-Weisbach. Persamaan ini dapat dipakai untuk berbagai jenis aliran dan cairan yang tidak termampatkan. Besarnya kehilangan energi selama melalui pipa lingkaran menurut Darcy-Weisbach adalah:

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

dimana:

h_f = kehilangan energi atau tekanan (m),

L = panjang pipa (m),

D = diameter pipa (m),

g = percepatan gravitasi (m/detik²),

v = kecepatan aliran (m/detik)

f = koefisien gesek PVC (0,00015 mm)

2. Kehilangan energi minor

Kehilangan energi minor disebabkan adanya belokan, sambungan, perubahan penampang, dan penggunaan katup. Walaupun disebut minor, kehilangan ditempat tersebut mungkin saja lebih besar dibandingkan dengan kehilangan energi utama akibat gesekan dengan pipa. Dengan

demikian kehilangan energi harus diperhitungkan. Persamaan matematis dari kehilangan energi minor adalah;

$$h_f = k \cdot \frac{Q^2}{2A^2 g} \text{ atau, } \dots\dots\dots(2.8.)$$

$$h_f = k \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.9.)$$

dimana:

- h_f = kehilangan energi atau tekanan (m),
- v = kecepatan (m/d),
- A = luas penampang pipa (m^2),
- g = percepatan gravitasi (m/d^2),
- Q = debit pipa (m^3/d),
- k = koefisien kehilangan energi minor.

Koefisien k tergantung pada bentuk fisik belokan, penyempitan, katup, dan sambungannya. Namun, nilai k masih berupa nilai pendekatan, karena sangat dipengaruhi oleh bahan, kehalusan membuat sambungan, serta umur sambungan itu sendiri (Triatmodjo, 1993).