

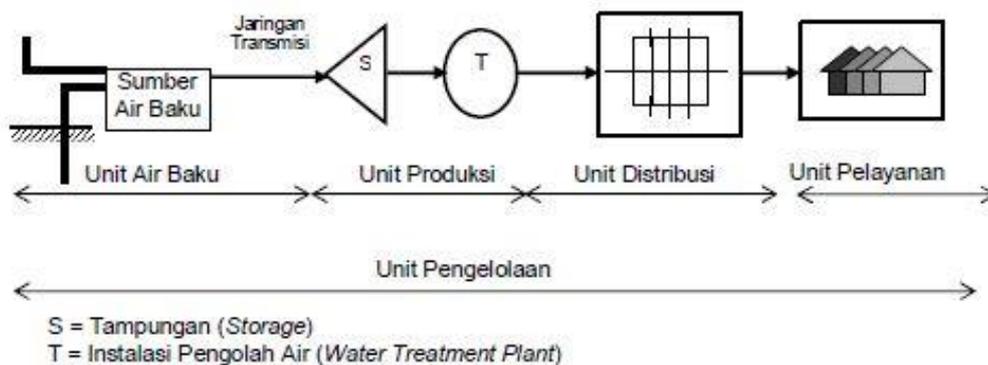
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sistem distribusi air bersih adalah sistem yang berhubungan langsung dengan konsumen, yang mempunyai tugas utama untuk menyalurkan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan. Sistem ini meliputi unsur perpipaan dan perlengkapannya, hidran umum, sistem pompa (jika diperlukan), dan reservoir distribusi.

Sistem penyediaan air bersih harus menyediakan jumlah air yang cukup untuk kebutuhan daerah pelayanan. Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum menyebutkan bahwa sistem penyediaan air minum terdiri dari:

1. Unit air baku
2. Unit produksi
3. Unit distribusi
4. Unit pelayanan



Gambar 2. 1 Skematik Sistem Penyediaan Air Minum

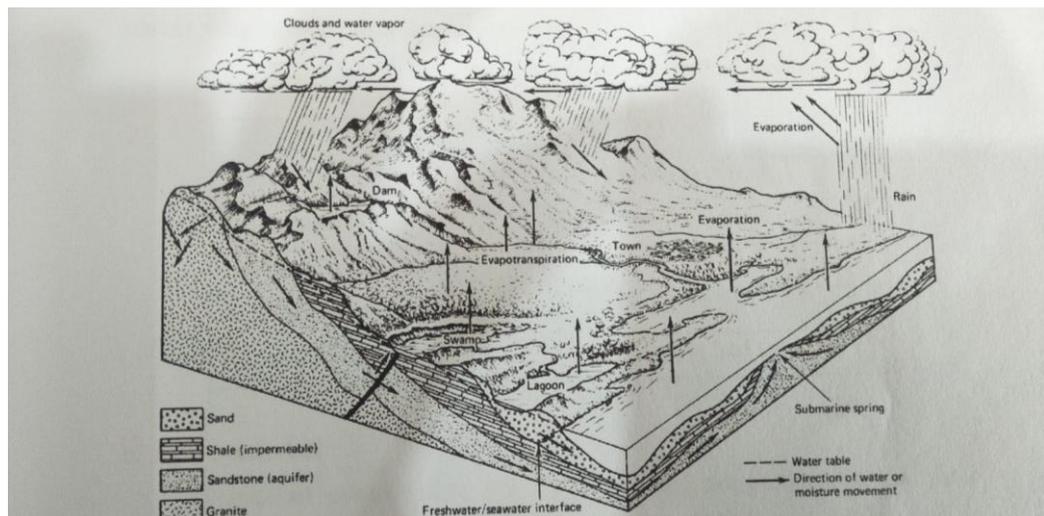
Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

2.2 Hidrologi

Hidrologi (*Triadmodjo;2009;1*) adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredarannya dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungannya dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Hidrologi dipengaruhi oleh kondisi di suatu daerah, seperti kondisi klimatologi .

(angin, suhu udara, kelembapan udara, penyinaran matahari), kondisi lahan (daerah aliran sungai, DAS) seperti jenis tanah, tata guna lahan, dan kemiringan lahan.

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian Kembali lagi ke bumi. Air yang terdapat di permukaan tanah dan laut akan menguap ke udara. Uap air tersebut naik ke atmosfer mengalami kondensasi dan berubah bentuk menjadi awan hujan yang jatuh ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh Sebagian tertahan oleh tumbuhan (intersepsi) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan Sebagian lainnya mengalir diatas permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface runoff*) mengisi cekungan tanah, danau dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap kedalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung terus menerus yang disebut dengan siklus hidrologi. Untuk lebih jelasnya, siklus hidrologi dapat dijelaskan seperti gambar berikut:



Gambar 2. 2 Siklus hidrologi

Sumber: Hidrologi Terapan, Bambang Triadmodjo, 2009

2.2.1 Analisa Ketersediaan Air

Ketersediaan air (*Triadmodjo;2008;303*) adalah jumlah air (debit) yang diperkirakan terus menerus ada di suatu daerah lokasi (bendung atau bangunan air lainnya) di sungai dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu (periode) tertentu. Sebenarnya cukup banyak model yang bisa dipakai untuk menganalisa ketersediaan air, hanya saja untuk kondisi di Indonesia sebaiknya menggunakan metode Mock, seperti disarankan oleh Direktorat Jendral Pengairan dalam Pedoman Studi Proyek-Proyek Pengairan pada PSA 003 (1985). Hal ini karena Dr. Mock menurunkan model ini setelah mengadakan penelitian di Indonesia. Sehingga model ini dikenal dengan menggunakan parameter yang cukup lengkap yang sesuai dengan kondisi yang ada di Indonesia. Metode Mock dikembangkan oleh Dr. F. J. Mock (Mock 1973) berdasarkan daur hidrologi/siklus hidrologi.

Metode Mock dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Metode Mock ini jauh lagi bisa memprediksi besarnya debit. Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan debit dengan metode Mock ini adalah:

1. Data Meteorologi

Dalam metode Mock, data-data meteorologi yang dipakai adalah data bulanan rata-rata untuk menghitung debit bulanan rata-rata dan data harian rata-rata untuk menghitung debit harian rata-rata. Tabel berikut ini adalah notasi dan satuan yang dipakai untuk data meteorologi:

Tabel 2. 1 Data Meteorologi

Data Meteorologi	Notasi	Satuan
Presipitasi	P	Milimeter (mm)
Temperatur	T	Derajat Celcius (°C)
Penyinaran matahari	S	Persen (%)
Kelembapan nisbi	H	Persen (%)
Kecepatan angin	W	Mile per hari (mile/hr)

2. Data Presipitasi

Presipitasi adalah nama lain dari uap yang mengkondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi. Presipitasi yang ada di bumi ini antaranya

berupa hujan, hujan es, salju dan embun. Salah satu bentuk presipitasi yang terpenting di Indonesia adalah hujan. Maka pembahasan mengenai presipitasi ini selanjutnya hanya dibatasi pada hujan saja.

Sebagai input metode Mock, data hujan yang digunakan adalah rata-rata hujan bulanan dari sejumlah stasiun penangkar yang ada pada daerah kajian. Salah satu cara yang banyak digunakan adalah metode rata-rata aljabar. Dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

R : curah hujan daerah

n : jumlah pos pengamatan

R₁, R₂, R_n : curah hujan di tiap titik pengamatan

3. Data Klimatologi

Data klimatologi ini merupakan salah satu faktor yang memengaruhi terjadinya evapotranspirasi. Peristiwa berubahnya air menjadi uap bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi. Peristiwa penguapan tanaman disebut transpirasi. Jika kedua peristiwa tersebut berjalan bersamaan maka disebut evapotranspirasi. Dengan kata lain evapotranspirasi bisa juga diartikan sebagai kehilangan air dari lahan dan permukaan air dari suatu daerah pengaliran sungai akibat proses evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah pemindahan air dari keadaan cair menuju kondisi menguap (menjadi uap).

4. Data *Catchment Area*

Pengaliran sungai (*catchment area*) dapat diartikan sebagai watershed dan basin. Umumnya untuk sub DPS kecil (bagian hulu DPS) dinyatakan sebagai stream watershed, sedangkan untuk DPS besar (yang langsung bermuara ke laut) dinyatakan sebagai river basin. Perhitungan debit andalan menggunakan metode Mock, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Perhitungan evapotranspirasi
- b. Perhitungan *water shed*
- c. Perhitungan *base flow*, *direct run of* dan *stream run off*

Secara keseluruhan perhitungan debit dengan metode Mock ini mengacu pada water balance, dimana kondisi-kondisi yang menjadi syarat batas harus dipenuhi.

Debit aliran sungai adalah jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3/s). Data pengukuran debit aliran sungai merupakan informasi penting yang dibutuhkan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumber daya air. Mengingat debit aliran sangatlah bervariasi dari waktu ke waktu, maka data pengamatan debit dalam waktu panjang. Sedangkan debit andalan (*dependable discharge*) adalah debit yang diandalkan akan terjadi sesuai probabilitas yang diinginkan.

Beberapa nilai probabilitas yang diandalkan dalam beberapa proyek adalah sebagai berikut:

- | | | |
|----|--|-------------|
| a) | Untuk penyediaan air minum (PDAM) | : 99% |
| b) | Untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) | : 85% – 90% |
| c) | Untuk penyediaan air industri | : 88% - 95% |
| d) | Untuk penyediaan air irigasi | |
| | 1) Daerah beriklim setengah lembab | : 70% - 85% |
| | 2) Daerah beriklim sedang | : 80% - 90% |

Untuk menghitung nilai probabilitasnya di gunakan metode Weibull. Metode ini menggunakan persamaan:

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots(2.2)$$

Atau

$$T(X_m) = \frac{n+1}{m} \dots\dots\dots(2.3)$$

Rumus ini mulanya dikembangkan oleh Weibull (1930), kemudian digunakan oleh Gumbell (1945), Chow (1953), US Geological Survey dan lain-lain. Semua variat dapat digambarkan pada kertas peluang, besarnya peluang $P(X)$ adalah $0 < P(X_m) < 1$. Dapat digunakan untuk sekelompok data tahunan partial, sehingga metode Weibull ini yang sering digambarkan untuk analisis peluang dan periode hilang.

2.3 Sumber Air Baku

Menurut Mamik (2017) sumber-sumber air bersih terdiri dari:

a. Air Permukaan

Air permukaan merupakan aliran air yang berada di permukaan bumi yang berasal dari air hujan. Dimana dalam pengalirannya, air permukaan mendapat limpasan pengotoran dari tanah, ranting maupun daun-daun pohon, limbah domestik maupun limbah industri. Air permukaan terdiri dari:

1 Air Sungai

Air baku yang memanfaatkan air sungai harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu, karena air sungai pada umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi.

2 Air Rawa / Danau

Air rawa merupakan air permukaan yang pada umumnya berwarna kuning coklat. Hal ini disebabkan karena zat-zat organik yang membusuk.

3 Air Tanah

Berdasarkan tekanannya air tanah, tanah terbagi menjadi dua, yaitu:

a Air Tanah Dangkal

Air tanah dangkal merupakan air permukaan yang terserap ke dalam tanah. Berdasarkan segi kualitas, air tanah dangkal cukup baik, namun dari segi kuantitasnya dipengaruhi oleh keadaan musim.

b Air Tanah Dalam

Air tanah dalam memiliki kedalaman antara 20-300 meter sehingga dalam pengambilannya pada umumnya menggunakan bor. Berdasarkan segi kualitasnya, air tanah dalam lebih baik daripada air tanah dangkal, kemudian dari segi kuantitasnya lebih banyak dan tidak dipengaruhi oleh musim.

b. Mata air

Mata air merupakan sumber air yang keluar ke permukaan tanah dengan sendirinya. Berdasarkan segi kuantitasnya, mata air tidak dipengaruhi oleh keadaan musim dan segi kualitasnya sama seperti air tanah dalam.

2.4 Kebutuhan Air Bersih

Air merupakan kebutuhan bagi kehidupan. Semua makhluk hidup membutuhkan air dalam kehidupannya, sehingga tanpa air dapat dipastikan tidak ada kehidupan. Keberadaan air di setiap lokasi dipengaruhi oleh adanya siklus air. Manusia membutuhkan air selain untuk kebutuhan langsung, air juga dibutuhkan oleh manusia melalui berbagai makhluk hidup lain. Secara umum air dibutuhkan oleh makhluk hidup lain. Secara umum air dibutuhkan oleh makhluk hidup dengan tingkat kebutuhan yang berbeda-beda.

2.5 Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Kebutuhan air bersih semakin lama semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di masa yang akan datang. Untuk itu diperlukan proyeksi penduduk untuk tahun perencanaan. Walaupun proyeksi bersifat ramalan, dimana kebenarannya bersifat subjektif, namun bukan berarti tanpa pertimbangan dan metode. Ada beberapa metode proyeksi penduduk yang digunakan untuk perencanaan.

1. Metode Aritmatika

Pertumbuhan penduduk secara aritmatika adalah pertumbuhan penduduk dengan jumlah (*absolute number*) adalah sama untuk setiap tahun. Rumus yang digunakan:

$$P_n = P_0 + K_a(T_n - T_0); K_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar

T_n = tahun ke-n

T_0 = tahun dasar

K_a = konstanta aritmatik

P_1 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun i

P_2 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir

2. Metode Geometri

Pertumbuhan penduduk secara geometri adalah pertumbuhan penduduk yang menggabungkan dasar berbunga-bunga (bunga majemuk). Jadi, pertumbuhan penduduk dimana angka pertumbuhan (*rate of growth*) adalah sama untuk setiap tahun. Rumus yang digunakan:

$$P_n = P_o(1 + r)^n \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

P_o = jumlah penduduk pada awal tahun dasar (jiwa)

r = rata-rata pertambahan penduduk (%)

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

2.6 Tingkat Pelayanan Distribusi Air

Tingkat pelayanan distribusi air merupakan jumlah penduduk yang akan dilayani dari suatu jaringan sesuai dengan target pelayanan di suatu daerah tertentu. Untuk menghitung jumlah penduduk yang terlayani, maka bisa menggunakan rumus berikut:

$\text{Jumlah Penduduk yang terlayani} = \% \text{Pelayanan} \times \Sigma \text{penduduk}$

2.7 Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestik merupakan kebutuhan akan air untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga sehari-hari seperti minum, memasak, mencuci dan lain-lain. Kebutuhan air domestik dipengaruhi oleh ketersediaannya, budaya, iklim atau kondisi lingkungan. Sedangkan kecendrungan meningkatnya kebutuhan air domestik ditentukan oleh kebiasaan pola hidup masyarakat setempat. Untuk menghitung total kebutuhan air domestik dapat dilakukan hal-hal sebagai berikut (Kalensun. 2016):

1. Menghitung jumlah KK Terlayani:

$\Sigma KK = \Sigma \text{penduduk terlayani} / \Sigma \text{anggota per KK}$

2. Menghitung jumlah sambungan rumah (SR) terlayani

$$\Sigma SR \text{ Terlayani} = \% \text{ pelayanan} \times \Sigma KK \text{ terlayani}$$

3. Menghitung total kebutuhan air domestik

$$Q_{\text{air domestik}} = \Sigma SR \text{ Terlayani} \times \Sigma \text{ pemakaian setiap hari SR}$$

Besarnya kebutuhan air untuk keperluan domestik dapat dilihat pada gambar tabel berikut:

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Domestik Berdasarkan Jumlah Penduduk

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
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1. Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (liter/org/hari)	<150	150-120	120-90	120-80	80-60
2. Konsumsi Unit Hidran (HU) (liter/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 Harian Maksimum	1.15-1.25 *harian	1.15-1.25 *harian	1.15-1.25 *harian	1.15-1.25 *harian	1.15-1.25 *harian
6. Faktor Jam Puncak	1.75-2.0 *hari maks	1.75-2.0 *hari maks	1.75-2.0 *hari maks	1.75-2.0 *hari maks	1.75-2.0 *hari maks
7. Jumlah Jiwa Per SR (Jiwa)	5	5	5	5	5
8. Jumlah Jiwa Per HU (Jiwa)	100	100	100	100-200	200
9. Sisa Tekan di Penyediaan Distribusi (Meter)	10	10	10	10	10
10. Jam Operasi (jam)	24	24	24	24	24
11. Volume Reservoir (%Max Day Demand)	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	70:30	70:30
13. Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	90

Sumber : *Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996*

2.8 Kebutuhan Air non-Domestik

Menurut Dasir (2014) kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih untuk sarana dan prasarana daerah yang teridentifikasi berdasarkan rencana tata ruang wilayah, antara lain:

1. Institusi

Kebutuhan air bersih yang digunakan untuk pendidikan, lembaga pemerintah dan lain-lain.

2. Komersial dan Industri

Kebutuhan air bersih secara komersial yaitu kebutuhan air bersih untuk kegiatan pasar, pertokoan, supermarket, hotel dan lain-lain. Sedangkan kebutuhan air untuk industri yaitu kebutuhan air untuk kegiatan industri seperti memproses bahan baku dan lain-lain.

3. Fasilitas Umum

Kebutuhan air bersih yang digunakan untuk skala tempat umum, seperti taman, terminal dan lain-lain.

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kota Kategori I, II, III, 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 PU, 1996

Tabel 2.4 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 / Industri	10	liter/hari

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996

Tabel 2.5 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori Lain

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

Tabel 2.6 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori Sekolah

No	Jenis Kebutuhan	Pemakaian air rata-rata per hari (liter)	Keterangan
1	SD, SLTP	40-50	per murid, guru = 100 liter
2	SLTA dan lebih tinggi	80	per murid, guru = 100 liter

Sumber : NSPM Kimpraswil, 2002

2.9 Kehilangan Air

Menurut Kriteria Perencanaan Air Bersih Ditjen Cipta Karya Dinas PU (1996) yang dimaksud dengan kehilangan air adalah jumlah air yang hilang baik karena kebocoran, operasi dan pemeliharaan sistem penyediaan air, hidran kebakaran. Pada umumnya kehilangan air yang dapat ditoleransi adalah 10-20% dari seluruh kebutuhan air.

Untuk menghitung besarnya kehilangan air dapat dihitung dengan cara berikut:

$$\text{Kehilangan air} = \text{Total kebutuhan air} \times \% \text{ kebocoran}$$

2.10 Menghitung Total Kebutuhan Air

Menurut Kalensun (2016) kebutuhan air total adalah kebutuhan air baik domestik, non domestik ditambah kehilangan air. Untuk menghitung total kebutuhan air dapat di hitung dengan rumus:

$$Q_r = Q_d + Q_n + Q_a$$

Dimana:

Q_r = Kebutuhan Air Rata-rata (ltr/hari)

Q_d = Kebutuhan Air Domestik (ltr/hari)

Q_n = Kebutuhan Air Non Domestik (ltr/hari)

Q_a = Kehilangan Air (ltr/hari)

2.11 Fluktuasi Kebutuhan Air

Menurut Mashuri (2015) fluktuasi penggunaan air bersih adalah penggunaan air oleh konsumen dari waktu ke waktu dalam skala jam, hari, minggu, bulan, maupun dari tahun ke tahun hampir secara terus menerus. Fluktuasi kebutuhan air bersih dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, jumlah penduduk, pola tata kota dan kondisi sosial budaya masyarakat di tempat tertentu.

Sesuai dengan keperluan perencanaan sistem penyediaan air bersih maka terdapat dua pengertian yang ada berkaitan dengan fluktuasi kebutuhan air, yaitu:

1. Faktor Harian Maksimum

Faktor perbandingan antara penggunaan hari maksimum dengan penggunaan air rata-rata harian selama setahun, sehingga akan diperoleh:

$$Q_{\text{hari maks}} = f_{\text{hm}} \times Q_{\text{hari rata-rata}}$$

2. Faktor Jam Puncak

Faktor perbandingan antara penggunaan air jam terbesar dengan penggunaan air rata-rata harian maksimum, sehingga akan diperoleh:

$$Q_{\text{jam puncak}} = f_{\text{jp}} \times Q_{\text{hari maks}}$$

Dimana:

F_{hm} = faktor maksimum

F_{jp} = faktor puncak

Menurut Ardiansyah (2012), kebutuhan harian maksimum dan jam puncak sangat diperlukan dalam perhitungan besarnya kebutuhan air baku, karena hal ini menyangkut kebutuhan pada hari-hari tertentu dan pada jam puncak jam pelayanan.

Berdasarkan grafik fluktuasi kebutuhan air bersih dari DPU Ditjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih didapatkan nilai *load factor* pada Tabel 2.6.

Tabel 2.7 Faktor Pengali (load factor) Terhadap Kebutuhan Air Bersih

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Load Factor</i>	0.3	0.37	0.45	0.64	1.15	1.4	1.53	1.56	1.41	1.38	1.27	1.2
Jam	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Load Factor</i>	1.14	1.17	1.18	1.22	1.31	1.38	1.25	0.98	0.62	0.45	0.37	0.25

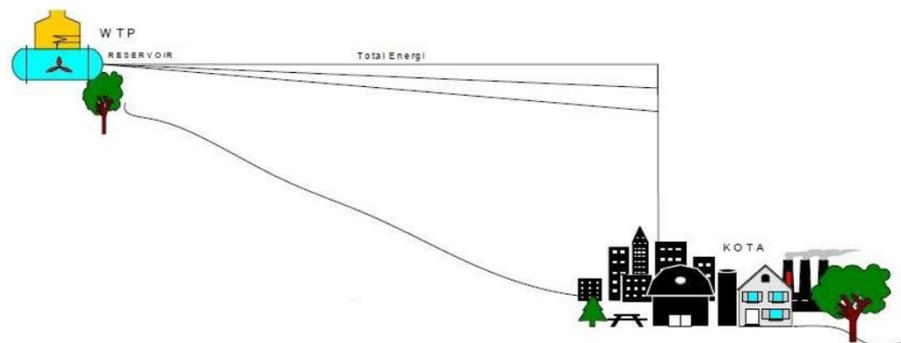
Sumber : DPU Dirjen Cipta Karya Direktorat Air Bersih, 1994

2.12 Sistem Jaringan Air Bersih

Distribusi air bersih dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung dari kondisi topografi yang menghubungkan sumber air dengan konsumen. Berikut beberapa cara pengaliran distribusi air bersih:

1. Sistem gravitasi

Sistem gravitasi dapat diaplikasikan bila elevasi dari sumber air mempunyai perbedaan yang cukup besar dengan elevasi daerah pelayanan, sehingga tekanan yang didapatkan untuk mengalirkan air dapat dipertahankan. Sistem ini cukup ekonomis karena hanya mengandalkan beda tinggi lokasi.

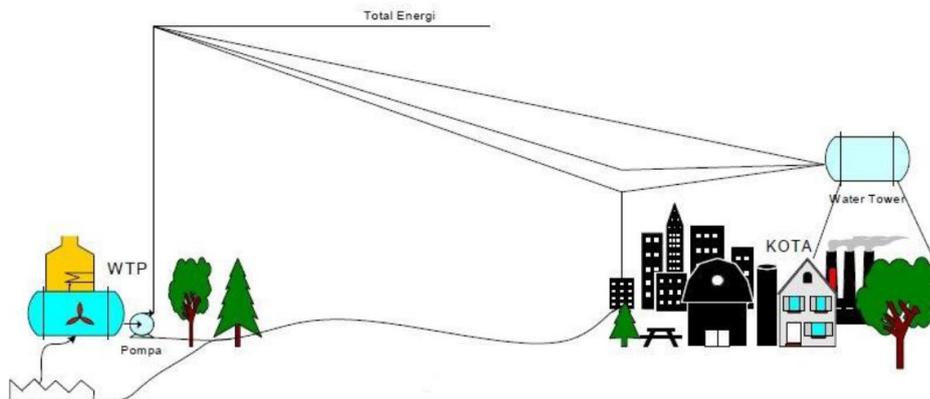


Gambar 2. 3 Sistem Pengaliran Gravitasi

Sumber : Anonim

2. Sistem pompa

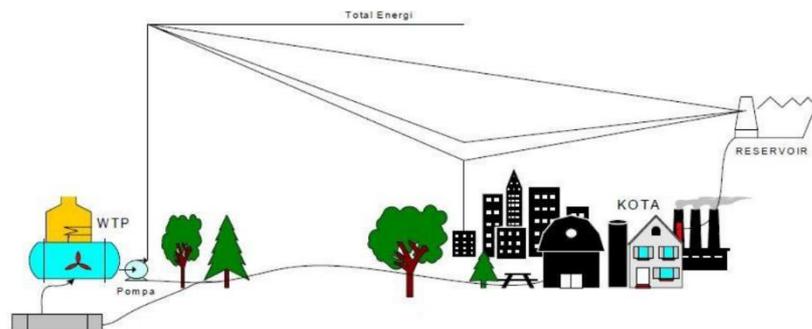
Sistem ini digunakan untuk meningkatkan tekanan air untuk mendistribusikan air dari reservoir distribusi untuk konsumen. Sistem ini biasanya digunakan jika daerah pelayanan berada di tempat yang relatif datar.



Gambar 2. 4 Sistem Pengaliran Pompa
Sumber : Anonim

3. Sistem gabungan

Sistem ini merupakan gabungan kedua sistem di atas. Pada sistem gabungan ini, reservoir digunakan untuk mempertahankan tekanan yang diperlukan selama periode pemakaian tinggi dan pada kondisi darurat. Selama periode pemakaian rendah, sisa air dipompakan dan disimpan dalam reservoir distribusi.



Gambar 2. 5 Sistem Pengaliran Gabungan
Sumber : Anonim

2.13 Sistem Air Disuplai Melalui Pipa

Air yang disuplai melalui pipa mempunyai dua macam sistem, yaitu:

1. *Continuous system*

Dalam sistem ini, air akan terus disuplai terus menerus selama 24 jam. Sistem ini biasanya diterapkan jika jumlah dari air baku dapat menyuplai seluruh kebutuhan penduduk di daerah pelayanan.

Kelebihan:

1. Setiap saat konsumen selalu mendapatkan air bersih
2. Air yang diambil dari titik pengambilan didalam jaringan pipa distribusi selalu didapatkan dalam keadaan segar

Kekurangan:

1. Konsumtif dalam penggunaan air
2. Bila terjadi kebocoran jaringan, air yang terbuang akan lebih besar.

2. *Intermittent system*

Di dalam sistem ini air bersih akan disuplai ke konsumen hanya dalam jangka waktu tertentu dalam satu hari. Biasanya lama waktu penyalurannya 2-4 jam dalam satu hari. Sistem ini digunakan karena jumlah/kuantitas dan tekanan tidak tersedia cukup untuk memenuhi kebutuhan seluruh konsumen.

Kekurangan:

1. Apabila terjadi kerusakan atau kemacetan proses produksi tidak mudah terhenti di suatu tempat atau tingkatan
2. Mesin – mesin yang digunakan biasanya bersifat umum sehingga bisa melakukan penghematan dalam pembelian mesin – mesin ini.
3. Memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi dalam menghadapi perubahan produk dengan variasi yang besar.

Kekurangan:

1. Setiap rumah membutuhkan tempat untuk menyimpan air yang cukup agar kebutuhan air sehari-hari dapat tercukupi.
2. Sulitnya melakukan pengawasan produksi dikarenakan proses yang terputus-putus.

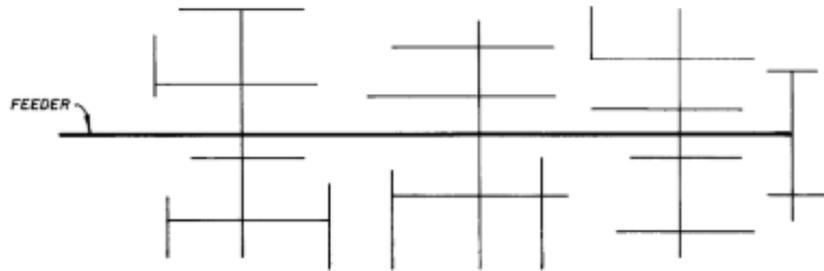
2.14 Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah rangkaian pipa yang terhubung satu sama lain yang digunakan untuk mengalirkan air ke konsumen. Denah (*layout*) kawasan dan topografi mempengaruhi bentuk dari denah dan desain dari sistem distribusi.

Macam-macam jaringan distribusi:

1. Sistem Cabang (*branch*)

Sistem cabang adalah sistem jaringan perpipaan dimana pengaliran air hanya menuju satu arah dan pada setiap ujung akhir daerah pelayanan terdapat titik mati. Sistem ini sama seperti cabang pohon dengan pipa utama, pipa sekunder yang dihubungkan dengan gedung.

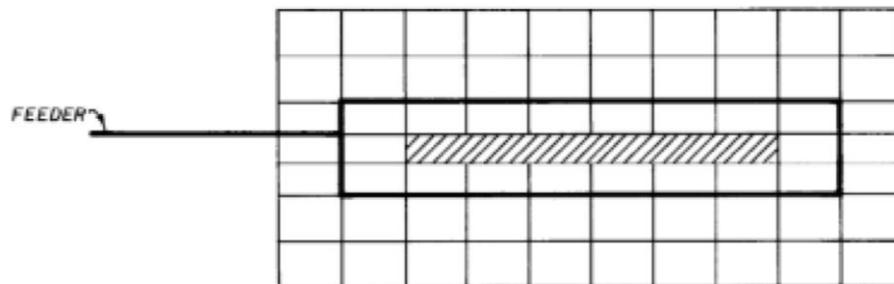


Gambar 2. 6 Jaringan Pipa Bercabang

Sumber : DED Pembangunan Jaringan Pipa Distribusi Utama

2. Sistem Melingkar (*loop*)

Sistem melingkar adalah sistem jaringan perpipaan dimana dalam sistem jaringan ini pipa induk distribusi saling berhubungan satu dengan yang lain membentuk *loop-loop*, sehingga pada pipa tidak ada titik mati (*dead end*). *Loop* dapat menambah tekanan pada daerah pelayanan. Pada daerah strategis seperti kota sehingga tekanannya dapat bertambah.



Gambar 2. 7 Jaringan Pipa Sistem Melingkar

Sumber : DED Pembangunan Jaringan Pipa Distribusi Utama

Macam-macam pipa yang umumnya tersedia pada sistem distribusi air bersih adalah:

1. Pipa primer atau pipa induk

Pipa primer adalah pipa yang mempunyai diameter yang paling besar yang fungsinya membawa air dari instalasi pengolah air atau reservoir distribusi.

2. Pipa sekunder

Pipa sekunder adalah pipa yang mempunyai diameter sama dengan atau kurang dari pada pipa primer, yang disambungkan pada pipa primer.

3. Pipa tersier

Pipa tersier dapat disambung langsung ke pipa sekunder atau primer, yang gunanya untuk melayani pipa *service* ke induk sangat tidak menguntungkan, disamping dapat mengganggu lalu lintas kendaraan.

4. Pipa *service*

Pipa *service* mempunyai diameter yang relatif lebih kecil. Pipa disambungkan langsung pada pipa sekunder atau tersier, yang dihubungkan dengan pipa pengguna.

2.15 Perpipaan

2.15.1 Jenis Pipa

Jenis pipa ditentukan berdasarkan material pipanya, seperti CI, beton (*concrete*), baja (*steel*), AC, GI, Plastik, dan PVC. (*Unit Air Baku dalam Sistem Penyediaan Air Minum, Tri Joko 2010: 154-157*)

1. *Cast-Iron Pipe*

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

Kelebihan:

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

Kekurangan:

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

2. *Concrete Pipe*

Pipa beton biasa digunakan jika tidak berada dalam tekanan dan kebocoran pada pipa tidak terlalu dipersoalkan. Diameter pipa beton mencapai 610 mm.

Kelebihan:

1. Bagian dalam pipa halus dan kehilangan akibat friksi paling sedikit
2. Tahan lama, sekurangnya 75 tahun.
3. Tidak berkarat atau terbentuk lapisan didalamnya
4. Biaya pemeliharaan paling murah.

Kekurangan:

1. Pipanya berat dan sulit digunakan
2. Cenderung patah selama pengangkutan
3. 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 standar. Pipa baja kadang-kadang dilindungi dengan lapisan semen mortar.

Kelebihan:

1. Kuat
2. Lebih ringan daripada CI
3. Mudah dipasang dan disambung
4. Dapat menahan tekanan hingga 70 mka (meter kolom air)

Kekurangan:

1. Mudah rusak karena air yang asam dan basa
2. Daya tahan hanya 25 – 30 tahun kecuali dilapisi dengan bahan tertentu

4. *Asbestos-Cement Pipe*

Pipa ini dibuat dengan mencampur serat asbes dengan semen pada tekanan tinggi. Diameter berkisar antara 50 – 900 mm dan dapat menahan tekanan antara 50 – 250 mka tergantung kelas dan tipe pembuatan.

Kelebihan:

1. Ringan dan mudah digunakan
2. Tahan terhadap air yang asam dan basa
3. Bagian dalamnya halus dan tahan terhadap korosi

4. Tersedia untuk ukuran yang panjang sehingga sambungannya lebih sedikit.
5. Dapat dipotong menjadi berbagai ukuran panjang dan disambungkan seperti pipa CI.

Kekurangan:

1. Rapuh dan mudah patah
 2. Tidak dapat digunakan untuk tekanan tinggi
5. *Galvanised-Iron Pipe*
Pipa GI banyak digunakan untuk saluran dalam gedung. Tersedia untuk diameter 60 – 750 mm.

Kelebihan:

1. Ringan, sehingga mudah digunakan dan diangkut
2. Mudah disambung
3. Bagian dalamnya halus sehingga kehilangan tekanan akibat gesekan kecil

Kekurangan:

1. Umurnya pendek, 7 – 10 tahun.
2. Mudah rusak karena air yang asam dan basa serta mudah terbentuk lapisan kotoran di bagian dalamnya.
3. Mahal dan sering digunakan untuk kebutuhan pipa dengan diameter kecil.

6. *Plastic Pipe*

Pipa plastik memiliki banyak kelebihan, seperti tahan terhadap korosi, ringan dan murni. Pipa *Polyethylene* tersedia dalam warna hitam. Pipa ini lebih tahan terhadap bahan kimia, kecuali asam nitrat dan asam kuat, lemak dan minyak.

Pipa plastik terdiri atas 2 (dua) tipe:

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

tetapi pipa berdiameter besar hanya digunakan jika terdapat kesulitan menyambung pipa berdiameter kecil. Pipa ini juga bisa dipakai untuk mengangkut air dalam jalur yang panjang.

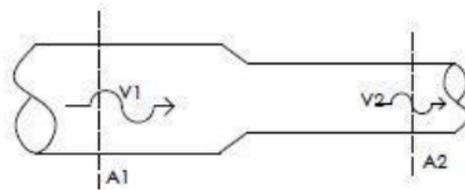
Pipa plastik tidak bisa memenuhi standar lingkungan, yaitu jika terjadi kontak dengan bahan-bahan seperti asam organik, keton, ester, alkohol dan sebagainya. *High-Density pipe* lebih buruk dibandingkan *Low-Density pipe* dalam permasalahan ini.

7. PVC Pipe

Kekakuan pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*) adalah tiga kali kekakuan pipa *Polyethylene* 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 di dalam maupun diluar sistem air minum, sistem pembuangan dan drainase bawah tanah. Pipa PVC tersedia dalam ukuran yang bermacam-macam.

2.16 Hukum Kontinuitas

Apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinyu pipa atau saluran, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama disemua tampang. Keadaan ini disebut dengan hukum kontinuitas aliran zat cair.



Gambar 2. 8 Saluran pipa dengan diameter berbeda

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

Atau

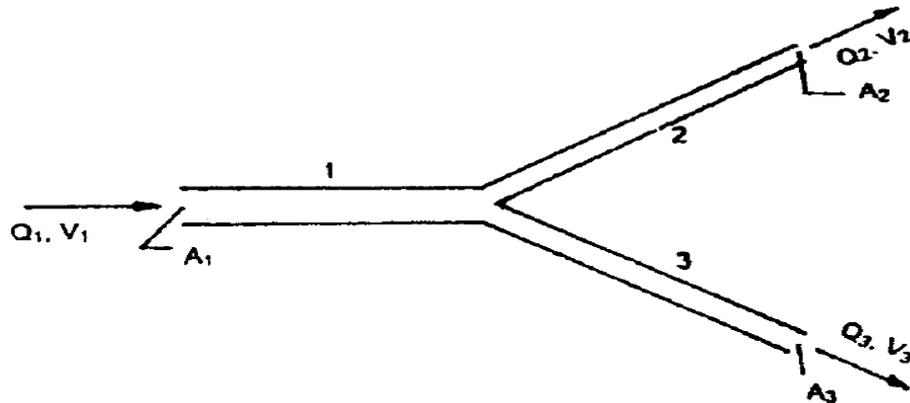
$$Q = V \cdot A = \text{Konstan}$$

Dimana:

$V_1 A_1$ = Volume zat cair yang masukampang 1 tiap satuan waktu

$V_2 A_2$ = Volume zat cair yang masukampang 2 tiap satuan waktu

Menurut Triatmodjo (1993) apabila pipa bercabang berdasarkan persamaan kontinuitas, debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut.



Gambar 2. 9 Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Atau

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 + A_3 V_3$$

(*Hidraulika I Bambang Triatmodjo, 1993: 136-137*)

2.17 Kecepatan Aliran

Nilai kecepatan aliran dalam pipa diijinkan adalah 0,3 – 0,25 m/det pada jam puncak. Kecepatan yang terlalu kecil menyebabkan endapan yang ada dalam pipa tidak dapat terdorong. Selain itu, pemborosan biaya karena diameter pipa besar, sedangkan pada kecepatan terlalu tinggi mengakibatkan pipa cepat rusak dan mempunyai *head loss* yang tinggi, sehingga biaya pembuatan reservoir naik. Untuk menentukan kecepatan aliran dalam pipa digunakan rumus kontinuitas. (*Bambang Triatmodjo, 1993, Hidrolika II, Halaman 50, Beta Offset, Yogyakarta*).

$$Q = A \cdot V = \frac{1}{4} \pi D^2 V$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Dimana:

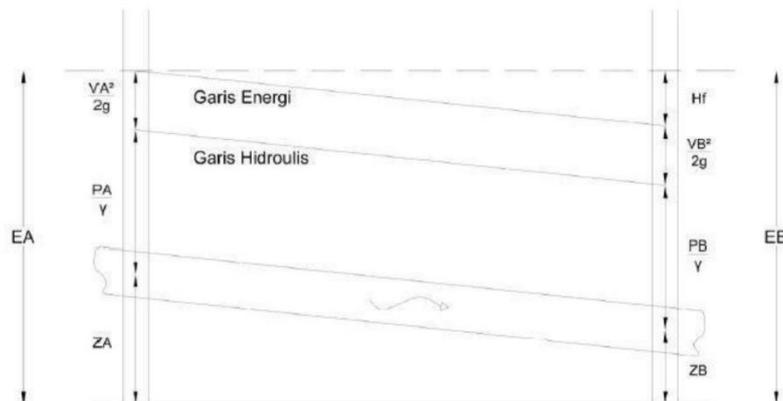
Q = Debit Aliran (m^3/det)

V = Kecepatan Aliran (m/det)

D = Diameter Pipa (m)

2.18 Sisa Tekan

Dengan persamaan Bernoulli yang mengasumsikan bahwa aliran air berada pada kondisi *steady state*, maka sisa tekanan maksimum sebesar 10 meter kolom air (maka) dapat diusahakan.



Gambar 2. 10 Garis Energi dan Hidrolis pada Zat Cair

$$ZA + \frac{PA}{\rho g} + \frac{VA^2}{2g} = ZB + \frac{PB}{\rho g} + \frac{VB^2}{2g} + Hf$$

$$ZA - ZB = \frac{(PA - PB)}{\rho g} + \left[\frac{VA^2 + VB^2}{2g} \right] + Hf$$

$$ZA - ZB = \left[\frac{VA^2 + VB^2}{2g} \right] + Hf$$

Dalam kondisi *steady state* $\frac{PA}{\rho g} = \frac{PB}{\rho g}$

Dimana:

ZA = Elevasi Pipa 1 dari datum (m)

ZB = Elevasi Pipa 2 dari datum (m)

VB = Kecepatan aliran di titik 2 (m)

g = Gravitasi (= 9,81 m/det^2)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

H_f = Head Loss (m)

(Hidrolika II, Bambang Triatmodjo 2008: 58-60)

2.19 Kehilangan Tekanan Air

Kehilangan tekanan maksimum 10 m/km panjang pipa. Kehilangan tekanan (h_f) dalam pipa terjadi akibat adanya *friction* antara fluida dengan permukaan pipa. Kehilangan tekanan ada dua macam:

1. *Mayor Losses*

Mayor losses adalah kehilangan tekanan sepanjang pipa lurus. Perhitungan menggunakan:

a. Rumus Hazen-William

$$H_f = 0,002131 \times L \frac{100}{(C)^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,8655}}$$

Dimana:

H_f = *Mayor losses* sepanjang pipa lurus (m)

L = Panjang pipa (m)

Q = Debit (m³/detik)

C = Konstanta *Hazen-William* (Lihat tabel 2.2)

D = Diameter Pipa (m)

(Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Pemukiman, 2018)

Tabel 2. 8 Koefisien Pipa Menurut Hazen-Williams

No	Jenis Material Pipa	Rekomendari Nilai Koefisien
1	<i>Cast Iron</i>	130-140
2	<i>Concrete/Concrete Lined</i>	120-140
3	<i>Galvanized Iron</i>	120
4	<i>Plastic</i>	140-150
5	<i>Steel</i>	140-150
6	<i>Vitrified Clay</i>	110

Sumber: EPANET 2, User Manual

b. Rumus Darcy

$$h = f \frac{L.V^2}{D.2g}$$

Dimana:

h = Kehilangan energi (m)

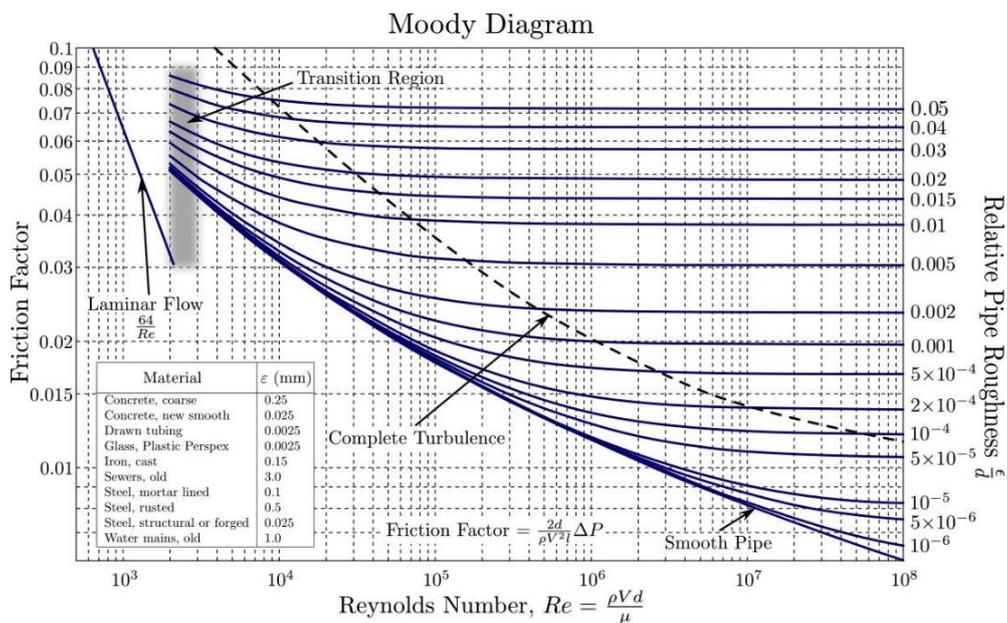
f = Koefisien gesek (Darcy)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

(Hidrolika II, Bambang Triatmodjo 2008:28)

Harga f dapat dihitung dengan menggunakan grafik Moody, dimana menghubungkan kekasaran relatif (e/d), angka Reynold (Re) dan koefisien kekasaran (f).



Gambar 2. 11 Diagram Moody

Harga diameter kekasaran pipa yang biasanya digunakan untuk jaringan air bersih diperlihatkan pada **Tabel 2.5** merupakan kumpulan diameter kekasaran yang dianjurkan oleh Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman

Tabel 2. 9 Diameter Kekasaran (e) beberapa Bahan (Material) Pipa Baru

Material	Minimum (e) mm	Maksimum (e) mm	Rerata (e) mm
<i>Asbestos cement</i> (asbes semen)	0,0015	0,0015	0,0015
<i>Brass</i> (tembaga)	0,0015	0,0015	0,0015
<i>Brick</i> (batu bata)	0,6	0,6	0,6
<i>Cast iron, new</i> (besi tuang, baru)	0,2	0,55	0,25
Concrete	0,3	3,0	1,7
<i>Steel forms</i> (cetak dengan baja)	0,18	0,18	0,18
<i>Wooden forms</i> (cetak dengan kayu)	0,6	0,6	0,6
<i>Centrifugally spun</i>	0,36	0,36	0,36
<i>Cement</i>	0,4	1,2	0,8
<i>Copper</i>	0,0015	0,9	0,45
<i>Corrugated metal</i>	45	45	45
<i>Galvanized iron</i>	0,1	4,6	2,4
<i>Glass</i>	0,0015	0,0015	0,0015
<i>Lead</i>	0,0015	0,0015	0,0015
<i>Plastic</i>	~0	0,0015	0,0015

Sumber data dikompilasi: Haestad, 2000: Dougherty, Walski dkk., 2006
(*Teknik Penyediaan Air Minum Perpipaan, Radianta Triatmadja, 2016: 228-233*)

2. *Minor Losses*

Minor losses adalah kehilangan tekanan yang terjadi pada tempat yang memungkinkan adanya perubahan karakteristik aliran, misalnya belokan, *valve*, dan lain-lain.

$$H_f = K \frac{v^2}{2g}$$

Dimana:

K = Konstanta kontraksi (sudah tertentu) untuk setiap jenis pipa berdasarkan karakteristik pipa.

(*Hidraulika II Bambang Triamodjo, 2008:58-60*)

2.20 EPANET 2.0

EPANET adalah program computer yang secara luas melakukan periode simulasi dari hidrolika dan kualitas air dalam jaringan pipa bertekanan. Jaringan tersebut dapat terdiri dari pipa, titik (persimpangan pipa), katup, dan tangki penyimpanan atau reservoir. *EPANET* menjalankan aliran air dalam tiap pipa tekanan dari tiap titik, ketinggian air dari tiap tangga dan konsentrasi suatu zat sepanjang jaringan selama beberapa waktu periode simulasi. Dalam penambahan konsentrasi zat, umur air dan jaringan tambahan dapat juga disimulasikan. *EPANET* dibuat sebagai alat penelitian untuk memperbaiki keingintahuan kita tentang Gerakan dan kondisi dari pemilihan air minum dalam sistem distribusi. Modul tentang kualitas air dari *EPANET* adalah memperlengkapi untuk modul seperti fenomena reaksi dalam aliran turbulensi, reaksi dalam dinding pipa dan transportasi massa diantara bagian aliran terbesar dalam dinding pipa.

Keistimewaan yang lain dari *EPANET* adalah pendekatan koordinat memodelkan jaringan air dan kualitas air. Program dapat menghitung penyelesaian secara Bersama untuk dua kondisi bersamaan. Alternatif ini hanya dapat menghitung jaringan air dan menyimpan hasilnya dalam sebuah *file*. Dijalankan dalam lingkungan *windows*, *EPANET* dapat terintegrasi untuk melakukan editing dalam pemasukan data, *running* simulasi dan melihat hasil *running* dalam berbagai bentuk (format). Sudah pula termasuk kode-kode yang berwarna pada peta, tabel data-data, grafik, serta citra kontur.

2.20.1 Kemampuan Pemodelan Hidrolik

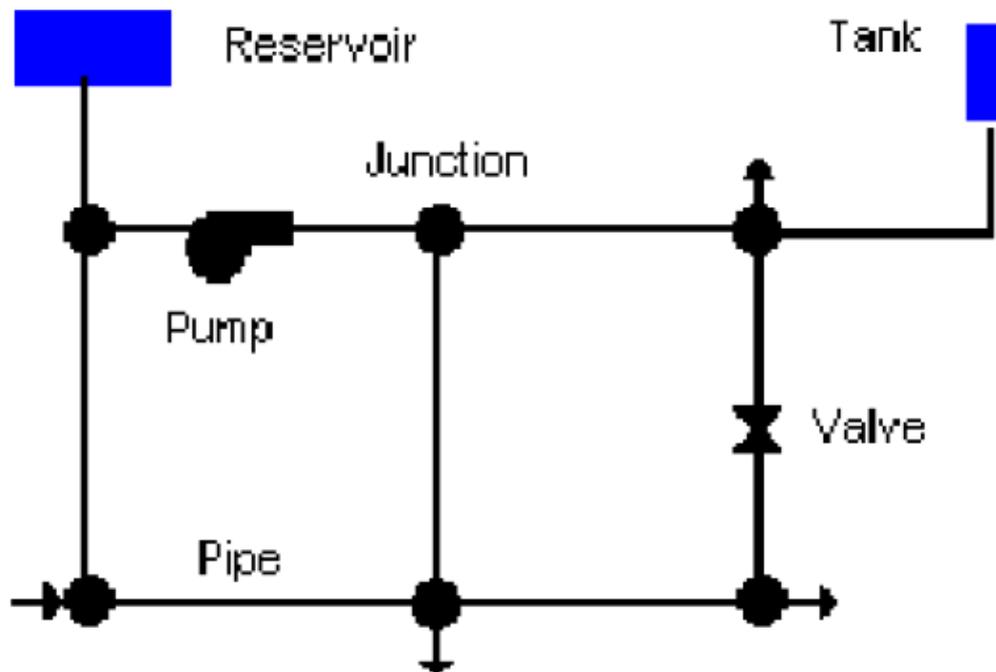
Penampakan secara utuh dan model hidrolik yang akurat adalah suatu prasyarat untuk membentuk suatu model yang efektif. *EPANET* berisikan suatu mesin analisa hidrolik yang fleksibel yang meliputi kemampuan sebagai berikut:

1. Tidak mempunyai batasan terhadap ukuran jaringan yang dapat dianalisa
2. Memperhitungkan kehilangan tinggi tekan gesekan dengan menggunakan rumus: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, dan Chezy-Manning.
3. Termasuk kehilangan tinggi tekan kecil (*minor losses*), akibat bengkakan sambungan dan lain-lain.

4. Pemodelan terhadap pompa dengan kecepatan yang konstan maupun bervariasi
5. Memperhitungkan energi pemompaan dan biaya
6. Memodelkan berbagai jenis katup meliputi penutupan, pemeriksa, pengaturan tekanan dan katup control aliran.
7. Memungkinkan berbagai bentuk tangki penyimpanan (misalnya diameter yang dapat bervariasi dengan ketinggian)
8. Mempertimbangkan berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada *node* (sambungan pipa), masing-masing dengan pola variasi waktunya sendiri.
9. Pemodelan aliran-dependen yang keluar dari pemancar (kepala *sprinkler*).
10. Dapat memadatkan sistem operasi baik pada tangki sederhana maupun dengan pengatur waktu ataupun control dengan dasar aturan yang rumit.

2.20.2 Model Jaringan *EPANET*

EPANET memodelkan suatu sistem jaringan pipa sebagai suatu kumpulan jalur yang dihubungkan pada suatu titik. Jalur-jalur ini bisa berbentuk pipa, pompa dan katup kontrol, sedangkan suatu titik bisa berbentuk sambungan, tangka dan reservoir. Gambar di bawah ini menggambarkan bagaimana objek-objek tersebut dihubungkan satu sama lain sehingga membentuk satu jaringan.



Gambar 2. 12 Komponen Fisik pada Suatu Sistem Jaringan Distribusi Air
Sumber: EPANET 2, User Manual

1. Sambungan (*junction*) adalah suatu titik pada jaringan dimana beberapa jalur dihubungkan/tergabung secara Bersama dalam suatu titik dimana air masuk dan meninggalkan jaringan.
2. *Reservoir* adalah suatu titik yang melambangkan suatu sumber yang sangat besar atau tempat pembuangan aliran dari suatu jaringan.
3. Tangki (*tanks*) adalah titik dengan suatu kapasitas penyimpanan, dimana volume air yang disimpan dapat bervariasi terhadap waktu selama suatu simulasi. Tangki diperlukan untuk beroperasi pada level maksimum dan minimumnya dan menghentikan aliran masuk jika tangka berada pada level maksimumnya.
4. Penyemprot (*emitters*) adalah alat yang bekerja pada suatu sambungan yang memodelkan aliran melalui pipa yang disemprotkan ke udara.
5. Pipa (*pipes*) adalah jalur-jalur yang membawa air dari suatu titik ke titik lain pada jaringan. *EPANET* mengasumsikan bahwa seluruh pipa penuh sepanjang waktu. Arah aliran dimulai dari ujung yang mempunyai tinggi tekan hidrolik yang lebih tinggi (energi dalam persatuan berat air) menuju

ujung yang mempunyai tinggi tekan yang lebih rendah. Kehilangan tinggi tekan hidrolis dari aliran air di dalam pipa yang disebabkan gesekan dengan dinding pipa dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari rumus berikut:

- a. Rumus Hazen-Williams
- b. Rumus Darcy-Weisbach
- c. Rumus Chezy-Manning

Rumus Hazen-Williams merupakan rumus kehilangan tinggi tekan yang paling umum digunakan di Amerika. Rumus tersebut tidak dapat digunakan untuk zat cair selain air dan hanya dikembangkan untuk aliran turbulen. Rumus Darcy-Weisbach merupakan suatu pendekatan teoritis yang baik. Rumus ini digunakan untuk seluruh sistem aliran dan untuk seluruh jenis zat cair. Rumus Chezy-Manning lebih umum digunakan untuk aliran pada zat terbuka.