

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Umum

Air merupakan kebutuhan bagi kehidupan. Semua makhluk membutuhkan air dalam kehidupannya sehingga tanpa air dapat dipastikan tidak ada kehidupan. Air bersih merupakan kebutuhan pokok manusia yang meliputi air yang dikonsumsi, untuk mandi, mencuci, dan berbagai bentuk kegiatan kebersihan lingkungan lainnya (Triatmadja, 2019). Menurut Permenkes No. 492/Menkes/PER/IV/2010 air bersih harus memenuhi persyaratan kesehatan sehingga apabila dikonsumsi tidak menimbulkan efek samping. Adapun persyaratan kesehatan yang dimaksud adalah persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif.

2.2 Persyaratan dalam Penyediaan Air Bersih

Beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam penyediaan air bersih yaitu sebagai berikut :

2.2.1 Persyaratan Kualitas

Persyaratan kualitas menggambarkan kualitas dari air baku. Persyaratan ini meliputi persyaratan fisika, kimiawi, mikrobiologis dan radioaktif. Persyaratan ini berdasarkan Permenkes No.492/Menkes/PER/IV/2010 dinyatakan bahwa syarat air bersih adalah sebagai berikut :

1. **Persyaratan fisika**

Persyaratan fisik mencakup pada kualitas yang ada pada penampakan air tersebut. Air bersih harus jernih, tidak berbau, dan tidak berasa dan sebaiknya suhu pada air bersih sama dengan suhu ruangan atau kurang lebih 25°C. Apabila terjadi perbedaan suhu maka batas yang diperbolehkan adalah 25°C – 30 °C.

2. **Persyaratan kimiawi**

Air bersih tidak boleh mengandung bahan kimia dalam jumlah ambang batas yang disyaratkan. Beberapa syarat kimia antara lain : pH, total solid, zat organik, CO₂ agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan

(Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chloride (Cl), nitrit, florida (f), dan logam berat.

3. Persyaratan mikrobiologi

Air bersih tidak boleh mengandung patogen dan parasit yang dapat mengganggu kesehatan. Persyaratan mikrobiologi ditandai tidak adanya bakteri *E.Coli* atau *Fecal coli* didalam air.

4. Persyaratan radioaktif

Air bersih tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan radioaktif seperti, sinar alfa, beta dan gamma.

2.2.2 Persyaratan Kuantitas (Debit)

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Artinya, air baku tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air bersih yang dialirkan ke konsumen sesuai jumlah air yang dibutuhkan. Kebutuhan air bersih masyarakat bervariasi, tergantung pada letak geografis, kebudayaan, tingkat ekonomi, dan skala perkotaan tempat tinggalnya. Untuk kebutuhan air bersih dapat dibagi dalam dua klasifikasi pemakaian air yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik.

a. Kebutuhan Air Domestik

Standar kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti : memasak, minum, mencuci, dan keperluan rumah tangga lainnya. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari. Besarnya kebutuhan air yang dipakai dalam perencanaan dihitung berdasarkan standar air dalam Tabel 2.1 (NSPM Kimpraswil,2002).

b. Kebutuhan Air Non Domestik

Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih di luar keperluan rumah tangga. Konsumsinya ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, kesehatan, industri, komersial, umum, dan lainnya. Besarnya kebutuhan air untuk keperluan non domestik dapat dilihat pada Tabel 2.2 sampai Tabel 2.4 (NSPM Kimpraswil,2002).

Tabel 2.3 Kriteria Perencanaan Air Bersih Domestik

No.	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		>1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	<20.000
		Metro	Kecil	Sedang	Kecil	Desa
1	Konsumsi unit sambungan (SR) l/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) l/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik l/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6	Faktor jam puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di jaringan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi	24	24	24	24	24
11	Volume <i>reservoir</i> (% max day demand)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 70:30	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cangkupan pelayanan (%)	90	90	90	90	70

Sumber : NSPM Kimpraswil, 2002

Tabel 2.4 Pemakaian Air Rata-rata untuk Kebutuhan Air Non Domestik

No.	Jenis Kebutuhan	Pemakaian Air Rata-Rata Per Hari (Liter)	Keterangan
1	Kantor	100-200	Per karyawan atau 1-2 m ³ /unit/hari
2	Rumah Sakit	250-1000	Setiap tempat tidur pasien pasien luar : 8 liter Pegawai : 8 liter
3	Gedung Bioskop	10	Per pengunjung
4	SD, SLTP	40-50	Per murid, guru : 100 liter
	SLTA dan Lebih tinggi	80	Per murid, guru : 100 liter
5	Laboratorium	100-200	Per karyawan
6	Tosebra	3	Pengunjung, karyawan : 100 liter
7	Industri Pabrik	Buruh pria : 80 Buruh wanita : 100	Per orang per shift
8	Stasiun dan Terminal	3	Setiap penumpang
9	Restoran	30	Penghuni : 160 liter
10	Hotel	250-300	Untuk setiap tamu
11	Perkumpulan sosial	30	Setiap tamu
12	Tempat Ibadah	10	Jumlah Jemaah setiap hari atau 0,5-2 m ³ /unit/hari

Sumber : NSPM Kimpraswil, 2002

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

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	10	Liter / murid / hari
Rumah Sakit	200	Liter / bed / hari
Puskesmas	2000	Liter / hari / unit
Masjid	3000	Liter / hari / unit
Kantor	10	Liter / pegawai / hari
Pasar	12000	Liter / hektar / hari
Hotel	150	Liter / bed / hari
Rumah Makan	100	Liter / tempat duduk/ hari
Komplek Militer	60	Liter / orang / hari
Kawasan Industri	0,2-0,8	Liter / detik / hektar
Kawasan Pariwisata	0,1-0,3	Liter / detik / hektar

Sumber : NSPM Kimpraswil, 2002

Tabel 2.4 Kebutuhan Air Non Domestik untuk Kategori V (Desa)

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	10	Liter / murid / hari
Rumah Sakit	200	Liter / bed / hari
Puskesmas	1200	Liter / hari
Hotel	90	Liter / bed / hari
Kawasan Industri	10	Liter / detik

Sumber : NSPM Kimpraswil, 2002

2.2.3 Persyaratan Kontinuitas

Persyaratan kontinuitas untuk penyediaan air bersih sangat erat hubungannya dengan kuantitas air yang tersedia, yaitu air baku yang ada di alam. Arti kontinuitas adalah bahwa air baku untuk air bersih tersebut dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit relatif tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam perhari, atau setiap saat diperlukan, kebutuhan air tersedia. Akan tetapi kondisi ideal tersebut tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia, sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktivitas konsumen selama 12 jam per hari, yaitu pada jam-jam aktivitas kehidupan pada pukul 06.00-18.00.

Kontinuitas aliran sangat penting ditinjau dua aspek. Aspek pertama adalah kebutuhan konsumen. Sebagian besar konsumen memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaan dengan jumlah yang tidak ditentukan. Karena itu, diperlukan *reservoir* pelayanan dan fasilitas energi yang setiap saat dan diperlukan *reservoir* pelayanan dan fasilitas energi setiap saat. Aspek kedua adalah sistem jaringan perpipaan. Ukuran pipa tidak melebihi dimensi yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi.

2.2.4 Persyaratan Tekanan Air

Konsumen memerlukan sambungan air dengan tekanan yang cukup, dalam arti dapat dilayani dengan jumlah air yang diinginkan setiap saat. Untuk menjaga tekanan akhir pipa di seluruh daerah layanan, pada titik awal distribusi diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk mengatasi kehilangan tekanan karena gesekan,

yang tergantung kecepatan aliran, jenis pipa, diameter pipa, dan jarak jalur pipa tersebut.

Menurut Permen PU No.18/PRT/M/2007, tekanan dalam pipa distribusi sebaiknya tidak melebihi 10-80 m, sedangkan kecepatan dalam pipa berkisar antara 0,3-4,5 m/s. Tekanan kurang mengakibatkan aliran air sampai ke konsumen tidak mengalir, sedangkan tekanan air berlebih dapat menimbulkan terjadinya pukulan air yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat-alat perpipaan. Kecepatan aliran air yang rendah dapat menyebabkan terjadinya pengendapan sedimen dalam pipa, menimbulkan efek korosi dalam pipa, sedangkan bila kecepatan aliran terlalu tinggi menyebabkan terjadinya penggerusan pipa sehingga mempercepat usia pipa.

2.3 Proyeksi Penduduk

Untuk memenuhi air di suatu daerah diperlukan proyeksi penduduk untuk menghitung jumlah kebutuhan air. Data tentang kependudukan diperoleh dari Badan Pusat Statistik dari hasil sensus penduduk, karena sensus penduduk berfungsi menentukan jumlah penduduk suatu negara yang dilakukan setiap 10 tahun sekali.

Perhitungan proyeksi jumlah penduduk dapat digunakan untuk beberapa macam perencanaan yaitu :

- a. Perencanaan yang tujuannya untuk menyediakan jasa sebagai respon terhadap yang sudah diproyeksikan.
- b. Perencanaan yang tujuannya untuk merubah *trend* penduduk menuju perkembangan demografi sosial dan ekonomi.

Jumlah penduduk merupakan faktor terpenting dalam menentukan lingkup dari suatu perkembangan pembangunan yang salah satunya adalah pengelolaan penyediaan kebutuhan air bersih, oleh karena itu perkiraan penduduk tidak hanya diambil untuk beberapa tahun sesudahnya akan tetapi sampai berpuluh tahun setelah pelaksanaan sensus.

Menurut Permen PU No.18/PRT/M/2007, dalam memperkirakan jumlah penduduk ada beberapa metode proyeksi yaitu :

2.3.1 Metode Aritmatik

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

$$P_n = P_o + K_a(T_n - T_o) \quad (2.1)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \quad (2.2)$$

Dimana :

P_n = jumlah penduduk tahun ke n (jiwa) ;

P_o = jumlah penduduk pada tahun dasar (jiwa) ;

T_n = tahun ke n ;

T_o = tahun dasar ;

K_a = konstanta aritmatik ;

P_1 = jumlah penduduk yang diketahui tahun ke 1 ;

P_2 = jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir ;

T_1 = tahun ke I yang diketahui ;

T_2 = tahun ke II yang diketahui.

2.3.2 Metode Geometrik

Pertumbuhan penduduk secara geometrik adalah pertumbuhan penduduk yang menggunakan dasar berbunga-bunga (bunga majemuk). Jadi pertumbuhan penduduk dimana angka pertumbuhan (*rate of growth*) adalah sama untuk setiap tahun. Persamaan yang digunakan adalah :

$$P_n = P_o \times (1 + r)^n \quad (2.3)$$

Dimana :

P_n = jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa);

P_o = jumlah penduduk pada tahun awal ;

r = laju pertumbuhan penduduk ;

n = jumlah interval tahun .

2.3.3 Metode Least Square

Perhitungan proyeksi metode *least square* dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y = a + b.X \quad (2.4)$$

Dimana :

Y = nilai perkiraan jumlah penduduk (jiwa);

a.b = konstanta;

x = selisih tahun perkiraan dengan tahun dasar perhitungan .

Adapun persamaan a dan b adalah sebagai berikut :

$$a = \frac{\Sigma Y.\Sigma X^2 - \Sigma Y.\Sigma XY}{n.\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (2.5)$$

$$b = \frac{n.\Sigma X.Y - \Sigma X.\Sigma Y}{n.\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (2.6)$$

Bila koefisien telah dihitung terlebih dahulu, maka konstanta a dapat ditentukan dengan persamaan lain yaitu :

$$a = \bar{y} - b.\bar{x} \quad (2.7)$$

Dimana \bar{y} dan \bar{x} masing-masing adalah rata-rata variabel Y dan X.

2.3.4 Pemilihan Metode Proyeksi Penduduk

Untuk menentukan pilihan persamaan proyeksi jumlah penduduk yang akan digunakan dengan hasil perhitungan yang paling mendekati kebenaran harus dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi dan koefisien korelasi.

2.3.4.1 Standar Deviasi

Deviasi adalah ukuran dari seberapa luas simpangan nilai dari nilai rata-rata (*mean*). Untuk menentukan metoda proyeksi yang paling mendekati kebenaran terlebih dahulu perlu dihitung standar deviasi dari hasil perhitungan ketiga metode diatas.

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (Y_i - Y_{mean})^2}{n-1}} \text{ untuk } n > 20 \quad (2.8)$$

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (Y_i - Y_{mean})^2}{n}} \text{ untuk } n = 20 \quad (2.9)$$

Dimana :

- S = standar deviasi;
 Y_i = variabel independen Y (jumlah penduduk);
 Y mean = rata-rata Y;
 n = Jumlah data.

2.3.4.2 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi berguna untuk menentukan hubungan antara dua variable yang berskala interval, besarnya korelasi adalah 0 s/d 1. Korelasi dapat positif yang artinya searah dan jika negatif artinya berlawanan arah (Sarwono, 2006). Metode perhitungan proyeksi penduduk yang menghasilkan koefisien korelasi paling mendekati 1 adalah metode yang dipakai.

$$r = \frac{(n \times \Sigma XY) - (\Sigma X \times \Sigma Y)}{((n \times \Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2) \times ((n \times \Sigma X^2) - (\Sigma X)^2)^{0,5}} \quad (2.10)$$

Dimana :

- r = koefisien korelasi;
 X = variabel independen;
 Y = variabel dependen;
 n = banyaknya data.

2.4 Fluktuasi Penggunaan Air Bersih

Menurut Al-Layla (1978), jumlah pemakaian air dari waktu ke waktu tidak sama, dengan kata lain terjadi fluktuasi pemakaian air. Pada hari tertentu di setiap minggu, bulan atau tahun akan terdapat pemakaian air yang lebih besar daripada kebutuhan rata-rata perhari. Pemakaian air tersebut disebut pemakaian hari maksimum. Demikian pula pada jam-jam tertentu didalam satu hari, pemakaian air akan meningkat lebih besar daripada kebutuhan air rata-rata perhari (pemakaian jam puncak). Ada 4 (empat) macam pengertian tentang fluktuasi pemakaian air :

1. Pemakaian sehari-hari adalah pemakaian rata-rata dalam sehari atau pemakaian setahun dibagi 365 hari.
2. Pemakaian sehari terbanyak (*maximum day demand*) adalah pemakaian terbanyak pada suatu hari dalam setahun.

3. Pemakaian sejam rata-rata adalah pemakaian rata-rata dalam satu jam, pemakaian satu hari dibagi 24 jam.
4. Pemakaian sejam terbanyak (*maximum hourly demand*) adalah pemakaian sejam terbesar pada suatu jam dalam satu hari.

Untuk mengetahui kebutuhan hari maksimum dan kebutuhan jam puncak adalah dengan mengalikan nilai faktor hari maksimum dan nilai faktor jam puncak dengan kebutuhan air rata-rata perhari. Di Indonesia, nilai faktor hari maksimum umumnya adalah 1,1-1,3, sedangkan faktor jam puncak umumnya adalah 1,7-3,5.

2.5 Sistem Distribusi dan Sistem Pengaliran Air Bersih

2.5.1 Sistem Distribusi Air Bersih

Sistem distribusi adalah sistem yang langsung berhubungan dengan konsumen, yang mempunyai fungsi pokok mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan. Sistem ini meliputi unsur sistem perpipaan dan perlengkapannya, hidran kebakaran, tekanan tersedia, sistem pemompaan (bila diperlukan), dan *reservoir* distribusi (Joko,2010).

Sistem pendistribusian air ke masyarakat, dapat dilakukan secara langsung dengan gravitasi maupun sistem pompa. Pembagian air dilakukan melalui pipa-pipa distribusi, seperti :

1. Pipa primer, tidak diperkenankan untuk dilakukan *tapping*.
2. Pipa sekunder, diperkenankan *tapping* untuk keperluan tertentu, seperti *fire hydrant*, bandara, pelabuhan dan lain-lain.
3. Pipa tersier, diperkenankan *tapping* untuk kepentingan pendistribusian air ke masyarakat melalui pipa kuartier.

2.5.2 Sistem Pengaliran Air Bersih

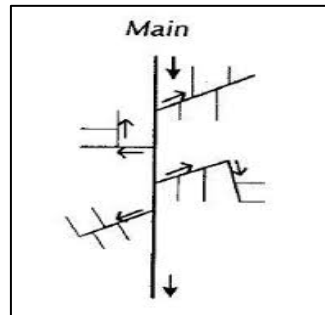
Distribusi air minum dapat dilakukan dengan beberapa cara, tergantung kondisi topografi yang menghubungkan sumber air dengan konsumen. Distribusi secara gravitasi, pemompaan maupun kombinasi pemompaan dan gravitasi dapat digunakan untuk menyuplai air ke konsumen dengan tekanan yang mencukupi. Berikut ini sistem pengaliran yang dipakai adalah sebagai berikut (Joko,2010):

- a. Cara Gravitasi
Cara gravitasi dapat digunakan apabila elevasi sumber air mempunyai perbedaan cukup besar dengan elevasi daerah pelayanan, sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan.
- b. Cara Pemompaan
Pada cara ini pompa digunakan untuk meningkatkan tekanan yang diperlukan untuk mendistribusikan air dari *reservoir* distribusi ke konsumen. Cara ini digunakan jika daerah pelayanan merupakan daerah datar, dan tidak ada daerah yang berbukit.
- c. Cara Gabungan
Pada cara gabungan, *reservoir* digunakan untuk mempertahankan tekanan yang diperlukan selama periode pemakaian tinggi pada kondisi darurat, misalnya saat terjadi kebakaran, atau tidak adanya energi. Selama periode pemakaian rendah, sisa air dipompakan dan disimpan dalam *reservoir* distribusi. Karena *reservoir* distribusi digunakan sebagai cadangan air selama periode pemakaian tinggi atau pemakaian puncak, maka pompa dapat dioperasikan pada kapasitas debit rata-rata.

2.6 Pola Jaringan Sistem Distribusi Air Bersih

Berbagai macam pola jaringan sistem distribusi air bersih adalah (Joko,2010) :

- a. Sistem Cabang (*Branch*)
Bentuk cabang dengan jalur buntu (*dead-end*) mempunyai cabang sebuah pohon. Pada pipa induk utama (*primary feeders*), tersambung pipa induk sekunder (*secondary feeders*), dan pada pipa induk sekunder tersambung pipa pelayanan utama (*small distribution mains*) yang terhubung dengan penyediaan air minum dalam gedung. Dalam pipa dengan jalur buntu ,arah aliran air selalu sama dan suatu areal mendapatkan suplai air dari satu pipa tunggal.

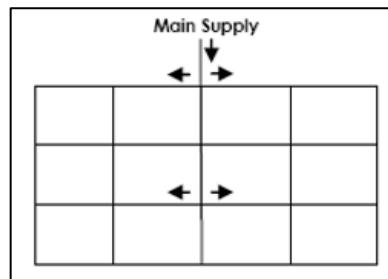


Sumber : Joko,2010

Gambar 2.4 Pola jaringan sistem cabang

b. Sistem *Gridiron*

Pipa induk utama dan pipa sekunder terletak dalam kotak, dengan pipa induk utama, pipa induk sekunder, serta pipa pelayanan utama saling terhubung. Sistem ini paling banyak digunakan.

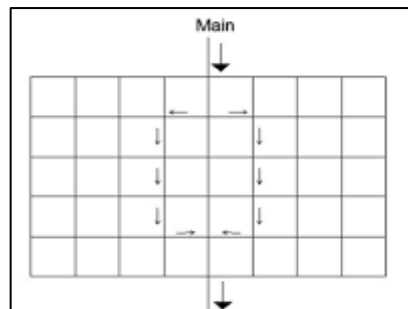


Sumber : Joko,2010

Gambar 2.5 Pola jaringan sistem gridiron

c. Sistem Melingkar (*loop*)

Pipa induk utama terletak mengelilingi daerah layanan. Pengambilan dibagi menjadi dua dan masing-masing mengelilingi batas daerah layanan, dan keduanya bertemu kembali di ujung. Pipa perlintasan (*cross*) menghubungkan kedua pipa induk utama. Didalam daerah layanan, pipa pelayanan utama terhubung dengan pipa induk utama.



Sumber : Joko,2010

Gambar 2.6 Pola jaringan sistem melingkar

2.7 Jalur Pipa

Jalur pipa sebaiknya mengikuti jalan raya dan dipilih jalur yang tidak memerlukan banyak perlengkapan untuk mengurangi biaya konstruksi dan pemeliharaan. Pemilihan jalur distribusi semestinya ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jalur distribusi, yaitu :

- a. Kondisi topografi sepanjang jalur yang akan dilalui saluran distribusi, sedapat mungkin yang tidak banyak memerlukan bangunan perlindungan.
- b. Panjang jalur antara lokasi sumber air dan lokasi yang dituju diusahakan sependek mungkin.
- c. Kualitas tanah sepanjang jalur sehubungan dengan perlindungan saluran, misalnya perlindungan terhadap bahaya korosi.
- d. Struktur tanah sehubungan dengan pemasangan saluran.
- e. Pelaksanaan dan pemeliharaan dipilih yang semudah mungkin baik dalam konstruksi pelaksanaan maupun pemeliharanya.

Sedangkan untuk penempatan dan pemasangan pipa perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Kedalaman galian .
- b. Kedalaman timbunan.
- c. Bentuk parit.
- d. Material timbunan.
- e. Material pendukung yang diperlukan baik untuk pemasangan pipa di bawah tanah maupun pipa yang terekspos diatas tanah.
- f. Kemiringan pipa yang dipasang.

2.8 Diameter Pipa

Dalam menghitung diameter pipa dapat digunakan persamaan *Hazen William* dengan persamaan berikut :

$$Q = 0,2785xCxD^{2,63}xS^{0,54} \quad (2.11)$$

Dimana :

Q = kapasitas kebutuhan maks per hari (m³/det);

C = koefisien kekasaran pipa menurut *Hazen William*;

D = diameter pipa;

S = *Slope* / kemiringan muka tanah.

Penentuan diameter pipa yang akan digunakan untuk distribusi air bersih yang dibutuhkan untuk mengalirkan air yang cukup untuk suatu jaringan distribusi air bersih dapat dihitung berdasarkan kecepatan aliran air dengan rumus utama yaitu:

$$Q = V \cdot A \quad (2.12)$$

Dimana :

Q = laju aliran air yang dibutuhkan (m³/s);

V = kecepatan aliran air yang melalui pipa (m/s);

A = luas penampang pipa (m²).

Sehingga,

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{1}{2}D\right)^2 \quad (2.13)$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (2.14)$$

2.9 Kehilangan Energi

Salah satu faktor yang dominan untuk diperhatikan pada aliran didalam pipa, adalah tinggi kehilangan energi. Tinggi kehilangan energi dapat dikelompokkan menjadi kehilangan energi utama atau *major loss* akibat gesekan dengan dinding pipa dan kehilangan energi *minor* akibat sambungan-sambungan, belokan-belokan, *valve*, dan aksesoris lainnya (Kodoatie, 2009).

2.9.1 Kehilangan Energi akibat Gesekan (*Major Losses*)

Kehilangan energi akibat gesekan dengan dinding pipa di aliran seragam dapat dihitung dengan persamaan *Darcy-Weisbach*.

$$H_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2.15)$$

Dimana :

H_f = tinggi hilang akibat gesekan (*friction*);

f = factor gesekan (*friction factor*);

L = panjang pipa;

- D = diameter pipa;
 V = kecepatan aliran;
 g = gravitasi.

Nilai kekasaran untuk berbagai jenis pipa mengacu pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Nilai Kekasaran Dinding untuk Berbagai Pipa Komersial

Bahan	Kekasaran	
	ft	m
<i>Riveted Steel</i>	0,003-0,03	0,0009-0,009
<i>Concrete</i>	0,001-0,01	0,0003-0,003
<i>Wood Steve</i>	0,0006-0,003	0,0002-0,009
<i>Cast Iron</i>	0,00085	0,00026
<i>Galvanized Iron</i>	0,0005	0,00015
<i>Asphalted Cast Iron</i>	0,0004	0,0001
<i>Commercial Steel or Wrought Iron</i>	0,00015	0,000046
<i>Drawn Brass or Copper tubing</i>	0,000005	0,0000015
<i>Glass and Plastic</i>	"smooth"	"smooth"

Sumber : Jack. B., 1987

Pada umumnya rumus yang dipakai untuk menghitung kerugian *head* dalam pipa relatif sangat Panjang seperti jalur pipa penyalur air minum dapat menggunakan persamaan *Hazen-Williams* sebagai berikut (Sularso,2000):

$$h_f = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} d^{4,85}} L \quad (2.16)$$

Dimana :

- h_f = kerugian gesekan dalam pipa (m) ;
 Q = laju aliran dalam pipa (m³/s);
 L = panjang pipa (m);
 C = koefisien kekasaran *Hazen-Williams* (Tabel 2.6);
 d = diameter pipa.

Dimana nilai koefisien kekasaran *Hazen-Williams* mengacu pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Koefisien Kekasaran Pipa *Hazen-Williams*

Jenis Pipa	Nilai CH
Lead	130-140
Metal Pipes – Very to extremely smooth	130-140

Jenis Pipa	Nilai CH
Plastic	130-150
Polyethylene, PE, PEH	130-140
Polyvinyl chloride, PVC, CPVC	150
Smooth Pipes	140
Steel new unlined	140-150
Steel, comugated	60
Steel welded and seamless	100
Steel, interior riveted, no projecting rivets	110
Steel, Projecting girth and horizontal rivets	100
Steel, vitrified, spiral-riveted	90-110
Steel, vitrified and seamless	100
Tins	130
Vitrified Clay	110
Wrought iron, plain	100
Wooden or Masonry Pipe - Smooth	120
Wood Stave	110-120

Sumber : Sularso,2000

Dimana antara faktor – faktor di atas, faktor gesekan (f) merupakan salah satu faktor yang sulit penentuannya. Kesulitan ini karena faktor gesekan (f) juga sangat tergantung pada kondisi aliran di dalam pipa tersebut. Secara umum faktor gesekan (f) dapat dihitung dengan persamaan *Colebrook-White*, yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{k}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (2.17)$$

Dimana :

k = kekasaran efektif dinding dalam pipa;

D = diameter pipa;

Re = bilangan *Reynold* ($Re = \frac{vD}{\nu}$);

V = kekentalan kinematik cairan.

2.9.2 Kehilangan Energi Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan energi minor adalah kehilangan energi akibat perubahan tampang saluran, sambungan – sambungan, belokan, *valve*, dan aksesoris lainnya.

- a. Kehilangan energi akibat penyempitan (*contraction*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_c = K_c \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.18)$$

Dimana :

H_c = tinggi hilang akibat penyempitan (m);

K_c = Koefisien kehilangan energi akibat penyempitan;

v_2 = kecepatan rata-rata aliran dengan diameter D_2 (yaitu di hilir dari penyempitan).

Dimana nilai K_c untuk berbagai nilai D_2/D_1 dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Nilai K_c untuk Berbagai Nilai (D_2/D_1)

D_2/D_1	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
K_c	0,5	0,45	0,38	0,28	0,14	0,00

Sumber : Sularso, 2000

- b. Tinggi energi akibat pembesaran tampang (*Expansion*)

$$H_c = K_c \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.19)$$

Dimana :

$$K_c = \left(\frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2$$

- c. Tinggi energi akibat *valve*

$$H_v = K_v \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.20)$$

Dimana :

K_v = koefisien tinggi di *valve*, tergantung jenis *valve* dan bukaannya.

2.10 Dasar Perencanaan Pompa

Dalam perencanaan pompa untuk memindahkan air dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan *head* tertentu diperlukan beberapa syarat utama, yaitu :

2.10.1 Kapasitas

Kapasitas pompa adalah jumlah fluida yang dialirkan oleh pompa persatuan waktu. Kapasitas pompa ini tergantung pada kebutuhan yang harus dipenuhi sesuai dengan fungsi yang direncanakan.

2.10.2 Head Pompa

Head pompa adalah ketinggian kolom fluida yang harus naik untuk memperoleh jumlah yang sama dengan yang dikandung oleh satuan bobot fluida pada kondisi yang sama. *Head* ini ada tiga bentuk, yaitu :

a. *Head* potensial

Didasarkan pada ketinggian fluida di atas bidang banding (*datum plane*). Jadi suatu kolom air setinggi Z mengandung sejumlah energi yang disebabkan oleh posisinya atau disebut fluida mempunyai *head* sebesar Z kolom air.

b. *Head* kecepatan

Head kecepatan atau *head* kinetic yaitu suatu ukuran energi kinetic yang dikandung fluida yang disebabkan oleh kecepatannya dan dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = C \quad (2.21)$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{head kecepatan} \quad (2.22)$$

c. *Head* tekanan

Head tekanan adalah energi yang dikandung fluida akibat tekanannya dan dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{p}{\gamma} = \text{head tekanan} \quad (2.23)$$

Head total dari pompa diperoleh dengan menjumlahkan *head* yang disebut di atas dengan kerugian-kerugian yang timbul dalam instalasi pompa (*head mayor* dan *head minor*). Dalam menentukan jumlah pompa dan kapasitasnya, perlu diperhatikan beberapa hal berikut :

- a. Kapasitas maksimum pompa yang dapat diproduksi saat ini.
- b. Bila kebutuhan berubah-ubah, sebaiknya dipakai beberapa unit pompa. Yaitu sebesar konsumsi minimum atau dapat juga digunakan beberapa unit pompa dengan kapasitas berbeda.

- c. Usahakan pompa bekerja pada titik operasi yang menghasilkan efisiensi terbaik.
- d. Bila kapasitas yang akan dipompakan besar, sebaiknya digunakan pompa dengan kapasitas besar. Karena untuk kapasitas besar, umumnya efisiensi pompa menjadi lebih tinggi. Jadi penggunaan daya lebih ekonomis.
- e. Sebaiknya pompa-pompa yang digunakan sama, agar penyediaan suku cadang lebih mudah.
- f. Pemilihan *head* pompa yang sesuai dengan yang dibutuhkan.

Pompa adalah suatu alat yang dapat memindahkan cairan dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi atau ketempat yang mempunyai tekanan yang sama. Pompa menambahkan tekanan pada cairan sehingga dapat mengatasi gaya potensial, sehingga cairan mengalir. Pompa juga dapat disamping berfungsi sebagai tersebut diatas juga dapat menempatkan kecepatan aliran dari cairan dan juga digunakan untuk memindahkan lebih banyak cairan dan juga digunakan untuk memindahkan lebih banyak dalam batas waktu tertentu.

Debit pompa distribusi air minum ke *reservoir* ditentukan berdasarkan debit hari maksimum. Periode operasi pompa antara 20-24 jam perhari. Ketentuan jumlah dan debit yang digunakan sesuai dengan Permen PU No.18/PRT/M/2007 pada Tabel 2.8

Tabel 2.8 Jumlah dan Debit Pompa Sistem Distribusi Air Minum

Debit (m3/hari)	Jumlah Pompa	Total Unit
Sampai 125	2 (1)	3
120 s.d 400	Besar : 1 (1)	2
Debit (m3/hari)	Jumlah Pompa	Total Unit
Lebih dari 400	Kecil : 1	1
	Besar : lebih dari 3 (1)	4
	Kecil : 1	1

Sumber : Permen PU No.18/PRT/M/2007

Perhitungan daya pompa yang diperlukan berdasarkan data total tekanan (*head*) yang tersedia, yaitu :

$$P = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{1000 \eta_p \eta_m} \quad (2.24)$$

Dimana :

P = daya pompa (KW)

ρ = kerapatan air (kg/m^3);

g = gravitasi (m/detik^2)

Q = debit air yang dipompa (m^3/detik);

H = total *head* (m);

η_p = efisiensi pompa (90%-95%);

η_m = efisiensi motor (10% lebih rendah dari efisiensi pompa).

2.11 Jenis Pipa

Jenis-jenis pipa yang digunakan pada sistem transmisi dan distribusi adalah sebagai berikut.

a. *Cast Iron Pipe (CIP)*

Tersedia untuk panjang 3,7 m dan 5,5 m dengan diameter 50-900 mm serta dapat menahan tekanan air hingga 240 mka (meter kolom air), tergantung besar diameter pipa. Kelebihan dari pipa jenis ini adalah harga tidak terlalu mahal, ekonomis karena berumur panjang (lebih dari 100 tahun), kuat dan tahan lama, tahan korosi bila dilapisi, mudah disambung, dapat menahan tekanan tanpa mengalami kerusakan, dan kekurangannya yaitu bagian dalam pipa diameter besar besar tidak ekonomis, cenderung patah selama pengangkutan.

b. *Asbestos Cement Pipe*

Dibuat dengan mencampur serat asbes dengan semen pada tekanan tinggi, diameter besar antara 50-900 mm dan dapat menahan tekanan antara 50-250 mka tergantung kelas dan tipe pembuat. Kelebihan adalah ringan dan mudah digunakan, tahan terhadap air yang asam dan basa, bagian dalamnya halus dan tahan terhadap korosi, tersedia untuk ukuran yang panjang dan disambung seperti CIP. Kekurangannya adalah rapuh dan mudah patah, tidak dapat digunakan untuk tekanan tinggi.

c. *Plastic Pipe*

Memiliki banyak kelebihan yaitu tahan terhadap korosi, ringan dan murah, tersedia dalam warna hitam, lebih tahan terhadap bahan kimia kecuali asam nitrat dan asam kuat, lemak dan minyak. Ada dua tipe yaitu :

1. *low density polythene pipe (LDP)*: lebih *fleksibel*, diameter mencapai 63 mm, untuk jalur pipa panjang dan tidak cocok untuk penyediaan air minum dalam gedung.
2. *high density polythene pipe (HDP)*: lebih kuat daripada *low density polythene pipe*, diameter 16-400 mm, diameter besar banyak digunakan jika terdapat kesulitan menyambung pipa diameter kecil, untuk jalur yang panjang. Pipa ini tidak memenuhi standar lingkungan yaitu jika terjadi kontak dengan bahan-bahan seperti organik, ketone ester, alkohol dan sebagainya. Dalam permasalahan ini *HDP* lebih buruk daripada *LDP*.

2.12 Perlengkapan dan Sambungan Pipa Distribusi

Perlengkapan yang ada pada sistem transmisi dan distribusi perpipaan air bersih antara lain *wash out*, berfungsi untuk penggelontor sedimen atau endapan yang ada pada pipa, *air valve*, berfungsi untuk mengatur debit aliran, dan pompa. Untuk memperpanjang umur pipa, dalam pemasangan pipa harus diperhatikan peralatan pipa yang diperlukan serta faktor keamanan antara lain :

a. Katup Udara (*Air Valve*)

Katup udara berfungsi untuk melepaskan udara yang terperangkap dalam pipa, hal ini dapat mengganggu jalannya air dalam pipa. Katup udara ini biasanya diletakan pada tempat-tempat di titik-titik yang tertinggi seperti jembatan dan pada jalur utama yang berada pada topografi tertinggi.

b. Penguras

Perlengkapan penguras diperlukan untuk mengeluarkan kotoran / endapan yang terdapat dalam pipa. Biasa dipasang di tempat yang paling rendah pada sistem perpipaan dan pada jembatan pipa.

c. *Stop / Gate Valve*

Dalam suatu daerah perencanaan yang terbagi atas blok-blok pelayanan, tergantung dari kondisi topografi dan prasarana yang ada, perlu dipasang *gate valve*. Perlengkapan ini diperlukan untuk melakukan pemisahan / melokalisasi suatu blok pelayanan / jalur tertentu yang sangat berguna pada saat perawatan. Biasanya *gate valve* dipasang pada setiap percabangan pipa selain itu perlengkapan ini bisa dipasang sebelum dan sesudah jembatan pipa serta persimpangan jalan raya.

- d. Perkakas (*tee, bend, reducer*, dan lain-lain)

Perkakas perlu disediakan dan dipasang pada perpipaan distribusi sesuai dengan keperluan di lapangan. Apabila pada suatu jalur pipa terdapat lengkungan yang memiliki radius yang sangat besar, penggunaan perkakas belokan (*bend*) boleh tidak dilakukan selama sambungan pipa tersebut masih sesuai dengan yang disyaratkan untuk jenis pipa tersebut.

2.13 Reservoir

Reservoir berfungsi sebagai tempat penampungan air bersih, dan juga sebagai penambah tekanan pada titik pengambilan. Lokasi dari reservoir ditempatkan di dekat jaringan distribusi, agar pendistribusiannya dapat merata dan memiliki tekanan yang cukup. Berdasarkan lokasinya reservoir dibedakan menjadi:

- a. Reservoir Permukaan (*Ground Reservoir*)

Reservoir yang sebagian atau seluruh reservoir tersebut terletak dibawah permukaan tanah.

- b. Reservoir Menara (*Elevated Reservoir*)

Reservoir yang seluruh bagian penampungan dari reservoir tersebut terletak lebih tinggi dari permukaan sekitarnya.

Adapun fungsi dari reservoir adalah :

- a. Untuk menambah tekanan air pada jaringan pipa distribusi.
- b. Agar tekanan air pada jaringan pipa distribusi relatif stabil.
- c. Sebagai tempat persediaan air pada keadaan darurat.
- d. Bila pengisian reservoir menggunakan pompa, maka pompa dapat dijalankan lebih merata.

2.14 Analisa jaringan Pipa Distribusi Air Bersih

Analisa jaringan pipa perlu dilakukan dalam pengembangan suatu jaringan distribusi maupun perencanaan suatu jaringan pipa baru. Sistem jaringan perpipaan didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Ukuran pipa harus tidak melebihi dimensi untuk membawa yang diperlukan dan juga tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan Analisa jaringan pipa distribusi, dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang

diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam analisis sistem jaringan pipa distribusi air bersih yaitu :

- a. Peta distribusi beban, berupa peta tata guna lahan, kepadatan penduduk dan batas wilayah. Juga pertimbangkan dari kebutuhan / beban (area pelayanan).
- b. Daerah pelayanan sectoral dan besar beban. Juga titik sentral pelayanan (*junction points*).
- c. Kerangka induk, baik pipa induk primer maupun pipa induk sekunder.
- d. Untuk sistem induk, ditentukan distribusi alirannya berdasarkan debit puncak.
- e. Pendimensian (*dimensionering*), dengan besar debit diketahui, dan kecepatan aliran yang diijinkan, dapat ditentukan diameter pipa yang diperlukan.
- f. Kontrol tekanan dalam aliran distribusi, menggunakan prinsip kesetimbangan energi. Kontrol atau Analisa tekanan ini dapat dilakukan dengan beberapa metode, disesuaikan dengan rangka distribusi.
- g. Detail sistem pelayanan (sistem mikro dan distribusi) dan perlengkapan distribusi (gambar alat bantu).
- h. Gambar seluruh sistem, berupa peta tata guna lahan, peta pembagian distribusi, peta kerangka, peta sistem induk lengkap dan gambar detail sistem.

Pada saat ini, tingkat kerumitan *real system* telah melebihi kemampuan *engineer* untuk memodelkan setiap *valve*, *bend*, *fitting* dan setiap kemungkinan operasional yang akan terjadi dalam suatu jaringan distribusi air bersih. Pertanyaan dalam menganalisis suatu jaringan distribusi air bersih adalah bagaimana menggabungkan Teknik numerik dan mewujudkannya dalam model komputer dengan deskripsi yang sederhana sehingga model tersebut dapat digunakan dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Mengembangkan model sistem distribusi air sangat berbeda dengan menuliskan program untuk menyelesaikan permasalahan debit pada jaringan pipa. Pada jaringan pipa, selalu diasumsikan bahwa karakteristik pipa telah diketahui demikian pula dengan kebutuhan air. Pada pengembangan model sistem distribusi, metode untuk menentukan pemakaian air dan karakteristik pipa

didiskusikan seiring dengan bagaimana mengatur seluruh data yang terlibat dalam menganalisis sistem distribusi air. Pertanyaan kemudian yang timbul adalah bagaimana memadatkan sistem yang sedemikian luas ke dalam suatu program komputer yang dapat diterima keakurasiannya.

2.15 Perangkat lunak Epanet 2.0 dalam Analisa Jaringan Distribusi Air Bersih

2.15.1 Umum

Epanet 2.0 adalah program komputer yang berbasis *windows* yang merupakan program simulasi dari perkembangan waktu dari profil hidrolis dan perlakuan kualitas air bersih dalam suatu jaringan pipa distribusi, yang didalamnya terdiri dari titik/*node/junction* pipa, pompa, *valve* dan *reservoir* baik *ground reservoir* maupun *reservoir* menara. *Output* yang dihasilkan dari program Epanet 2.0 ini antara lain debit yang mengalir dalam pipa, tekanan air dari masing-masing titik/*node/junction* yang dapat dipakai sebagai analisis dalam menentukan operasi instalasi, pompa dan reservoir serta besarnya konsentrasi unsur kimia yang terkandung dalam air bersih yang didistribusikan dan dapat digunakan sebagai simulasi penentuan lokasi sumber sebagai arah pengembang. Epanet 2.0 didesain sebagai alat untuk mengetahui perkembangan dan pergerakan air serta degradasi unsur kimia yang terkandung dalam air di pipa distribusi air bersih, yang dapat digunakan untuk analisa berbagai macam sistem distribusi, detail desain, model kalibrasi hidrolis, analisa klor dan berbagai unsur lainnya (Rossman,2000).

2.15.2 Kegunaan Epanet 2.0

Kegunaan program Epanet 2.0 (Rossman,2000) :

- a. Didesain sebagai alat untuk mengetahui perkembangan dan pergerakan air serta degradasi unsur kimia yang ada dalam air pipa distribusi.
- b. Dapat digunakan sebagai dasar analisa dan berbagai macam sistem distribusi, detail desain, model kalibrasi hidrolis, analisa sisa klor dan berbagai unsur lainnya.
- c. Dapat membantu menentukan alternatif strategis manajemen dan sistem jaringan pipa distribusi air bersih seperti :

1. Sebagai penentuan alternatif sumber / instalasi, apabila terdapat banyak sumber / instalasi.
2. Sebagai simulasi dalam menentukan alternatif pengoperasian pompa dalam melakukan pengisian *reservoir* maupun injeksi ke sistem distribusi.
3. Digunakan sebagai pusat *treatment* seperti dilakukan proses klorinasi, baik secara diinstalasi maupun dalam sistem jaringan.
4. Dapat digunakan sebagai prioritas terhadap pipa yang akan dibersihkan atau diganti.

Epanet merupakan analisis hidrolis yang terdiri dari (Rossman,2000) :

- a. Analisis ini tidak dibatasi oleh letak lokasi jaringan.
- b. Kehilangan tekanan akibat gesekan (*friction*) dihitung dengan menggunakan persamaan *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach* atau *Chezy-Manning formula*.
- c. Disamping *major losses*, *minor losses* (Kehilangan tekanan di *bend*, *elbow*, *fitting*) dapat dihitung.
- d. Model konstanta atau variabel kecepatan pompa.
- e. Perhitungan energi dan biaya pompa.
- f. Berbagai tipe model *valve* yang dilengkapi dengan *shut off*, *check pressure regulating* dan *flow control valve*.
- g. Reservoir dalam berbagai bentuk dan ukuran (seperti diameter dapat divariasikan dengan ketinggian).
- h. Memperitmbangkan berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada *node* (sambungan pipa), masing-masing dengan pola waktunya sendiri.
- i. Sebagai dasar *operating system* untuk mengontrol level air di *reservoir* dan waktu yang lebih kompleks.

2.15.3 Input Data dalam Epanet 2.0

Data yang dibutuhkan dalam Epanet 2.0 sangat penting sekali dalam proses analisa, evaluasi dan simulasi jaringan air bersih berbasis Epanet. Input data yang dibutuhkan adalah (Rossman,2000) :

1. Peta jaringan.
2. *Node / junction* / titik dari komponen distribusi.

3. Elevasi.
4. Panjang pipa distribusi.
5. Jenis Pipa yang digunakan.
6. Diameter pipa.
7. Umur pipa.
8. Jenis sumber (mata air, sumur bor, IPAM, dan lain-lain).
9. Spesifikasi pompa (bila menggunakan pompa).
10. Bentuk dan ukuran reservoir.
11. Beban masing-masing *node* (besarnya *tapping*).
12. Faktor fluktuasi pemakaian air.
13. Konsentrasi khlor di sumber.

Output yang dihasilkan diantaranya adalah (Rossman, 2000) :

1. Hidrolik *head* masing-masing.
2. Tekanan dan kualitas air.

2.16 Siklus Hidrologi

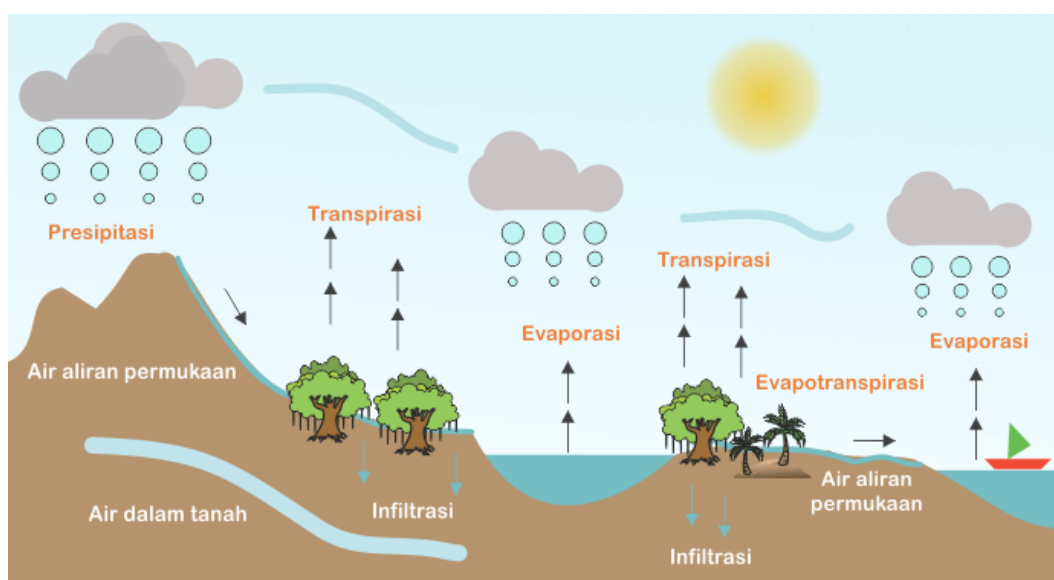
Siklus Hidrologi atau daur hidrologi adalah Gerakan air laut ke udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah dan akhirnya kembali ke laut (Andojo, 2012). Air laut menguap karena adanya radiasi matahari menjadi awan, kemudian awan yang terjadi menjadi bergerak di atas daratan karena tertiuip angin. Adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin menyebabkan presipitasi. Presipitasi yang terjadi bisa berupa hujan, salju, hujan es dan embun.

Setelah jatuh ke permukaan tanah, presipitasi akan menimbulkan limpasan permukaan (*surface runoff*) yang mengalir ke laut. Dalam menuju laut beberapa masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan bergerak terus ke bawah (perkolasi) ke dalam daerah jenuh (*saturated zone*) yang terdapat di bawah permukaan air tanah. Air di dalam daerah ini bergerak perlahan-lahan melewati aquifer masuk ke sungai kemudian ke laut. Air yang masuk ke tanah memberi hidup kepada tumbuhan dan diantaranya naik lewat aquifer diserap akar, batang dan daun sehingga terjadi transpirasi, Transpirasi adalah penguapan pada tumbuhan melalui bagian bawah dan yaitu stomata.

Permukaan tanah, sungai dan danau juga mengalami penguapan yang disebut evaporasi. Jika kedua proses penguapan di atas terjadi bersamaan disebut

evapotranspirasi. Air yang tidak menguap ataupun mengalami infiltrasi Kembali ke laut lewat sungai. Air tanah (*groundwater*) yang bergerak jauh lebih lambat keluar alur-alur masuk ke sungai atau langsung merembes ke pantai. Maka seluruh siklus telah dijalani, kemudian akan berulang kembali. Maka proses dalam siklus hidrologi sebagai berikut.

1. Presipitasi.
2. Evapotranspirasi.
3. Infiltrasi dan perkolasi.
4. Limpasan permukaan (*surface runoff*) dan aliran air tanah (*groundwater flow*).



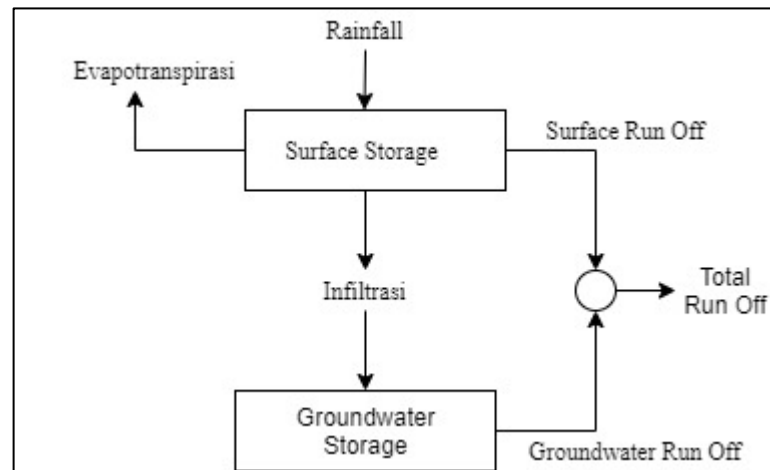
Sumber : www.siswapedia.com

Gambar 2.4 Siklus Hidrologi

2.16.1 Ketersediaan Air (*Water Availability*)

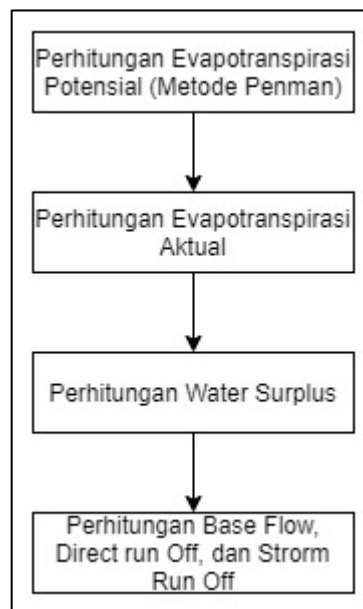
Water Availability adalah jumlah ketersediaan air pada suatu daerah yang ditinjau. Untuk mendapatkan debit air dapat dilakukan dengan cara pengukuran langsung atau dengan cara perhitungan. Salah satu cara dengan menggunakan Metode Mock. Metode Mock dikembangkan oleh F.J. Mock, berdasarkan daur ulang hidrologi dan menjelaskan hubungan *rainfall-runoff*. Metode Mock dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata dengan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan debit yaitu data klimatologi, luas dan penggunaan lahan *catchment area*.

Pada Gambar 2.5 dijelaskan garis besar *rainfall-rainoff* dan Gambar 2.6 dijelaskan proses perhitungan Metode Mock.



Sumber : Andojo, 2012

Gambar 2.5 Bagian alir model *rainfall-runoff*



Sumber : Andojo, 2012

Gambar 2.6 Bagian alir perhitungan debit metode Mock

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

1. Data curah hujan atau *presipitasi*.
2. Data klimatologi seperti : temperatur, penyinaran matahari, kelembapan relatif, kecepatan angin.
3. Data *catchment area*.

Secara keseluruhan perhitungan debit metode Mock ini mengacu pada *water balance*, yaitu hubungan antara aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran ke luar (*outflow*) di suatu daerah dalam periode tertentu. Bentuk persamaan *water balance* yaitu :

$$P = Ea + GS + TRO \quad (2.25)$$

Dimana :

P = presipitasi;

Ea = evapotranspirasi;

GS = perubahan *groundwater storage*;

TRO = total *runoff*.

Volume air total yang ada di bumi adalah tetap, hanya sirkulus dan distribusinya yang bervariasi. *Water balance* merupakan siklus tertutup yang terjadi selama satu tahun, dimana tidak terjadi perubahan *groundwater storage* atau $GS = 0$, artinya awal penentuan *groundwater storage* adalah berdasarkan bulan terakhir dalam tinjauan satu tahun sehingga persamaan *water balance* untuk satu periode satu tahun adalah :

$$P = Ea + TRO \quad (2.26)$$

Dimana :

P = presipitasi;

Ea = evapotranspirasi;

TRO = total *runoff*.

Beberapa hal yang menjadi acuan dalam prediksi debit dengan Metode Mock sehubungan dengan *water balance* adalah :

- a. Dalam satu tahun, perubahan *groundwater storage* harus sama dengan nol.
- b. Jumlah total evapotranspirasi dan total *run off* selama satu tahun harus sama dengan nol dengan total presipitasi yang terjadi dalam satu tahun.

Dengan tetap memperhitungkan kondisi-kondisi batas *water balance* di atas, maka prediksi debit Metode Mock akan akurat.

2.16.2 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi diartikan sebagai kehilangan air dari lahan dan permukaan air suatu daerah pengaliran sungai akibat kombinasi evaporasi dan transpirasi.

Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang mungkin terjadi pada kondisi air yang tersedia berlebihan. Faktor yang mempengaruhinya adalah jika jumlah air yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi, maka jumlah air yang ditranspirasikan akan relatif lebih besar dibandingkan tersedianya air dibawah permukaan. Radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap besarnya evapotranspirasi. Variasi radiasi matahari di daerah tropis tidak terlalu besar dan perubahan kurang lebih 1 mm H₂O/hari akan mempengaruhi evapotranspirasi sebesar kurang lebih 7 %.

Besarnya radiasi matahari berubah-ubah setiap bulan, seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.9 Radiasi Matahari Berbagai Lintang

Belahan Bumi												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Lintang Utara												
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
6	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
4	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
2	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
Lintang Selatan												
0	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
2	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
4	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
6	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
8	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
10	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

Evapotranspirasi aktual terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau (*exposed surface*) pada musim kemarau. Besarnya *exposed surface* (m) untuk tiap daerah berbeda-beda.

Tabel 2.10 Nilai *Exposed Surface*

m	Daerah
0	hutan primer sekunder
10 - 40 %	untuk daerah tererosi
30 - 50 %	untuk daerah ladang pertanian

Sumber : Andojo, 2012

Selain *exposed surface* evapotranspirasi aktual juga dipengaruhi oleh jumlah hari hujan (n) dalam bulan yang bersangkutan, seperti ditunjukkan dalam formulasi sebagai berikut :

$$(dE / E_p) = (m / 20) (18 - n) \quad (2.27)$$

Sehingga

$$dE = E_p (m / 20) (18 - n) \quad (2.28)$$

Dalam formulasi diatas dapat dianalisis bahwa evapotranspirasi potensial akan sama dengan evapotranspirasi aktual jika :

- Evapotranspirasi terjadi pada hutan primer dan sekunder.
- Banyaknya hari hujan dalam bulan yang diamati pada daerah itu dengan 28 hari.

Jadi evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi potensial yang memperhitungkan factor *exposed surface* dan jumlah hari hujan dalam bulan yang bersangkutan. Sehingga evapotranspirasi terbatas dihitung sebagai berikut :

$$E_{\text{actual}} = E_p - dE \quad (2.29)$$

2.16.3 Water Surplus

Water Surplus didefinisikan sebagai air hujan (presipitasi) yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan tanah (*soil storage*). *Water surplus* berpengaruh langsung pada infiltrasi atau perkolasi dan *total run off* yang merupakan komponen debit. Persamaan *water surplus* sebagai berikut :

$$WS = (P - E_a) + SS \quad (2.30)$$

Tampungan kelembapan tanah (*soil moisture storage*, disingkat SMS) terdiri dari kapasitas kelembapan tanah (*soil moisture capacity*, disingkat SMC), zona infiltrasi, limpasan permukaan tanah dan tampungan tanah (*soil storage*, disingkat SS). Besarnya *soil moisture capacity* (SMC) tiap daerah tergantung dari tipe tanaman penutup lahan (*land cover*) dan tipe tanahnya, seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.11 Nilai *Soil Moisture Capacity* untuk berbagai Tipe Tanaman dan Tanah

Tipe Tanaman	Tipe Tanah	Zona Akar (m)	SMC (mm)
Tanaman Berakar Pendek	Pasir Halus	0,5	50
	Pasir Halus dan Loam	0,5	75
	Lanau dan Loam	0,62	125
	Lempung dan Loam	0,4	100
	Lempung	0,25	75
Tanaman Berakar Sedang	Pasir Halus	0,75	75
	Pasir Halus dan Loam	1	150
	Lanau dan Loam	1	200
	Lempung dan Loam	0,8	200
	Lempung	0,5	150
Tanaman Berakar Dalam	Pasir Halus	1	100
	Pasir Halus dan Loam	1	150
	Lanau dan Loam	1,25	250
	Lempung dan Loam	1	250
	Lempung	0,67	200
Tanaman Palm	Pasir Halus	1,5	150
	Pasir Halus dan Loam	1,67	250
	Lanau dan Loam	1,5	300
	Lempung dan Loam	1	250
	Lempung	0,67	200
Mendekati Hutan Alam	Pasir Halus	2,5	250
	Pasir Halus dan Loam	2	300
	Lanau dan Loam	2	400
	Lempung dan Loam	1,67	400
	Lempung	1,17	350

Sumber : Andojo, 2012

Tampungan kelembapan tanah dapat dihitung sebagai berikut :

$$SMS = ISMS + (P - E_a) \quad (2.31)$$

Dimana:

ISMS = *Initial soil moisture storage* (tampungan kelembapan tanah awal), merupakan *soil moisture capacity* (SMC) bulan sebelumnya ;

P – E_a = Presipitasi yang telah mengalami evapotranspirasi.

Menurut F.J Mock asumsi yang dipakai adalah air akan memenuhi SMC terlebih dahulu sebelum *water surplus* tersedia untuk infiltrasi dan perkolasi yang lebih dalam atau melimpas langsung (*direct runoff*). Ada dua keadaan yang menentukan SMC, yaitu :

- a. $SMC = 200\text{mm/bulan}$, jika $(P - E_a) \geq 0$.
Artinya *soil moisture storage* (tampungan tanah lembap) sudah mencapai kapasitas maksimumnya atau terlampaui sehingga air tidak disimpan dalam tanah lembap. Berarti *soil storage* (SS) sama dengan nol dan besarnya *water surplus* sama dengan $P - E_a$.
- b. $SMC = SMC \text{ bulan sebelumnya} + (P - E_a)$, jika $(P - E_a) < 0$.
Untuk keadaan ini, tampungan tanah lembap (*soil moisture storage*) belum mencapai kapasitas maksimum, sehingga air yang disimpan dalam tanah lembap. Besarnya air yang disimpan ini adalah $(P - E_a)$. Karena air berusaha untuk mengisi kapasitas maksimumnya, maka untuk keadaan ini tidak ada *water surplus* ($WS = 0$).

2.16.4 Limpasan Total

Hujan yang mengalami evapotranspirasi dan disimpan dalam tanah lembap selanjutnya akan melimpah di permukaan (*surface runoff*) serta mengalami perkolasi. Menurut Mock besarnya infiltrasi adalah *water surplus* (WS) dikalikan koefisien infiltrasi (if), atau :

$$\text{Infiltrasi (in)} = WS \times \text{if} \quad (2.32)$$

Koefisien *infiltrasi* ditentukan oleh kondisi porositas dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan bersifat poros umumnya memiliki koefisien yang cenderung besar. Namun jika kemiringan tanahnya terjal dimana air tidak sempat mengalami infiltrasi dan perkolasi kedalam tanah, maka koefisien nya infiltrasinya bernilai kecil. Infiltrasi terus terjadi sampai mencapai zona tampungan air tanah (*groundwater storage*, disingkat GS). Besarnya *groundwater storage* (GS) dipengaruhi oleh :

- Infiltrasi (i).
- Konstanta resesi aliran bulanan.
- Groundwater storage* bulan sebelumnya.

Dari ketiga faktor tersebut, Mock merumuskan sebagai berikut :

$$GS = \{ 0,5 \times (1 + K) \times \text{in} \} + \{ K \times G_{\text{som}} \} \quad (2.33)$$

Perubahan *groundwater storage* adalah selisih antara *groundwater storage* bulan yang ditinjau dengan *groundwater storage* bulan sebelumnya. Perubahan *groundwater storage* ini penting bagi terbentuknya aliran dasar sungai (*base flow*,

disingkat BS). Dalam hal ini *base flow* merupakan selisih antara infiltrasi dengan perubahan *groundwater storage*, dalam bentuk persamaan :

$$BF = in - VGS \quad (2.34)$$

Selain *base flow* , komponen debit yang lain adalah *direct run off* (limpasan langsung) atau *surface runoff* (limpasan permukaan). Limpasan permukaan berasal dari *water surplus* yang telah mengalami infiltrasi. Jadi *direct run off* dihitung dengan persamaan :

$$DRO = WS - in \quad (2.35)$$

Komponen pembentuk debit yang lain adalah *storm run off*, yaitu limpasan langsung ke sungai yang terjadi hujan deras. *storm run off* hanya beberapa persen saja dari hujan. *Storm run off* hanya dimasukkan ke dalam total *run off* bila presipitasi kurang dari nilai maksimum *soil moisture factor*. *Storm run off* dipengaruhi oleh *percentage factor* (PF). *Percentage factor* adalah persen hujan yang menjadi limpasan. Besarnya PF oleh Mock disarankan 5-10%, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan hingga mencapai 37%.. Dalam perhitungan debit ini, Mock menetapkan bahwa :

- a. Jika presipitasi (P) > maksimum *soil moisture capacity* maka nilai *storm runoff* = 0
- b. Jika presipitasi < maksimum *soil moisture capacity* maka nilai *storm run off* adalah jumlah curah hujan dalam satu bulan yang bersangkutan dikalikan dengan *percentage factor*, atau

$$SRO = P \times PF \quad (2.36)$$

Sehingga *total runoff* (TRO) adalah :

$$TRO = BF + DRO + SRO \quad (2.37)$$

Total run off dinyatakan dalam mm/bulan. Jika TRO dikalikan dengan *catchment area* (daerah tangkapan air, m²) maka didapat besaran debit m³/detik, sehingga diperoleh persamaan berikut :

$$CD = TRO \times CA \quad (2.38)$$

Debit hasil perhitungan ini *calculated discharge*, disebut debit sintetis.

2.16.5 *Catchment Area*

Catchment area adalah daerah tangkapan air sungai yaitu suatu daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksud. Daerah ini umumnya dibatasi oleh topografi yang ditetapkan berdasarkan aliran air permukaan. Batas-batas *catchment area* pada umumnya merupakan garis-garis tinggi atau puncak gunung/ bukit yang membagi daerah pengaliran menjadi beberapa bagian yang mencakup semua anak sungai yang mengalir ke sungai utama.

2.16.6 Probabilitas debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang diandalkan akan terjadi sesuai probabilitas yang diinginkan. Berikut adalah beberapa nilai probabilitas yang diandalkan dalam beberapa perencanaan (Sartimbul, 2015):

- a. Kebutuhan Air Domestik : 90%
- b. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) : 90 %

Sedangkan menurut Soemarto (1995) nilai probabilitas yang diandalkan dalam perencanaan teknik sumber daya air adalah :

- a. Penyedia air industri : 88-95 %
- b. Penyedia air irigasi
 - Daerah beriklim setengah lembap : 70-85 %
 - Daerah beriklim tenang : 80-95%

Probabilitas debit andalan diperlukan untuk mengetahui persentase kemungkinan nilai debit yang terjadi. Untuk debit andalan menggunakan Metode Weibull. Berikut persamaan ditentukan oleh probabilitas :

$$P = \frac{m}{(n+1)} \times 100\% \quad (2.39)$$

Dimana:

P = Probabilitas

m = Nomor urut

n = Banyaknya data

2.17 Kajian Pustaka atau Literatur

Tabel berikut merupakan hasil penelitian terdahulu terkait hubungan dengan kajian sistem jaringan distribusi.

Tabel 2.12 Kebaruan Penelitian

No	Penulis	Judul	Hasil
1	Zulpiandi, 2018	Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM di Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Kubu Raya	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah proyeksi penduduk pada tahun 2038 di Kecamatan Sungai Raya khususnya 5 desa berjumlah 136.233 jiwa 2. Kebutuhan debit jam puncak untuk 5 desa pada tahun 2018 sebesar 293,04 lt/detik dan pada tahun 2038 sebesar 377,18 lt/detik. 3. Pada kondisi eksisting pipa diameter 300 mm tidak memenuhi standar hidrolis, setelah dievaluasi pipa yang digunakan adalah diameter 700mm, 650mm, dan 400mm dengan jenis pipa HDPE.
2	Lalan Deriana, 2018	Analisis Kehilangan Air Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Melawi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Besarnya angka kehilangan air PDAM Tirta Melawi pada sistem distribusi sebesar 24,11 % dan pada sistem produksi sebesar 6%. 2. Pada pipa ekisting dengan diameter 50 mm, 75 mm, 100 mm pipa tersebut tidak memenuhi standar hidrolis sehingga perlu dievaluasi dan penyesuaian, setelah dilakukan evaluasi maka pipa yang digunakan adalah diameter 150 mm dan 250 mm dengan jenis PVC.
3	Sekar Utami, 2010	Evaluasi dan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Pondok Ungu, Bekasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Permasalahan yang terjadi pada jaringan distribusi air minum PDAM Pondok Ungu adalah kehilangan air . Kehilangan air disebabkan oleh pipa yang mengalami kebocoran akibat kecepatan aliran dalam pipa tidak memenuhi kriteria. 2. Pengembangan dilakukan sampai kebutuhan penduduk mencapai 600 lt/detik pada tahun 2024, dengan menambahkan 2 <i>loop</i>, mengganti pipa dengan diameter yang lebih besar, dan memperbesar kapasitas maksimum pompa atau menambah pompa agar sesuai debit yang didistribusikan.

No	Penulis	Judul	Hasil
4	Apriyandi, 2019	Evaluasi Sistem Distribusi PDAM Gunung Poteng Kota Singkawang	<p>1. Kebutuhan air bersih pada jam puncak di Kota Singkawang pada tahun 2018 sebesar 718,54 lt/detik dan pada tahun 2038 sebesar 969,04 lt/detik, sedangkan pada daerah IPA 1 pada tahun 2018 sebesar 175,01 lt/detik, dan tahun 2038 sebesar 236,08 lt/detik.</p> <p>2. Ketersediaan air baku untuk daerah pelayanan IPA 1 sebesar 1.978 m³/detik masih mencukupi.</p> <p>3. Pipa eksisting diameter 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, tidak memenuhi standar, setelah dievaluasi diameter pipa digunakan adalah 300mm, 400mm, 600mm.</p>
5	Martinus Ahen, 2022	Evaluasi Sistem Distribusi Air Bersih (Studi Kasus Di Kecamatan Sekadau Hilir Kabupaten Sekadau Provinsi Kalimantan Barat)	<p>1. Kebutuhan air bersih pada jam puncak di Kecamatan Sekadau Hilir pada tahun 2020 sebesar 82,08 liter/detik dan pada tahun 2040 sebesar 128,57 liter/detik</p> <p>2. Pada saat melayani kebutuhan air bersih tahun 2040 dilakukan perubahan diameter pipa dan penambahan jalur pipa baru pada jaringan.</p>
6	Berlin Cristian, 2021	Pengembangan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih Di Kecamatan Pontianak Utara	<p>1. Kebutuhan air bersih pada jam rata-rata di Zona M Perumda Tirta Khatulistiwa pada kondisi eksisting tahun 2020 sebesar 69,89 liter/detik dan tahun 2040 sebesar 85,51 liter/detik, sedangkan pada jam puncak tahun 2020 sebesar 91,17 liter/detik dan tahun 2040 sebesar 125,05 liter/detik.</p> <p>2. Pada daerah eksisting pelayanan jaringan distribusi air bersih Zona M Perumda Khatulistiwa tahun 2020 masih mengalami kesulitan pendistribusian air secara merata.</p> <p>3. Dilakukan 3 skenario pengembangan untuk tahun 2040, dimana skenario yang terbaik adalah dengan menambahkan jaringan pipa secara paralel dan menambahkan pompa untuk menaikkan <i>pressure</i>.</p>

No	Penulis	Judul	Hasil
7	Pandi M Pugel, 2015	Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih Di Kecamatan Belitang Kabupaten Sekadau Provinsi Kalimantan Barat	<p>1. Hasil uji kualitas air baku Sungai Belitang terdapat parameter yang tidak sesuai baku mutu sebagai air baku dan air bersih.</p> <p>2. Ditinjau kuantitas, sumber air Sungai Belitang dapat mencukupi seluruh kebutuhan air bersih masyarakat Kecamatan Belitang.</p> <p>3. Ditinjau kontinuitas, sumber air selalu mengalir dan memenuhi kebutuhan air bersih sepanjang tahun.</p>
8	Mardianto Michinen, 2020	Evaluasi Sistem Distribusi PDAM Tirta Dharma Kecamatan Bengkayang Kabupaten Bengkayang	<p>1. Kebutuhan air bersih pada jam puncak di Kecamatan Bengkayang pada tahun 2019 sebesar 88,26 liter/detik dan tahun 2039 sebesar 204,41 liter/detik.</p> <p>2. Jaringan distribusi pada tahun 2039 perlu dilakukan evaluasi dengan penggantian atau penambahan pipa pada jaringan pipa primer, untuk menghindari kehilangan kecepatan dan kehilangan tekanan.</p>
9	Joshua Theoroditus, 2021	Analisis sistem Jaringan Distribusi Air Bersih Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Melawi	<p>1. Jaringan distribusi air bersih PDAM Tirta Melawi baru melayani 53% penduduk pada wilayah pelayanannya, yang disuplai oleh 2 instalasi pengolahan air dengan kapasitas 40 liter/detik dengan sistem gravitasi dan kapasitas 30 liter/detik dengan sistem perpompaan.</p>
10	Noor Salim, 2017	Kajian Sistem Distribusi Air Bersih Untuk Bangunan Bertingkat Dengan Metode Epanet (Studi Kasus : Kampus B Politeknik Negeri Jember)	<p>Pendistribusian air bersih di area Kampus B Politeknik Negeri Jember (Gedung politeknik Kesehatan negeri Jember) adalah Pendistribusian kebutuhan air bersih setiap lantai yang terdapat fasilitas <i>water closed</i>.</p>

Dari pembahasan kajian pustaka diatas, dapat memberi kesimpulan bahwa perencanaan dalam jangka waktu mendatang memerlukan jaringan distribusi sesuai dengan kenaikan jumlah penduduk di lokasi penelitian yang memiliki karakteristik berbeda. Sehingga peneliti tertarik dengan kajian kondisi eksisting jaringan distribusi dan melakukan pengembangan pada tahun 2040.