

2 LANDASAN TEORI

2.1 Air Bersih

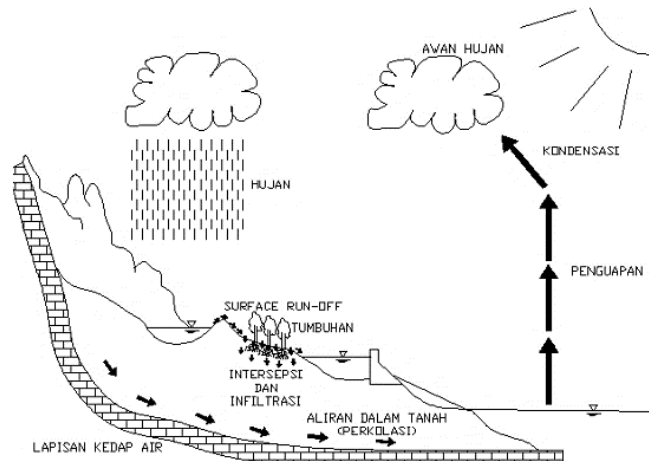
Air bersih adalah salah satu jenis air baku yang mana kegunaannya untuk kebutuhan sehari-hari dan bisa dikonsumsi setelah diolah terlebih dahulu. Biasanya air bersih dipakai di kehidupan sehari-hari untuk mencuci, memasak, dan mandi. Air bersih sendiri dapat juga digunakan untuk kebutuhan konsumsi harian, bila air bersih diolah lagi dengan dimasak dan difiltrasi dengan alat yang memadai. Sebagian air bersih memiliki tekstur warna dan bau yang berbeda-beda yang mana biasa digunakan masyarakat sehari-hari adalah air bersih yang tidak ada bau dan warna masih natural.

2.2 Sumber Daya Air

Sumber daya air adalah kapasitas dan potensi air yang dapat digunakan untuk keperluan sosial ekonomi oleh manusia. Air laut, air hujan, air tanah, dan air permukaan merupakan contoh sumber air yang sering dimanfaatkan oleh penduduk. Sumber air masyarakat yang paling umum adalah air permukaan. Air permukaan juga menjadi perhatian utama saat ini karena air permukaan semakin langka. Nilai air dalam hal semua fungsinya bagi kehidupan, dari tingkat molekuler hingga ekologi global, terlalu rendah untuk dianggap hanya instrumental. Air adalah kehidupan dan sumber kehidupan, dan karena setiap kehidupan memiliki nilai intrinsik, air tidak dapat dievaluasi, apalagi dikendalikan sebagai "barang". Air memiliki nilai sosial, ekonomi, agama, budaya, dan lingkungan selain nilai sosial, ekonomi, agama, budaya, dan lingkungan (Sanim, 2011).

Air (baik air permukaan maupun air tanah) merupakan komponen dari siklus hidrologi, pemahaman akan hal itu sangatlah penting. Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana siklus hidrologi dimulai dengan panas matahari mencapai permukaan bumi dan menciptakan penguapan. Sebagai hasil dari penguapan ini, massa uap air terbentuk, yang dapat membentuk awan dalam keadaan atmosfer tertentu. Awan ini berpotensi menjadi awan hujan karena berbagai faktor klimatologi. Sebagian presipitasi akan tertahan oleh butir-butir tanah, sedangkan sebagian lainnya akan mengalir secara horizontal sebagai limpasan, secara vertikal ke bawah sebagai

infiltrasi, dan sebagian kecil akan menguap kembali ke atmosfer. Ketika air meresap ke dalam tanah, awalnya mengisi pori-pori sampai kadar air mencapai titik jenuh. Jika kriteria ini terpenuhi, maka air akan mengalir dalam dua arah: horizontal sebagai *interFlow* dan vertikal sebagai perkolasi (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Sumber: Triatmodjo, 2008

Air yang berada dipermukaan tanah dan laut mengalami penguapan akibat energi panas matahari, uap air tersebut bergerak ke atmosfer dan mengalami kondensasi yang kemudian menjadi awan hujan (presipitasi). Air hujan yang jatuh ke bumi sebagian akan diserap oleh tumbuhan (intersepsi) atau kembali lagi ke atmosfer melalui penguapan (evaporasi) dan transpirasi (evapotranspirasi), sebagian meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya akan mengalir diatas permukaan tanah (*surface run-off*) mengisi cekungan tanah, danau, sungai, laut dan sebagian mengalir ke dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah.

2.3 Sumber Air

Air bersih yang dapat dipergunakan oleh manusia adalah yang berasal dari beberapa sumber air bersih yang telah diproses untuk dapat dikonsumsi. Sumber air bersih mutlak diperlukan dalam sistem penyediaan air bersih. Berdasarkan sumbernya, air dapat digolongkan menjadi empat kelompok, yaitu:

1. Air Atmosfer

Air atmosfer terjadi dari proses evaporasi air permukaan dan evapotranspirasi dari tumbuh-tumbuhan oleh bantuan sinar matahari melalui proses kondensasi kemudian jatuh ke bumi dalam bentuk hujan, salju ataupun embun. Air atmosfer mempunyai sifat tanah (*soft water*)

karena kurang mengandung garam-garam dan zat-zat mineral sehingga terasa kurang. Disamping itu, air atmosfer mempunyai sifat agresif terutama pada pipa-pipa penyalur maupun bak-bak *reservoir* sehingga hal ini akan mempercepat terjadinya korosi.

2. Air Laut

Air laut mempunyai sifat asin karena mengandung garam NaCl. Kadar garam dalam air laut kurang lebih 3%. Dengan keadaan ini, maka air laut tidak memenuhi syarat untuk air minum apabila belum diolah terlebih dahulu. Air laut jarang digunakan sebagai air baku untuk air minum karena pengolahan untuk menghilangkan kadar garamnya membutuhkan biaya yang cukup besar.

3. Air Permukaan

Air permukaan merupakan air hujan yang mengalir dipermukaan bumi. Pada umumnya air ini akan mengalami pengotoran selama pengalirannya. Beban pengotoran ini untuk masing-masing air permukaan akan berada tergantung daerah pengaliran air permukaan.

a. Sumber Air Permukaan (*Surface Water*)

Sumber air permukaan adalah sumber air yang terdapat pada permukaan bumi. Contoh sumber air permukaan adalah air sungai. Di daerah hulu, pemenuhan kebutuhan air secara kuantitas dan kualitas sudah baik. Berbeda dengan daerah hulu dan daerah hilir, kebutuhan air tidak dapat disuplai lagi baik kuantitas maupun kualitasnya karena pengaruh lingkungan seperti sedimentasi dan ulah manusia sendiri sehingga sumber air menjadi tercemar. Sebelum air baku digunakan, sebaiknya diolah agar memenuhi syarat fisik, kimia maupun biologi.

b. Air Rawa

Pada umumnya air rawa berwarna, karena adanya zat-zat organik yang telah membusuk. Dengan banyaknya zat organik menyebabkan kadar O_2 yang terlarut dalam air sedikit sehingga kadar Fe dan Mn yang terlarut dalam air menjadi tinggi. Pada permukaan air ini akan tumbuh algae (lumut) karena adanya sinar matahari dan O_2 , maka untuk mengambil air ini sebaiknya pada bagian tengah agar endapan-

endapan Fe dan Mn serta lumut tidak terbawa.

4. Airtanah

Menurut Undang-undang Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2019 tentang Sumber Daya Air, air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan (Peraturan Undang-Undang No. 17 Tahun, 2019).

Airtanah berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan bumi lalu meresap ke dalam tanah dan mengalami proses filtrasi secara alamiah. Proses-proses yang telah dialami air hujan tersebut, di dalam perjalanannya ke bawah tanah, membuat air tanah menjadi lebih baik dan lebih murni dibandingkan air permukaan. Air tanah terbagi atas:

a. Airtanah Dangkal

Air tanah dangkal terjadi karena adanya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian juga dengan sebagian bakteri sehingga air tanah ini akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat-zat kimia karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Pengotoran juga masih terus berlangsung terutama pada permukaan air yang dekat permukaan tanah. Air tanah dangkal ini dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal.

b. Airtanah Dalam

Air tanah dalam terdapat setelah lapisan rapat air yang pertama. Untuk mengambil air ini diperlukan bor karena kedalamannya berkisar antara 100-300 meter. Jika tekanan air tanah ini besar maka air akan menyembur kepermukaan sumur. Sumur ini disebut sumur atesis. Jika air tidak dapat keluar dengan sendirinya maka diperlukan pompa.

c. Mata Air

Mata air adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya kepermukaan tanah. Mata air yang berasal dari tanah dalam, hampir tidak terpengaruhi oleh musim dan kuantitas serta memiliki

kualitas yang serupa dengan air tanah dalam.

2.4 Kebutuhan Air

Jumlah air yang dibutuhkan untuk rumah, industri, pembilasan kota, dan keperluan lainnya dikenal sebagai kebutuhan air. Kebutuhan air domestik, industri, sektor publik, dan perbaikan kebocoran semuanya menjadi prioritas utama (Yasri, 2017).

Kebutuhan air dibagi menjadi dua kategori: rumah tangga dan non-domestik. Kebutuhan air domestik adalah untuk minum, memasak, mandi, mencuci pakaian, dan kebutuhan rumah tangga lainnya, sedangkan kebutuhan air non domestik adalah untuk perkantoran, tempat ibadah, perdagangan, dan keperluan non domestik lainnya.

2.4.1 Standar Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air bersih di rumah-rumah pribadi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti minum, memasak, mandi, mencuci, dan sanitasi, menjadi tolak ukur kebutuhan air domestik. Satuan liter/orang/hari digunakan. Tabel 2.2 menunjukkan jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan rumah tangga. Sementara itu, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1, kebutuhan air rumah tangga kota dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok:

Tabel 2.1 Tingkat Pemakaian Air Rumah Tangga Sesuai Kategori Kota

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (jiwa)	Sistem	Tingkat Pemakaian Air (liter/orang/hari)
1	Kota Metropolitan	> 1.000.000	Non Standar	190
2	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	Non Standar	170
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	Non Standar	150
4	Kota Kecil	20.000 – 100.000	Standar BNA	130
5	Kota Kecamatan	< 20.000	Standar IKK	100
6	Kota Pusat Pertumbuhan	< 3.000	Standar DPP	30

Sumber : SK-SNI Air bersih, 1990

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Domestik Berdasarkan SNI Tahun 1997

NO	URAIAN	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		>1.000.000	500.001-1.000.000	100.001-500.000	20.000–100.000	<20.000
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (Liter/orang/hari)	190	170	150	130	30
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 Maks.	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 Penyediaan Distribusi (mka = meter kolom air)	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi	24	24	24	24	24
11	Volume <i>Reservoir</i> (% max day <i>Demand</i>)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30

NO	URAIAN	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		>1.000.000	500.001-1.000.000	100.001-500.000	20.000–100.000	<20.000
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
13	Cakupan Pelayanan (%)	*)90	90	90	90	90

Sumber: Ditjen Cipta Karya Dinas PU Tahun 1997

*) 60% Perpipaan, 30% Non Perpipaan

2.4.2 Standar Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air bersih di luar kebutuhan rumah merupakan hal yang lumrah untuk kebutuhan air non domestik :

- Penggunaan komersial dan industri, yaitu penggunaan air oleh entitas komersial dan industri, adalah contoh kebutuhan air non-domestik.
- Air untuk keperluan umum, seperti fasilitas pemerintah, rumah sakit, sekolah, dan tempat ibadah.

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Non Domestik

NO	URAIAN	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		>1.000.000	500.001 – 1.000.000	100.001 – 500.001	20.000 – 100.000	<20.000
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1	Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (Liter/orang/hari)	>150	150-120	90-120	80-120	60-80
2	Konsumsi Unit Hidran Umum (HU) l/o/h	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40
3	Konsumsi Unit Non Domestik l/o/h	600-900	600-900		600	
	a. Niaga Kecil	1000-5000	1000-5000		1.500	
	b. Niaga Besar	0,2-0,8	0,2-0,8		0,2-0,8 0,1-0,3	

NO	URAIAN	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		>1.000.000	500.001 – 1.000.000	100.001 – 500.001	20.000 – 100.000	<20.000
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
	c. Industri Besar d. Pariwisata	0,1-0,3	0,1-0,3			
4	Kehilangan Air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20
5	Faktor Hari Maksimum	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25	1,15-1,25
6	Faktor Jam Puncak	1,75-2.0	1,75-2.0	1,75-2.0	1,75-2.0	1,75-2.0
7	Jumlah Jiwa per SR	5	5	6	6	10
8	Jumlah Jiwa per HU	100	100	100	100-200	200
9	Sisa Tekan di Penyediaan Distribusi (mka = meter kolom air)	10	10	10	10	10
10	Jam Operasi	24	24	24	24	24
11	Volume <i>Reservoir</i> (%) <i>max day Demand</i>)	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
12	SR : HR	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: Ditjen Cipta Karya Dinas PU Tahun 1997

*) 70% Perpipaan, 30% Non Perpipaan

Kebutuhan air non domestik untuk kategori I sampai dengan kategori V sebagaimana Tabel 2.4. Tabel 2.5. dan Tabel 2.6. sebagai berikut:

Tabel 2.4 Kebutuhan Air Non Domestik Kota Kategori I,II,III,IV

SEKTOR	NILAI	SATUAN
Warung / Pertokoan	10	Liter/pegawai/hari
Sekolah	10	Liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
Puskesmas	2.000	Liter/unit/hari
Masjid	3.000	Liter/unit/hari
Gereja	1.000	Liter/unit/hari
Kantor	10	Liter/pegawai/hari
Pasar	12.000	Liter/pegawai/hari
Hotel	150	Liter/tempat tidur/hari
Rumah Makan	100	Liter/tempat duduk/hari
Kompleks Militer	60	Liter/orang/hari
Kawasan Industri	0,2 – 0,8	Liter/detik/hektar
Kawasan Pariwisata	0,2 – 0,3	Liter/detik/hektar

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU Tahun 2000

Tabel 2.5 Kebutuhan Air Non Domestik Kota Kategori V (Desa)

SEKTOR	NILAI	SATUAN
Sekolah	5	Liter/murid/hari
Rumah Sakit	200	Liter/bed/hari
Puskesmas	1.200	Liter/hari
Hotel/Losmen	90	Liter/hari
Komersial/Industri	10	Liter/hari

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU Tahun 2000

Tabel 2.6 Kebutuhan Air Non Domestik Kota Kategori Lain

SEKTOR	NILAI	SATUAN
Lapangan Terbang	10	Liter/detik
Pelabuhan	50	Liter/detik
Stasiun KA – Terminal Bus	1.200	Liter/detik
Kawasan Industri	90	Liter/detik

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU Tahun 2000

2.4.3 Perkiraan Penggunaan Kebutuhan Air

Tolak ukur pemakaian air diukur dari jumlah air yang terpakai. Pemakaian air dapat terbatas dikarenakan persediaan air yang tersedia belum memenuhi kebutuhan. Faktor pendidikan, tingkat hidup, dan tingkat ekonomi masyarakat menjadi faktor utama adanya variasi pemakaian air di berbagai tempat. Pemakaian air di kota-kota besar cenderung lebih tinggi dibanding di pedesaan, yaitu 400 liter/jiwa/hari dan 20-60 liter/jiwa/hari.

Untuk pemakaian air di kota metropolitan di Indonesia lebih sedikit dibandingkan dengan kota-kota di negara lain yang hanya sebesar 190 liter/jiwa/hari, hal tersebut dipengaruhi beberapa faktor seperti tingkat hidup, pendidikan, dan tingkat ekonomi masyarakat.

Faktor yang mempengaruhi pemakaian air antara lain:

1. Iklim

Kebutuhan air untuk mandi, menyiram tanaman, pengaturan udara, dan sebagainya akan lebih besar pada iklim hangat dan kering daripada di iklim yang lembab. Pada iklim yang sangat dingin, air mungkin diboraskan di kran-kran untuk mencegah bekunya pipa-pipa.

2. Ciri-ciri penduduk

Pemakaian air dipengaruhi oleh status ekonomi dari pelanggan. Pemakaian perkapita di daerah miskin jauh lebih rendah daripada di daerah kaya. Di daerah tanpa pembuangan limbah, konsumsi dapat sangat rendah hanya sebesar 10 gcpd (40 liter/kapita/hari).

3. Masalah lingkungan hidup

Meningkatnya perhatian masyarakat terhadap berlebihan pemakaian sumber daya menyebabkan berkembangnya alat-alat yang dapat dipergunakan untuk mengurangi jumlah pemakaian di daerah pemukiman.

4. Faktor sosial ekonomi

Populasi, besarnya kota, iklim, tingkat hidup, pendidikan, dan tingkat ekonomi. Penggunaan air per kapita pada kelompok masyarakat yang mempunyai jaringan limbah cenderung untuk lebih tinggi di kota besar dari pada kota kecil.

5. Faktor teknis

Yaitu keadaan sistem, tekanan, harga dan pemakaian meter air. Pengaruh dari faktor teknis, pada umumnya seperti kurang bekerjanya meter air dengan baik pada sambungan rumah.

2.4.4 Fluktuasi Penggunaan Air

Kebutuhan air di masyarakat pada umumnya tidaklah konstan, tetapi berfluktuasi dengan adanya kebiasaan hidup dan keadaan iklim di tiap bagian bumi ini. Seperti pada negara-negara dengan 4 musim setahunnya bahwa pemakaian air sangat meningkat mencapai 20-30% lebih tinggi pada musim panas yaitu pada bulan Juni, Juli, Agustus, September. Di musim dingin, pemakaian air biasanya 20% lebih rendah dari rata-rata pemakaian tahunan. Dilihat dari segi iklim, maka daerah beriklim tropis termasuk Indonesia, perbedaan antara faktor maksimum per hari cenderung lebih kecil dari negara yang mempunyai 4 musim. Sebaliknya untuk faktor maksimum per jam, Indonesia lebih besar, karena pemakaian air di pagi dan sore hari tetap tinggi.

Pada hari tertentu di setiap minggu, bulan atau tahun akan terdapat pemakaian air yang lebih besar daripada kebutuhan rata-rata perhari yang disebut pemakaian air maksimum. Demikian pada jam-jam tertentu didalam satu hari, pagi atau sore. Pemakaian air akan memuncak lebih besar dari pada kebutuhan air, maka kelebihan air tersebut untuk sementara disimpan dalam *reservoir*, dan digunakan kembali untuk memenuhi kekurangan air pada saat jumlah produksi air bersih lebih kecil daripada jumlah pemakaian air (Sistem Penyediaan Air Bersih, 2005).

2.4.5 Perkiraan Jumlah Penduduk

Banyaknya kebutuhan air bersih biasanya bergantung pada besarnya jumlah penduduk yang mana berpengaruh untuk menghitung debit yang di butuhkan di suatu daerah yang dicari. Untuk kebutuhan air bersih penduduk Desa Mekarwangi ada beberapa cara untuk menghitung pertumbuhan penduduk dari tahun ke tahun menurut permen PU No. 18/PRT/M/2007, yaitu sebagai berikut:

1. Metode Analisis Geometrik

$$P_n = P_o (1 + r)^n \quad (2.1)$$

Dengan : P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (ditanyakan)

P_o = Jumlah penduduk awal

r = Tingkat pertumbuhan penduduk per tahun (dalam %)

n = Jangka waktu dalam tahun

Adapun cara mencari r adalah sebagai berikut :

$$r = \left(\frac{P_o}{P_t}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (2.2)$$

Dengan : P_t = Jumlah penduduk tahun akhir

t = Jumlah banyak data didapat

2. Metode Analisis Aritmatika

$$P_n = P_o + K_a (T_n - T_o) \quad (2.3)$$

$$K_a = (P_2 - P_1) / (T_2 - T_1) \quad (2.4)$$

Dengan : P_n = jumlah penduduk tahun ke- n

P_o = jumlah penduduk tahun awal

T_n = tahun ke- n (yang akan diproyeksikan)

T_o = tahun awal

K_a = konstanta

P_1 = jumlah penduduk pada tahun pertama yang diketahui

P_2 = jumlah penduduk pada tahun terakhir yang diketahui

T_1 = tahun pertama yang diketahui

T_2 = tahun terakhir yang diketahui

Proyeksi pertumbuhan penduduk berfungsi untuk memberikan patokan atau acuan bagi penentuan kebutuhan yang akan direncanakan dan disesuaikan dengan beberapa parameter yang ada.

3. Metode Analisis Regresi Linear

$$Y = a + bx \quad (2.5)$$

Dengan : Y = Nilai variabel berdasarkan garis regresi

x = Variabel independen

a = Konstanta

b = Konstanta arah regresi linear

Adapun persamaan a dan b adalah sebagai berikut:

$$a = \frac{\Sigma y \cdot \Sigma x^2 - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad (2.6)$$

$$b = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \quad (2.7)$$

2.4.6 Perkiraan Kebutuhan Air Bersih

1. Tingkat Pelayanan Masyarakat

Cakupan pelayanan air bersih kepada masyarakat rata-rata tingkat nasional adalah 80% dari jumlah penduduk.

$$C_p = 80\% \times P_n \quad (2.8)$$

Dengan : C_p = Cakupan pelayanan air bersih.

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n proyeksi.

2. Pelayanan Sambungan Langsung/Rumah

Jumlah penduduk yang mendapatkan air bersih melalui sambungan rumah adalah:

$$S_I = 80\% \times C_p \quad (2.9)$$

Dengan : S_I = Konsumsi air dengan sambungan langsung.

C_p = Cakupan pelayanan air bersih.

3. Sambungan Tak Langsung atau Sambungan Bak Umum

Sambungan tak langsung atau sambungan bak umum adalah sambungan untuk melayani penduduk tidak mampu dimana sebuah bak umum dapat melayani kurang lebih 100 jiwa atau sekitar 20 keluarga. Jumlah penduduk yang mendapatkan air bersih melalui sambungan tak langsung atau sambungan bak umum dihitung dengan rumus :

$$S_b = 20\% \times C_p \quad (2.10)$$

Dengan : S_b = Konsumsi bak air umum

C_p = Cakupan pelayanan air bersih

4. Konsumsi Air Bersih

Konsumsi kebutuhan air bersih sesuai dengan Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002 diasumsikan sebagai berikut:

- a. Konsumsi air bersih untuk sambungan rumah/sambungan langsung sebanyak 80 liter/orang/hari.
- b. Konsumsi air bersih untuk sambungan tak langsung/bak umum untuk masyarakat kurang mampu sebanyak 30 liter/orang/hari.
- c. Konsumsi air bersih non rumah tangga (kantor, sekolah, tempat ibadah, industri, pemadam kebakaran dan lain-lain) ditentukan sebesar 15% dari jumlah pemakaian air untuk sambungan rumah bak umum dengan rumus sebagai berikut:

$$K_n = 15\% (S_I) \quad (2.11)$$

Dengan : K_n = Konsumsi air untuk non rumah tangga

S_I = Konsumsi air dengan sambungan langsung

5. Kehilangan Air

Kehilangan air diasumsikan sebesar 20% dari total kebutuhan air bersih. Perkiraan kehilangan jumlah air ini disebabkan adanya sambungan pipa yang bocor, pipa yang retak dan akibat kurang sempurnanya waktu pemasangan, pencucian pipa, kerusakan *water meter*, pelimpah air di Menara air, dan lain-lain.

$$L_o = 20\% \times P_r \quad (2.12)$$

Dengan : L_o = Kehilangan air

P_r = Produksi air

6. Analisis Kebutuhan Harian Maksimum

Kebutuhan harian maksimum adalah banyaknya air yang dibutuhkan terbesar dalam satu tahun. Kebutuhan air pada harian maksimum digunakan untuk mengetahui kapasitas pengolahan dan dihitung berdasarkan kebutuhan air rata-rata sebagai berikut:

$$S_s = f_1 \times S_r \quad (2.13)$$

Dengan : S_s = Kebutuhan harian maksimum
 S_r = Jumlah total kebutuhan air Domestik dan Non Domestik
 $f_1 = 1,1 - 1,2$ (standar yang dipakai PDAM Kabupaten Pangandaran)

7. Analisis Pemakaian Air pada Waktu Jam Puncak

Pemakaian air pada waktu jam puncak adalah pemakaian air tertinggi pada jam-jam tertentu dalam suatu hari. Kebutuhan air pada waktu jam puncak digunakan untuk mengetahui kapasitas distribusi, diameter pipa dan dihitung berdasarkan kebutuhan air rata-rata sebagai berikut:

$$\text{Debit waktu puncak} = f_2 \times S_r \quad (2.14)$$

Dengan : S_r = Jumlah total kebutuhan air Domestik dan Non Domestik
 $F_2 = 1,5 - 1,8$ (standar yang dipakai PDAM Kabupaten Pangandaran)

2.4.7 Kapasitas *Reservoir*

Reservoir adalah suatu tempat cadangan air untuk menyimpan dan juga mengalirkan air karena berbagai kebutuhan. Kapasitas *reservoir* dapat ditentukan dari jumlah sambungan. Kapasitas *reservoir* adalah 10-20% dari kebutuhan total harian, sehingga dapat dirumuskan:

$$\text{Kapasitas reservoir} = 20\% \times \text{kebutuhan total harian} \quad (2.15)$$

2.5 Ketersediaan Air

2.5.1 Prinsip Sumber Air Bersih

Dalam merencanakan penyediaan air bersih harus memenuhi konsep 3K yaitu kualitas, kuantitas dan kontinuitas. Kualitas yaitu menyangkut mutu air, baik air bersih maupun air hasil pengolahan yang siap didistribusikan. Kuantitas yaitu menyangkut jumlah dan ketersediaan air yang diolah pada penyediaan air bersih yang dibutuhkan sesuai dengan banyaknya konsumen yang dilayani. Kontinuitas yaitu menyangkut kebutuhan air yang terus menerus. Artinya sumber air bersih tersebut apakah dapat memasok kebutuhan air secara terus-menerus terutama ketika musim kemarau.

2.5.2 Pemilihan Sumber Air Bersih

Potensi sumber air bersih yang memungkinkan dikembangkan adalah dari air tanah yang ada di Desa Mekarwangi. Penentuan prioritas air tanah yang dimanfaatkan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain:

1. Hidrologi

Menyangkut kuantitas debit aliran air, kuantitas, dan kualitas air itu sendiri.

2. Aksesibilitas

Jarak lokasi air tanah dengan pengguna, fungsi dari kegunaan dari sumber air yang ada, kondisi sumber air waktu sekarang dan akses menuju lokasi air tanah.

2.5.3 Kuantitas Air

Secara umum penyediaan air bersih adalah berasal dari sumber air permukaan atau air dalam tanah. Untuk wilayah Desa Mekarwangi, sumber penyediaan air bersih berasal dari air permukaan atau air dalam tanah. Dimana kuantitas air yang berasal dari air tanah ini mencukupi untuk didistribusikan. Kuantitas atau jumlah air yang mengalir dari pusat distribusi sangatlah penting dalam analisis jaringan distribusi. Karena tujuan utama dari analisis jaringan distribusi adalah agar kebutuhan masyarakat untuk tersedianya air bersih dapat terlayani dengan baik. Untuk itu hal-hal yang dapat mengurangi jumlah air yang didistribusi antara lain disebabkan oleh banyaknya sambungan pipa dan panjangnya pipa sedapat mungkin dihindarkan.

2.5.4 Kontinuitas Air

Dalam penyediaan air bersih tidak hanya berhubungan dengan kualitas dan kuantitas saja, tetapi dari segi kontinuitas juga harus mendukung. Dimana air harus bisa tersedia secara terus-menerus meskipun dimusim kemarau selama umur rencana. Karena tujuan utama dari perencanaan jaringan distribusi air adalah agar kebutuhan penduduk Desa Mekarwangi akan tersedianya air bersih dapat terpenuhi secara terus-menerus walaupun dimusim kemarau. Salah satu upaya menjaga agar kontinuitas air tetap tersedia adalah dengan membuat tempat penampungan air (*reservoir*) untuk menyimpan air sebagai persediaan air pada musim kemarau.

Kontinuitas dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam per hari atau setiap saat diperlukan, kebutuhan air harus tersedia. Akan tetapi kondisi ideal

tersebut hampir tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia sehingga untuk menentukan kontinuitas pemakain air dapat dilakukan dengan upaya pendekatan aktivitas konsumen terhadap pemakaian air.

Pemakaian air dapat diprioritaskan, yaitu minimal selama 12 jam per hari pada jam – jam aktivitas kehidupan. Jam aktifitas di Indonesia adalah pukul 06.00 sampai dengan 18.00. Jaringan perpipaan dirancang untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Ukuran pipa pun harus tidak melebihi dimensi yang diperlukan dan juga tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan analisis jaringan pipa distribusi, maka dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kualitas aliran terpenuhi.

2.5.5 Eksploitasi Airtanah

Eksploitasi airtanah maupun mata air harus melalui kajian hidrogeologi yaitu menghitung ketersediaan sumberdaya air baik berupa mata air maupun cadangan air tanah (Widodo & Irawan, 2019).

Menurut (Panguriseng, 2018), lapisan permeabel adalah istilah yang digunakan untuk menyebut lapisan yang dapat dilewati oleh air, sementara lapisan impermeabel mengacu pada lapisan tanah yang tidak mampu untuk ditembus oleh air. Karakteristik batuan untuk menyimpan maupun mengalirkan air tanah terbagi menjadi empat jenis, yakni meliputi:

1. Akuifer (*Aquifer*)

Lapisan batuan yang memiliki kemampuan untuk menyimpan maupun mengalirkan air. Lapisan ini secara umum tersusun atas pasir yang bersifat permeabel, batuan pasir, dan kerikil. Porositas batuan juga cenderung tinggi dan saling terhubung satu sama lain.

2. Akuitar (*Aquitards*)

Lapisan yang memiliki kesamaan dengan akuifer, tetapi berbeda dalam kemampuannya untuk mengalirkan air. Pada lapisan ini air akan dialirkan dalam jumlah terbatas. Contohnya, termasuk batuan beku yang terpecah-pecah.

3. Akuiklud (*Aquiclude*)

Lapisan geologi yang dapat menampung air tetapi tidak mampu mengalirkannya dengan efisien. Karakteristik utama dari akuiklud adalah

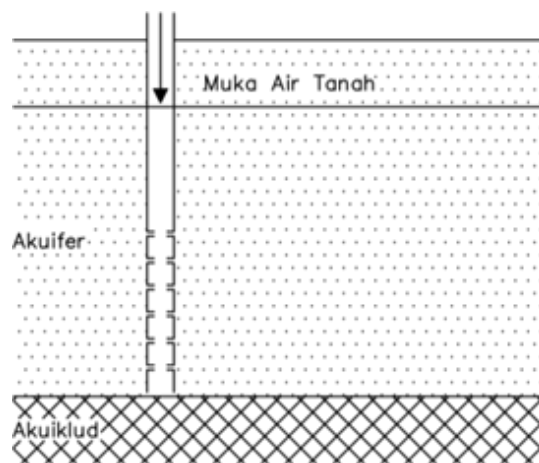
kemampuannya dalam menyimpan air, meskipun aliran air di dalamnya sangat terbatas. Beberapa contoh batuan yang termasuk dalam kategori akuiklud adalah tuf halus, lempung, dan lanau.

4. Akuifug (*Aquifuge*)

Lapisan geologi yang tidak mampu menampung maupun mengalirkan air. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang bagi pergerakan air tanah. Contoh dari akuifug meliputi batuan metamorf dan batuan beku. Karena sifatnya yang kedap air, akuifug sering kali berada di bawah lapisan akuifer. Dengan demikian, keberadaan akuifug sangat penting dalam pengelolaan sumber daya air tanah.

Akuifer dapat dibedakan menjadi empat jenis utama, yang masing-masing memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda.

1. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*) adalah lapisan jenuh air yang memiliki muka air tanah. Permukaan tanah pada jenis akuifer ini dikenal sebagai water table atau phreatic level, yang memiliki tekanan hidrostatik sama dengan tekanan atmosfer. Bagian bawah akuifer bebas ini dibatasi oleh akuitar, yaitu lapisan jenuh air yang hanya sedikit meloloskan air. Air dalam akuifer bebas dapat dimanfaatkan dengan membuat sumur gali atau sumur pantek pada kedalaman kurang dari 20 meter di bawah permukaan tanah.

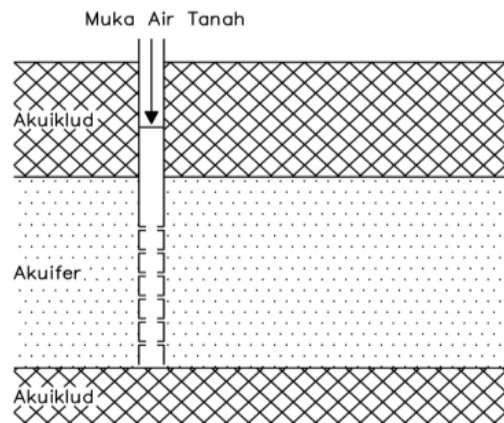


Gambar 2.2 Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

2. Akuifer tertekan (*confined aquifer*), dimana air di dalamnya dibatasi oleh lapisan akuitar di atas dan di bawahnya. Akuifer tertekan memiliki tekanan jenuh yang lebih besar dibandingkan dengan tekanan atmosfer, dan jenis

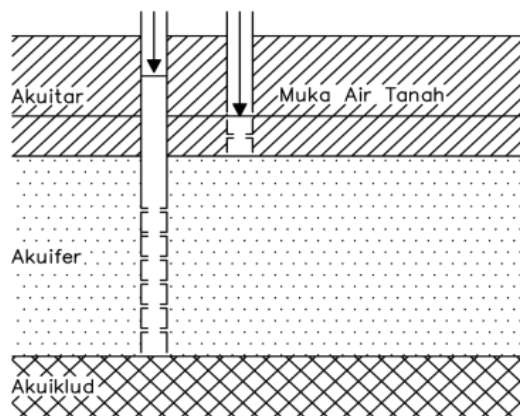
akuifer ini biasanya dimanfaatkan melalui sumur dalam. Akuifer adalah sistem penyimpanan air yang diapit oleh lapisan akuitar, yang menghambat pergerakan air ke atas atau ke bawah. Tekanan di dalam akuifer tertekan biasanya lebih tinggi daripada tekanan atmosfer, sehingga air dapat mengalir dengan sendirinya ketika sumur dibor. Jenis akuifer ini sering dimanfaatkan untuk kebutuhan air bersih dan irigasi, karena dapat menyediakan pasokan air yang stabil dan berkelanjutan.



Gambar 2.3 Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

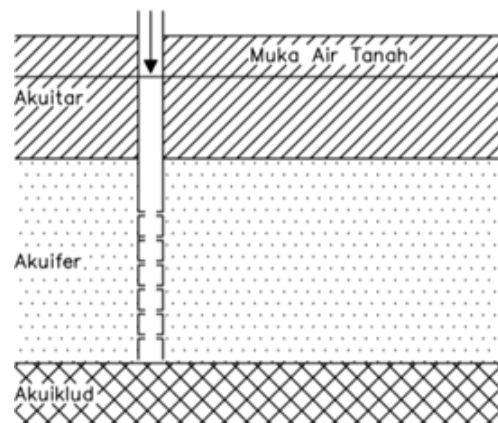
3. Akuifer semi tertekan (*semi-confined aquifer*), yang sepenuhnya bersifat jenuh air. Pada akuifer ini, bagian atasnya dibatasi oleh lapisan semi lolos air, sementara bagian bawahnya terdiri dari lapisan kedap air. Lapisan kedap air di bagian bawahnya berfungsi untuk menjaga stabilitas tekanan dan mencegah kehilangan air, sehingga akuifer ini dapat berfungsi sebagai sumber air yang andal untuk berbagai kebutuhan.



Gambar 2.4 Akuifer Semi Tertekan (*Semi-Confined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

4. Akuifer semi bebas (*semi-unconfined aquifer*) memiliki lapisan bawah yang kedap air, sedangkan lapisan atasnya terdiri dari material berbutir halus yang masih memungkinkan adanya gerakan air. Akuifer semi bebas ini dapat dianggap sebagai peralihan antara akuifer bebas dengan akuifer semi tertekan, menciptakan kompleksitas dalam pengelolaan sumber daya air.



Gambar 2.5 Akuifer Semi Bebas (*Semi-Unconfined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

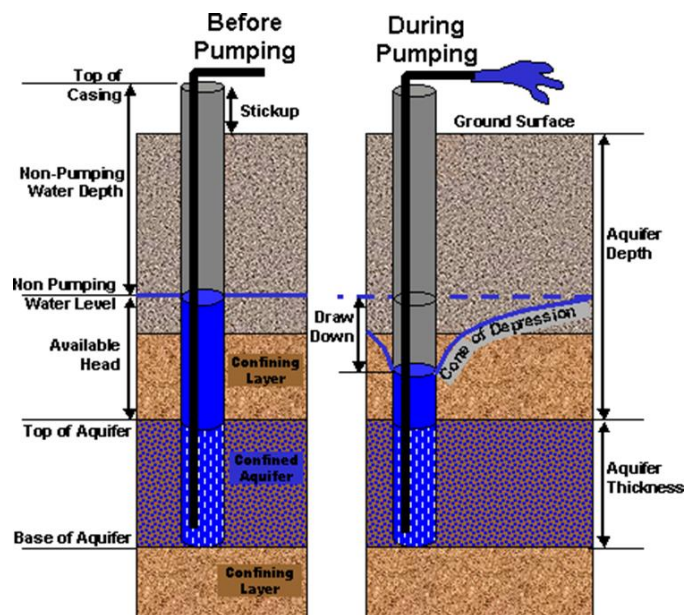
2.5.6 Uji Pemompaan (*Pumping Test*)

Uji pemompaan (*pumping test*) bertujuan untuk menganalisis debit air tanah, tujuannya selain untuk mengetahui kemampuan sumur bor dalam memproduksi air tanah juga untuk mengetahui kelulusan lapisan pembawa air (akuifer). Uji pemompaan adalah memompa air dari suatu sumur dengan debit tertentu, mengamati penurunan muka air selama pemompaan berlangsung, dan mengamati pemulihan kembali muka air setelah pompa dimatikan sesuai dengan selang waktu tertentu (Bisri, 2012).

Uji pemompaan dapat dibagi menjadi dua yaitu untuk pengujian sumur dengan *step drawdown test* dan pengujian akuifer dengan *long term test*. Karakteristik akuifer merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam mempelajari air tanah, khususnya untuk mengetahui kapasitas air tanah yang dapat disimpan di dalam lapisan tanah dan kapasitas yang dapat dipergunakannya. Karakteristik tersebut meliputi koefisien keterusan air atau koefisien transmisivitas (T), koefisien konduktivitas hidrolik (K) dan koefisien cadangan air (S).

Tahap terakhir yang dilakukan yaitu *recovery* atau tahap pemulihan. Pada

tahapan ini akan dilihat apakah terjadi pengisian air tanah kembali atau tidak (Presiden Republik Indonesia, 2008).



Gambar 2.6 Ilustrasi *Pumping Test*

Sumber: Bisri, 2012

Dalam analisis uji pemompaan, perbandingan antara laju penurunan muka air selama pemompaan dan laju kenaikan muka air saat *recovery* menjadi indikator penting dalam menilai keseimbangan antara debit air yang dihasilkan dari sumber dengan debit yang dipompa. Berikut adalah tiga kemungkinan yang dapat terjadi berdasarkan pengamatan tersebut:

1. Jika perbandingan dari dua keadaan ini (laju penurunan muka air pada saat pumping terhadap laju kenaikan muka air ketika *recovery*) adalah 1 maka debit sumber = debit air yang dikeluarkan pompa (*output*).
2. Jika laju penurunan muka air pada saat pumping lebih besar terhadap laju kenaikan muka air ketika *recovery*, berarti debit sumber lebih kecil daripada debit pompa (*output*).
3. Jika laju penurunan muka air pada saat pumping lebih kecil terhadap laju kenaikan muka air ketika *recovery*, berarti debit sumber lebih besar daripada debit pompa (*output*).

Nilai debit sesungguhnya dari sumber dapat diketahui dengan mengalikan luas area sumber dengan tinggi kenaikan muka air rata-rata pada saat *recovery*. Setelah itu, perhitungan debit dilakukan dengan mempertimbangkan waktu

pemulihan dari sumber air tersebut, yang memberi gambaran tentang laju perolehan air secara alami. Mengukur perubahan tekanan air selama proses ini penting untuk memastikan bahwa debit yang diperoleh akurat dan representatif dari kondisi akuifer. Dengan pemantauan yang tepat dapat dilakukan untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air.

Hasil uji debit air tanah yang aman secara kasar dapat ditentukan dengan mengoperasikan pompa uji dengan kapasitas setidaknya sama dengan kebutuhan puncak pada sistem dan operasi selama 24 jam sampai 48 jam. Setelah 24 jam dipompa, pengukuran harus dilakukan dengan beberapa *interval* waktu untuk menentukan kestabilan. Debit air (*Pumping Rate*) pada saat dipompa dengan kondisi pemompaan yang stabil dengan hasil yang aman adalah sekitar 60 - 80% pada kondisi normal. Air di lapisan yang keras (Inkrustasi) diantisipasi, faktor keamanan harus ditetapkan rendah.

Langkah-langkah yang dikerjakan untuk mendapatkan parameter karakteristik akuifer adalah sebagai berikut:

1. Transmisivitas (*Transmissivity*)

Transmisivitas adalah ukuran kemampuan akuifer untuk mengalirkan air, yang merupakan produk dari konduktivitas hidrolik (K) dan ketebalan lapisan akuifer. Nilai transmisivitas yang tinggi menunjukkan bahwa akuifer dapat menyuplai air dengan cepat.

Persamaan transmisivitas untuk metode Cooper-Jacob (Kruseman et al., 1990) sebagai berikut :

$$T = \frac{2,303 Q}{4 \pi \Delta s} \quad (2.16)$$

Dengan : T = transmisivitas akuifer (m²/hari)

Q = debit pemompaan (m³/dtk)

Δs = kemiringan grafik time-drawdown menunjukkan drawdown antara duawaktu dalam skala log dengan rasio 10 (m)

2. Koefisien Konduktivitas Hidrolik (*Hydraulic Conductivity Coefficient*)

Nilai koefisien konduktivitas hidrolik sangat penting karena mempengaruhi seberapa cepat air dapat bergerak melalui lapisan tanah atau batuan.

Nilai koefisien yang didapatkan dari formula (Logan, 1964) sebagai berikut:

$$K = \frac{T}{D} \quad (2.17)$$

Dengan : K = koefisien konduktivitas hidrolik (m/hari)
 T = transmisivitas akuifer (m²/hari)
 D = tebal akuifer (m)

3. Koefisien Cadangan Air (*Storage Coefficient*)

Koefisien cadangan air adalah ukuran yang menggambarkan jumlah air yang dapat disimpan atau dilepaskan oleh akuifer per unit penurunan muka air.

Koefisien cadangan air dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$S = \frac{2,25 T t o}{r^2} \quad (2.18)$$

Dengan : S = koefisien cadangan air
 T = transmisivitas akuifer (m²/hari)
 t = waktu pemompaan (hari)
 r = jarak dari sumur (m)

4. Pengaruh Radius (*Radius of Influence*)

Radius of influence adalah jarak radial dari sumur pemompaan dimana penurunan muka air dianggap efektif nol untuk periode waktu tertentu.

Radius of influence (R) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R = 1,15 \frac{\sqrt{Tt}}{S} \quad (2.19)$$

Dengan : R = radius pengaruh sumur (m)
 T = transmisivitas akuifer (m²/hari)
 t = waktu pemompaan (hari)
 S = koefisien cadangan air

Langkah-langkah yang dikerjakan untuk mendapatkan parameter karakteristik sumur adalah sebagai berikut:

1. Persamaan Susutan Sumur dan Akuifer

Persamaan ini diperhitungkan untuk memahami air bergerak dan terdistribusi di dalam akuifer selama pemompaan, serta untuk menentukan

efisiensi sumur dan efektivitasnya terhadap keberlanjutan sumber daya air. Dengan menganalisis persamaan ini, dapat menentukan kinerja sumur serta dampak pemompaan pada akuifer di sekitarnya. Persamaan susutan sumur dan akuifer yang dinyatakan sebagai:

$$\frac{S_w}{O} = B + CQ \quad (2.20)$$

Dengan :

- S_w = penurunan muka air (m)
- Q = debit pemompaan (m^3/dtk)
- B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer (dtk/m^2)
- C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur (dtk/m^2)

2. Persamaan Sumur

Persamaan susutan sumur digunakan untuk menggambarkan hubungan antara debit air yang dipompa dari sumur dan susutan (penurunan muka air) yang terjadi akibat pemompaan tersebut.

Bentuk persamaan susutan sumur yang umum digunakan adalah:

$$S_w = BQ + CQ^2 \quad (2.21)$$

Dengan :

- S_w = penurunan muka air (m)
- Q = debit pemompaan (m^3/dtk)
- B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer (dtk/m^2)
- C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur (dtk/m^2)

Berikut adalah penjelasan beberapa persamaan penting yang digunakan dalam analisis susutan sumur dan akuifer:

1. Metode Analisis Faktor Pengembang (Fd)

Metode Analisis Faktor Pengembang (Fd) digunakan dalam perhitungan sumber daya air untuk memperkirakan kebutuhan di masa mendatang. Rumus perhitungannya yakni, sebagai berikut:

$$Fd = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2.22)$$

Dengan :

- Fd = faktor pengembang (hari/ m^3)
- B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer (dtk/m^2)
- C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur (dtk/m^2)

Selanjutnya nilai Fd disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kriteria Nilai Fd

Fd	Kelas
<0,1	Sangat Baik
0,1-0,5	Baik
0,5-1	Sedang
>1	Buruk

Sumber: Bisri. M, 2012; 91

2. Metode Analisis Nilai Perbaikan Sumur (C)

Metode analisis nilai perbaikan sumur (C) merupakan bagian dari evaluasi kondisi sumur bor. Dalam evaluasi nilai C mengindikasikan kemungkinan efektivitas perbaikan terhadap penurunan kondisi sumur yang diakibatkan oleh berbagai faktor. Besarnya nilai C menunjukkan kemungkinan perbaikan sumur dengan kriteria yang digambarkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Nilai C menurut Walton

C	Kondisi Sumur
<0,5	Baik
0,5-1	Mengalami sedikit penyumbatan
1-4	Penyumbatan di beberapa tempat
>4	Sulit dikembalikan seperti semula

Sumber: Bisri. M, 2012; 91

Nilai C yang besar menunjukkan adanya kerugian selama pemompaan, yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti kerusakan pada dinding sumur, penyumbatan, atau desain sumur yang kurang optimal. Dengan demikian, nilai C yang tinggi mengindikasikan bahwa sumur tersebut tidak dapat beroperasi dengan maksimal dan memerlukan tindakan perbaikan. Dengan metode analisis ini, nilai C dapat dikelola dengan lebih baik.

3. Metode Analisis Efisiensi Sumur (Ew)

Metode Analisis Efisiensi Sumur digunakan untuk menentukan seberapa baik sumur memompa air dengan mempertimbangkan penurunan muka air (*drawdown*) yang terjadi selama pemompaan. Efisiensi sumur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

sebagai berikut:

$$E_w = \frac{BQ}{S_w} \times 100\% \quad (2.23)$$

Dengan : E_w = efisiensi sumur (%)
 Q = debit pemompaan (m^3/dtk)
 B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer (dtk/m^2)
 S_w = penurunan muka air (m)

Sumur dikatakan efisien apabila memiliki $E_w \geq 50\%$.

4. Metode Analisis Kapasitas Jenis Sumur (Sc)

Metode analisis kapasitas jenis sumur (Sc) adalah pendekatan untuk mengevaluasi kinerja dan produktivitas sebuah sumur, khususnya sumur bor, berdasarkan parameter kapasitas spesifik (*Specific Capacity*).

Nilai ini digunakan untuk menilai seberapa efisien sumur mengalirkan air dari akuifer dan sangat tergantung dari debit pemompaan (Q) dan penurunan permukaan air (S_w), yaitu:

$$Sc = \frac{Q}{S_w} \quad (2.24)$$

Dengan : Sc = kapasitas sumur (m^2/dtk)
 Q = debit pemompaan (m^3/dtk)
 S_w = penurunan muka air (m)

Nilai Sc menunjukkan produktivitas pada sumur dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 2.9 Kriteria Nilai Sc

Sc	Produktivitas Sumur
$>5,10^{-3}$	Tinggi
$5,10^{-3}$ - $5,10^{-4}$	Sedang
$5,10^{-4}$ - $5,10^{-5}$	Rendah
$5,10^{-5}$ - $5,10^{-6}$	Sangat Rendah
$<5,10^{-6}$	Dapat Diabaikan

Sumber: Bisri. M, 2012; 91

5. Metode Analisis Debit Optimum (Q_{opt})

Debit optimum sumur merupakan besarnya debit air sumur yang dapat diambil melalui metode pemompaan dengan menghitung nilai Debit

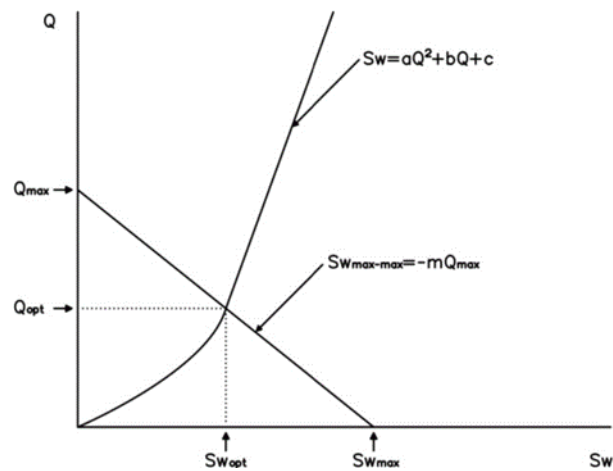
Maksimum (Q_{maks}) dan Penurunan muka air maksimum (Sw_{maks}). Untuk mencari besarnya nilai Q_{maks} dan Sw_{maks} , bisa menggunakan rumus persamaan berikut:

$$Q_{maks} = 2\pi \cdot rwD \left(\frac{\sqrt{K}}{15} \right) \quad (2.25)$$

$$Sw_{maks} = BQ_{maks} + CQ_{maks}^2 \quad (2.26)$$

Dengan : rw = jari-jari sumur (m)
 D = tebal akuifer (m)
 K = koefisien konduktivitas hidrolik (m/hari)
 Q_{maks} = debit pemompaan maksimum (m^3/d)
 Sw_{maks} = penurunan muka air maksimum (m)
 B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer (dtk/m^2)
 C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur (dtk/m^2)

Kemudian Q_{maks} dan Sw_{maks} diplot pada grafik dengan garis linear sehingga diperoleh nilai debit optimum dari garis persinggungan. Secara grafik dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.7 Grafik Penentuan Debit Optimum (Q_{opt})

Sumber: Bisri, 2012

2.6 Metode Distribusi

Metode distribusi adalah suatu proses mendistribusikan air ke konsumen dengan berbagai tujuan yang bergantung pada kondisi lokal dan lainnya. Metode yang digunakan adalah:

1. Metode Gravitasi

Metode ini sumber penyediaan air berada di tempat yang lebih tinggi dari daerah yang akan didistribusi kan sehingga pengaruh tekanannya dapat

memenuhi keperluan untuk domestik dan non domestik. Metode ini paling baik pengalirannya jika dari sumber penyediaan air ke tempat pelayanan memungkinkan menggunakan pipa berukuran seekonomis mungkin dan pengalirannya dengan lancar dan baik.

2. Distribusi Pompa Dengan Menggunakan *Reservoir*

Metode ini cukup ekonomis karena memompa airnya tidak berlangsung secara terus-menerus. Air yang dipompa akan mengalir ke seluruh *reservoir*, jika kebutuhan air memuncak maka air yang berada dalam *reservoir* akan mengalir kedaerah pelayanan.

2.7 Sistem Penyediaan Air Bersih

Sistem penyediaan air bersih harus dapat menyediakan jumlah air yang cukup untuk kebutuhan suatu daerah. Unsur-unsur sistem yang modern terdiri atas : sumber air baku, fasilitas penyimpanan, fasilitas transmisi ke unit pengolahan, fasilitas pengolahan, fasilitas transmisi dan penyimpanan, dan fasilitas distribusi. Dalam rangka mengatasi permasalahan dalam bidang air bersih, diperlukan adanya suatu kriteria perencanaan untuk menjaga mutu sistem yang akan dibangun dengan strategi dan pengembangan daerah.

2.7.1 Sistem Transmisi

Sistem perpipaan transmisi bertujuan untuk menyalurkan air dari sumber air baku misalnya, mata air menuju ke bangunan pengolahan, serta mengalirkan sumber air baku menuju ke *reservoir* induk. Sistem transmisi air bersih dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung kondisi topografi yang menghubungkan sumber air dengan *reservoir*.

2.7.2 Sistem Distribusi

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 jaringan perpipaan dan sarana pelengkap seperti, hidran kebakaran, pelepas tekan, sistem pemompaan (bila diperlukan), dan *reservoir* distribusi. Dua hal yang harus diperhatikan pada sistem distribusi adalah tersedianya jumlah air yang cukup dan tekanan yang memenuhi, serta menjaga kualitas air yang berasal dari instalasi pengolahan.

Konsumen memerlukan sambungan air dengan tekanan yang cukup, dalam arti dapat dilayani dengan jumlah air yang diizinkan setiap saat. Untuk menjaga tekanan akhir pipa di seluruh daerah pelayanan, pada titik awal distribusi diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk mengatasi kehilangan tekanan karena gesekan, yang bergantung kecepatan aliran, jenis pipa, diameter pipa dan jalur pipa tersebut. Tekanan yang dibutuhkan pada titik awal distribusi tergantung pada: ketinggian bangunan tertinggi yang harus dicapai oleh air, jarak titik awal distribusi dari *reservoir*, tekanan untuk hidran kebakaran yang dibutuhkan. Alat pemadam kebakaran biasanya dilengkapi dengan pompa yang dapat menyedot air. Daerah perumahan memiliki tekanan dalam pipa antara 1,8-2,8 kg/cm², daerah bisnis sekitar 5,3 kg/cm² sedangkan tekanan pelayanan untuk hidran kebakaran sebesar 4,2 kg/cm² (Sianto, 2022). Kemudian, tekanan pada jalur pipa sekitar 20-40 psig (14-28 m), pada daerah bisnis sekitar 60-75 psig (42-53 m) dan pada hidran kebakaran sekitar 45 psig (32 m) di ujung nozzle berdiameter 1 1/8 inci (Kusumawardani & Astuti, 2018). Tekanan dalam sistem distribusi dipertahankan dengan cara:

1. Meletakkan *reservoir* distribusi di tengah areal (secara tidak langsung akan mempengaruhi biaya maksimum untuk ukuran pipa). Ketika sistem disuplai dengan sistem pompa dan juga melalui *reservoir*, lokasi *reservoir* berada pada akhir dari sistem
2. Menyediakan *reservoir* penyeimbang (*balancing reservoir*), ketika suplai melebihi kebutuhan, air mengalir ke dalam tangki. Ketika kebutuhan melebihi suplai, air mengalir keluar dari *reservoir* penyeimbang melalui pipa. Ketika sistem distribusi didesain dengan sistem pompa, tangki penyeimbang diletakkan pada bagian akhir sistem.

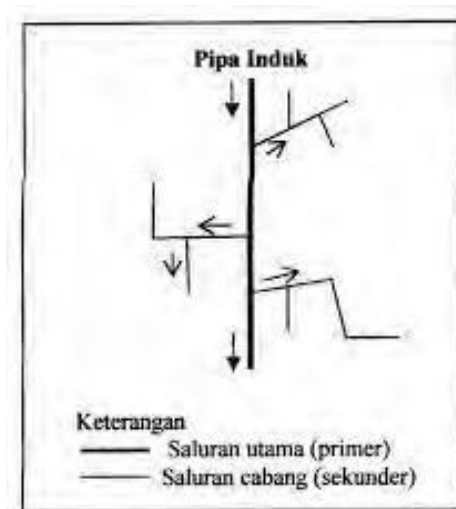
Sistem jaringan distribusi didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Kecepatan dalam pipa tidak boleh melebihi 0,6 – 1,2 m/dt. Ukuran pipa harus tidak melebihi dimensi yang diperlukan dan juga tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan analisis jaringan pipa distribusi, dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi (Sianto, 2022).

2.7.3 Jenis Jaringan Distribusi

2.7.3.1 Sistem Bercabang

Pada sistem ini ujung pipa percabangan dari pipa utama biasanya tertutup sehingga menyebabkan tertutupnya kotoran yang mengganggu pendistribusian air.

1. Keuntungan sistem bercabang:
 - a. Sangat baik untuk area menurun.
 - b. Cukup ekonomis karena jalurnya relatif lebih pendek sehingga pipa yang dibutuhkan lebih sedikit.
 - c. Tekanan air cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengaliran air.
 - d. Mudah dalam operasi karena adanya titik mati kotoran yang terbawa selama pengaliran dapat dibuat pada titik akhir pengaliran
 - e. Mudah dalam perbaikan. Bila ada kerusakan pada titik tertentu untuk melakukan perbaikan cukup menutup aliran dititik diatasnya dan perbaikan dapat dilakukan.
2. Kerugian sistem bercabang:
 - a. Bila aliran terputus, misalnya karena ada kerusakan pada suatu titik otomatis titik yang ada dibawahnya akan terganggu selama perbaikan.
 - b. Tidak bisa melayani peningkatan kebutuhan atau lonjakan kebutuhan air secara tiba-tiba karena tidak ada aliran dari daerah lain.

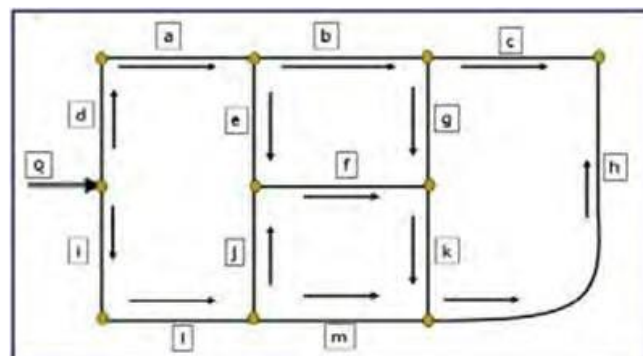


Gambar 2.8 Jaringan Sistem Bercabang

2.7.3.2 Sistem Grid (Petak)

Pada sistem ini ujung-ujung pipa cabang disambungkan satu sama lain, sistem ini lebih baik dari sistem pipa bercabang karena sirkulasinya lebih baik dan kecil kemungkinan aliran menjadi tertutup atau stagnasi.

1. Keuntungan sistem *grid*:
 - a. Sirkulasi airnya baik.
 - b. Pipa sulit tersumbat apabila terdapat kotoran karena air di dalam pipa terus mengalir dan selalu terjadi pergantian air sehingga sulit terjadi pengendapan.
2. Kerugian sistem *grid*:
 - a. Dalam pelaksanaannya cukup sulit karena pada ujung sambungan terdapat dua sambungan yang terbuka ataupun berbalik arah.
 - b. Kurang begitu ekonomis karena terlalu banyak sambungan, contohnya seperti sambungan *elbow*, *tee*, dan lain-lain.



Gambar 2.9 Jaringan Sistem Grid

2.7.4 Reservoir

Reservoir ialah suatu tempat yang dapat menampung air sebelum selanjutnya dilakukan proses pendistribusian kepada masyarakat. Akan tetapi umumnya bangunan *reservoir* biasanya ditempatkan di dekat dengan jaringan distribusi air pada ketinggian yang cukup, hal tersebut bertujuan supaya dapat mengalirkan air dengan baik dan merata ke seluruh masyarakat yang membutuhkan.

Pada *reservoir* air, *reservoir* air memiliki fungsi utama, yakni sebagai penyeimbang debit produksi air dengan debit pemakaian air. Di saat yang bersamaan, biasanya debit produksi air bersih tidak sama besar dengan yang ada pada debit pemakaian air. Ketika jumlah produksi air bersih lebih banyak dibandingkan dengan jumlah pemakaian air, maka debit air yang berlebih akan

dipindahkan untuk sementara waktu ke dalam *reservoir* yang ada. Debit air yang berlebih itu nantinya akan dipergunakan kembali untuk memenuhi kebutuhan air bersih nantinya, yaitu di saat jumlah produksi air lebih kecil bila dibandingkan dengan jumlah pemakaian air.

Selain fungsi utama *reservoir* seperti yang telah disebutkan sebelumnya, terdapat beberapa fungsi lain dari *reservoir*, yaitu seperti:

1. Memberikan tambahan tekanan air di jaringan pipa distribusi yaitu khususnya bagi *reservoir* yang memiliki bentuk menara.
2. Menjadikan tekanan air di jaringan pipa distribusi menjadi lebih stabil.
3. Menjadi tempat untuk menampung persediaan air disaat dalam keadaan darurat.
4. Bisa menjadi tempat untuk mencampur air dengan larutan kimia, khususnya pada pembubuhan disinfektan. Di mana pencampuran bahan kimia ini dilakukan di dalam *reservoir* supaya pencampuran tersebut lebih merata, selain itu, dengan durasi pencampuran yang lebih lama, maka hal tersebut diharapkan bisa mengurangi sisa zat klor yang berlebih.
5. Bisa menjadi tempat untuk mengendapkan pasir ataupun kotoran-kotoran lain yang mungkin masih terbawa oleh air yang berasal dari instalasi pengolahan ataupun dari sumur dalam.
6. Diharapkan mampu menghemat pemakaian energi listrik, apabila *reservoir* diisi dengan menggunakan pompa, yaitu ketika proses pemompaan pada *reservoir* dapat dijalankan dengan lebih merata.

Kemudian, untuk bagian-bagian dari *reservoir* air itu sendiri diantaranya sebagai berikut:

1. Bak penampungan, merupakan bagian terpenting di dalam *reservoir*.
2. Bagian perpipaan, di mana pada bagian perpipaan ini terdiri dari berbagai macam pipa seperti pipa air keluar atau disebut juga pipa outlet, pipa air masuk atau pipa atau disebut juga inlet, pipa peluap yang bertujuan sebagai pembuang air apabila berlebih, dan pipa penguras, serta pipa udara.
3. Lubang inspeksi atau disebut juga *manhole*, berfungsi sebagai tempat

untuk melakukan inspeksi pada *reservoir*.

4. Tangga naik dan juga tangga untuk masuk ke dalam *reservoir*.
5. Alat untuk menunjukkan tinggi muka air, yang biasanya diletakkan di dalam *reservoir*.
6. Alat untuk pengukur meter air atau debit air, biasanya alat pengukur ini dipasang pada pipa air masuk ataupun pada pipa air keluar *reservoir*.

2.8 Pipa dan Alat Sambung

2.8.1 Standar Pipa

Berikut standar pipa menurut SNI 06-4829-2005, ISO 4427-1996 :

Tabel 2.10 Standar Pipa Air Bersih SNI

ND (Inch)	OD (mm)	(mm)								Panjang Pipa / roll (m)
		S-4 SDR 9	S-5 SDR 11	S-6,3 SDR 13,6	S-8 SDR 17	S-10 SDR 21	S-12,5 SDR 26	S-16 SDR 33	S-20 SDR 41	
PE-100		PN - 20	PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN - 8	PN - 6,3	PN - 5	PN – 4	
PE-80		PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN 8	PN - 6,3	PN - 5	PN - 4	PN – 3,2	
1/2	20	2,3	-	-	-	-	-	-	-	50, 100, 200, 300
3/4	25	2,8	2,3	-	-	-	-	-	-	50, 100, 200, 300
1	32	3,6	3,0	-	-	-	-	-	-	50, 100, 200, 300
1 1/4	40	4,5	3,7	3,0	-	-	-	-	-	50, 100, 200
1 1/2	50	5,6	4,6	3,7	3,0	-	-		-	50, 100, 200
2	63	7,1	5,8	4,7	3,8	3,0	-		-	6, 12, 50, 100

ND (Inch)	OD (mm)	(mm)								Panjang Pipa / roll (m)
		S-4 SDR 9	S-5 SDR 11	S-6,3 SDR 13,6	S-8 SDR 17	S-10 SDR 21	S-12,5 SDR 26	S-16 SDR 33	S-20 SDR 41	
PE-100		PN - 20	PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN - 8	PN - 6,3	PN - 5	PN – 4	
PE-80		PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN 8	PN - 6,3	PN - 5	PN - 4	PN – 3,2	
2 ½	75	8,4	6,8	5,5	4,5	3,6	-	-	-	6, 12, 50, 100
3	90	10,1	8,2	6,7	5,4	4,3	3,5	-	-	6, 12
4	110	12,3	10,0	8,1	6,6	5,3	4,3	-	-	6, 12
5	125	14,0	11,4	9,2	7,4	6,0	4,8	3,9	3,1	6, 12
5 ½	140	15,7	12,7	10,3	8,3	6,7	5,4	4,3	3,5	6, 12
6	160	17,9	14,6	11,8	9,5	7,7	6,2	4,9	4,0	6, 12
7	180	20,1	16,4	13,3	10,7	8,6	6,9	5,5	4,4	6,12
8	200	22,4	18,2	14,7	11,9	9,6	7,7	6,2	5,5	6, 12
9	225	25,1	20,5	16,6	13,4	10,8	8,6	6,9	5,5	6, 12
10	250	27,5	22,7	18,4	14,8	11,9	9,6	7,7	6,2	6, 12

ND (Inch)	OD (mm)	(mm)								Panjang Pipa / roll (m)
		S-4 SDR 9	S-5 SDR 11	S-6,3 SDR 13,6	S-8 SDR 17	S-10 SDR 21	S-12,5 SDR 26	S-16 SDR 33	S-20 SDR 41	
PE-100		PN - 20	PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN - 8	PN - 6,3	PN - 5	PN – 4	
PE-80		PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN 8	PN - 6,3	PN - 5	PN - 4	PN – 3,2	
11	280	31,3	25,4	20,6	16,6	13,4	10,7	8,6	6,9	6, 12
12	315	35,2	28,6	23,2	18,7	15,0	12,1	9,7	7,7	6, 12
14	355	39,6	32,2	26,1	21,1	16,9	13,6	10,8	8,7	6, 12
16	400	44,7	36,3	29,4	23,7	19,1	15,3	12,3	9,8	6, 12
18	450	50,2	40,9	33,1	26,7	21,5	17,2	13,8	11,0	6, 12
20	500	55,8	45,4	36,8	29,6	23,9	19,1	15,3	12,3	6, 12
22	560	-	50,8	41,2	33,2	26,7	21,4	17,2	13,7	6, 12
24	630	-	57,2	46,3	37,3	30,0	24,1	19,3	15,4	6, 12
28	710	-	-	52,2	42,1	33,9	27,2	21,8	17,4	6, 12
32	800	-	-	-	47,4	38,1	30,6	24,5	19,6	6, 12

ND (Inch)	OD (mm)	(mm)								Panjang Pipa / roll (m)
		S-4 SDR 9	S-5 SDR 11	S-6,3 SDR 13,6	S-8 SDR 17	S-10 SDR 21	S-12,5 SDR 26	S-16 SDR 33	S-20 SDR 41	
PE-100		PN - 20	PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN - 8	PN - 6,3	PN - 5	PN – 4	
PE-80		PN - 16	PN – 12,5	PN - 10	PN 8	PN - 6,3	PN - 5	PN - 4	PN – 3,2	
36		-	-	-	53,5	42,9	34,3	27,6	22,0	6, 12
40		-	-	-	59,3	47,7	38,2	30,6	24,5	6, 12
46		-	-	-	-	57,2	45,6	36,7	29,4	6, 12
56		-	-	-	-	66,7	53,2	42,9	34,4	6, 12
64		-	-	-	-	76,2	61,3	49,0	39,3	6, 12

Sumber: SNI 06-4829-2005, ISO 4427-1996

2.8.2 Jenis Pipa

Dalam merencanakan jaringan distribusi bahan yang sering digunakan adalah pipa. Pipa yang digunakan untuk mengalirkan air bersih dibagi dalam beberapa jenis, yaitu:

1. Pipa Galvanis

Pipa ini terbuat dari campuran seng (Zn) dengan timah (Pb) dan pada bagian luar dilapisi dengan lapisan timah untuk mencegah karat.



Gambar 2.10 Pipa Galvanis

2. Pipa Baja

Pipa ini dibuat dengan dinding yang tipis sehingga menghasilkan pipa yang relatif ringan dan bermutu tinggi. Kerugian dari pipa baja ini, yaitu:

- Baja merupakan bahan yang mudah berkarat, sehingga butuh perawatan dan perlindungan.
- Pipa mudah rusak saat pengoperasian.



Gambar 2.11 Pipa Baja

3. Pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*)

Pipa ini terbuat dari butir-butir *Poly Vinyl Chloride* yang dicampur dengan bahan tambah sampai dengan 6% dan dipanaskan.



Gambar 2.12 Pipa PVC

4. Pipa HDPE

Pipa HDPE adalah pipa dengan daya lentur yang tinggi pada luar dan dalam permukaan pipa, serta dapat digunakan di daerah berbukit, rawan gempa, dan daerah rawa.



Gambar 2.13 Pipa HDPE

2.8.3 Alat Sambung Pipa

Bermacam-macam alat sambung yang dapat digunakan dalam perencanaan jaringan pipa distribusi, yaitu:

1. *Tee*, berfungsi untuk mengalirkan air dengan cara menyilang.

2. *Elbow*, digunakan untuk arah berbingkai atau lingkaran.
3. *Socket*, berfungsi untuk penyambung dua pipa yang berdiameter sama.
4. *Valve*, berfungsi untuk mengatur aliran menutup dan membuka aliran dan mengontrol tekanan aliran.
5. *Reducer*, berfungsi untuk menyambung dua pipa yang berdiameter berbeda.

2.9 Analisis Hidraulika Aliran Dalam Pipa

Hidraulika adalah bagian dari hidromekanika yang berhubungan dengan gerak air. Hidraulika adalah ilmu yang mempelajari tentang perilaku air yang ditelaah harus terukur secara fisik. Perilaku yang dimaksud adalah hubungan antara debit air mengalir didalam pipa yang dikaitkan dengan diameter pipa sehingga diketahui gejala seperti tekanan, kehilangan energi dan gaya lainnya. Fluida dalam pipa dianggap memiliki kecepatan yang konstan apabila melewati pipa dengan diameter yang sama. Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil. Aliran tersebut memiliki tiga macam energi yang bekerja di dalamnya, yaitu (Priyantoro, 1991):

3. Energi kinetik, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan kecepatannya.
4. Energi tekanan, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan tekanannya.
5. Energi ketinggian, yaitu energi yang ada pada partikel massa air sehubungan dengan ketinggiannya terhadap garis referensi (*Datum line*).

2.9.1 Hukum Bernoulli

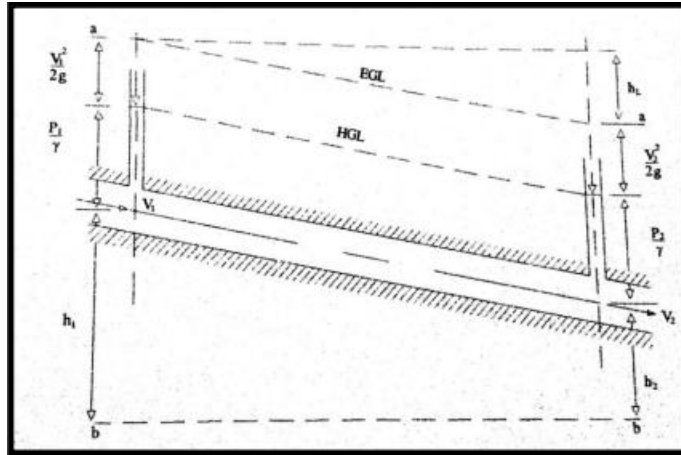
Prinsip dari hukum Bernoulli adalah air yang mengalir pada pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi yang besar ke tempat yang memiliki energi lebih kecil.

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, tekanan dan ketinggian yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$ET_{\text{Tot}} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan}$

$$ET = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma w} \quad (2.27)$$

Menurut teori Kekekalan Energi dari hukum Bernoulli apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dijelaskan pada gambar 2.8.



Gambar 2.14 Garis Tenaga dan Tekanan pada Zat Cair

Sumber: Priyantoro, 1991

Adapun persamaan Bernoulli dalam Gambar diatas dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991) :

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (2.28)$$

Dengan : $\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}$ = tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)

$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$ = tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)

p_1, p_2 = tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m²)

γ_w = berat jenis air (kg/m³)

V_1, V_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det)

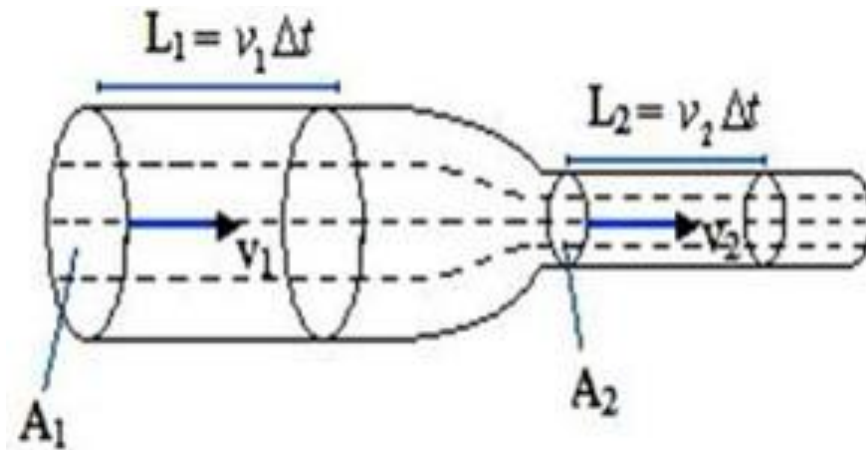
g = percepatan gravitasi (m/det²)

h_1, h_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

h_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

2.9.2 Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa mempunyai debit yang sama di setiap penampangnya. Persamaan hukum kontinuitas menyatakan bahwa debit yang masuk ke pipa sama dengan debit yang keluar dari pipa. Hukum kontinuitas tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut (Priyantoro, 1991):



Gambar 2.15 Debit Aliran dan Persamaan Kontinuitas

$$Q_{inFlow} = Q_{outFlow}$$

maka,

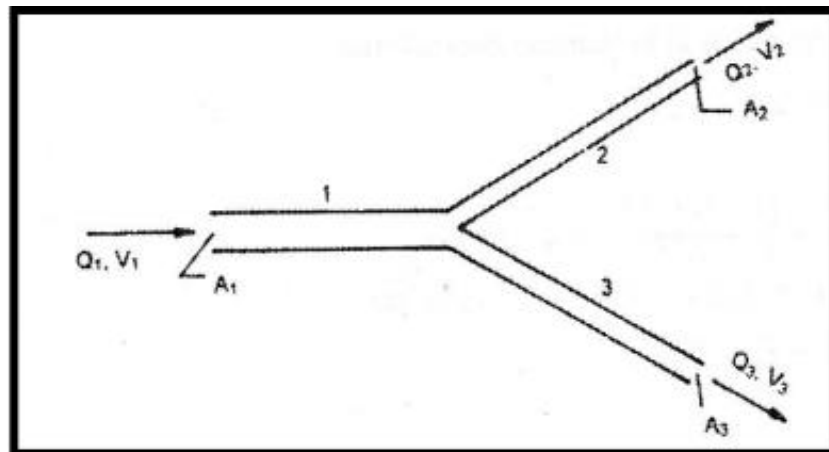
$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.29)$$

Dengan : Q_1, Q_2 = Debit yang mengalir (m^3 / det)

V_1, V_2 = Kecepatan aliran (m/dt)

A_1, A_2 = Luas penampang (m^2)

Pada aliran yang memiliki aliran bercabang juga berlaku hukum kontinuitas dimana debit yang masuk pada suatu pipa sama dengan debit yang keluar pipa. Hal tersebut seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.16 Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang

Sumber : Triatmodjo, 1996

Sedangkan hukum kontinuitas pada pipa bercabang dapat diuraikan sebagai berikut (Triatmodjo, 1996):

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2.30)$$

Atau,

$$A_1 \cdot V_1 = (A_2 \cdot V_2) + (A_3 \cdot V_3) \quad (2.31)$$

Dengan : $Q_1 = Q_2 + Q_3 = \text{Debit pada potongan 1, 2 dan 3 (m}^3/\text{det)}$

$A_1, A_2, A_3 = \text{Luas penampang pada potongan 1, 2 dan 3 (m}^2\text{)}$

$V_1, V_2, V_3 = \text{Kecepatan pada potongan 1, 2 dan 3 (m/det)}$

2.9.3 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Pada perencanaan jaringan pipa tidak mungkin dapat dihindari adanya kehilangan tinggi tekan selama air mengalir melalui pipa tersebut. Kehilangan tinggi tekan dalam pipa dibagi menjadi dua yaitu kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*).

2.9.3.1 Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Kehilangan energi mayor disebabkan oleh gesekan atau friksi dengan pipa. Kehilangan energi oleh gesekan disebabkan karena air yang mempunyai kekentalan dan dinding pipa tidak licin sempurna. Pada dinding yang mendekati licin sempurna, masih pula terjadi kehilangan energi walaupun sangat kecil. Jika dinding licin sempurna, maka tidak ada kehilangan energi yaitu saat diameter kekasaran nol. Ada beberapa faktor teori dan formula untuk menghitung kehilangan tinggi tekan mayor ini dengan menggunakan *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach*, *Manning*, *Chezy*. Namun dalam studi ini menggunakan *Hazen-Williams*, yaitu dengan formula sebagai berikut (Priyantoro, 1991):

$$Q_i = 0,85 C_{hw} \cdot A_i \cdot R_i^{0,63} \cdot S f^{0,5} \quad (2.32)$$

$$V_i = 0,85 C_{hw} \cdot R_i^{0,63} \cdot S f^{0,54} \quad (2.33)$$

Dengan : $Q_i = \text{debit aliran pada pipa (m}^3/\text{det)}$

$V_i = \text{kecepatan dalam aliran pipa (m/det)}$

$C_{hw} = \text{koefisien kekasaran Hazen-Williams}$

$A_i = \text{luas penampang pada pipa (m}^2\text{)}$

$R_i = \text{jari-jari hidrolis pada pipa (m)}$

$$R = \frac{1}{4} = \frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{\pi D}$$

$Sf = \text{kemiringan garis hidrolis}$

$$R = \frac{D}{4}$$

$$Sf = hf/L$$

Persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut *Hazen-Williams* yaitu:

$$H_f = k \cdot Q^{1,85} \quad (2.34)$$

$$k = \frac{10,675 \cdot L}{C_{hw}^{185} D^{4,87}} \quad (2.35)$$

Dengan : H_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

K = koefisien karakteristik pipa

Q = debit pada aliran pipa (m³/det)

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C_{hw} = koefisien kekasaran *Hazen-Williams*

Tabel 2.11 Koefisien Karakteristik Pipa menurut *Hazen-Williams*

No	Bahan Pipa	Nilai Koefisien <i>Hazen-Williams</i> (C_{hw})
1	<i>Asbestos Cement</i>	140
2	<i>Brass</i>	130-140
3	<i>Brick Sewer</i>	100
	<i>Cast Iron</i>	
	<i>New Unlined</i>	130
4	<i>10 years old</i>	107-113
	<i>20 years old</i>	98-100
	<i>30 years old</i>	75-90
	<i>40 years old</i>	64-83
	<i>Concrete or Concrete lined</i>	
5	<i>steel forms</i>	140
	<i>wooden forms</i>	120
	<i>Sentrifugally spun</i>	135
6	<i>Copper</i>	130-140
7	<i>Galvanized Iron</i>	120
8	<i>Glass</i>	140
9	<i>Lead</i>	130-140
10	<i>Plastic</i>	140-150
11	<i>PVC</i>	130-150

	<i>Steel forms</i>	
12	<i>Coal tarenamel lined</i>	145-150
	<i>New unlined</i>	145-150
	<i>Riveted</i>	110
13	<i>Tin</i>	130
14	<i>Vitrified clay</i>	110-140
15	<i>Wood stave</i>	120

Sumber: Priyantoro, 1991

2.9.3.2 Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan energi diakibatkan oleh adanya belokan pada pipa sehingga terjadi turbulensi. Demikian pula jika ada penyempitan pembesaran pipa secara tiba-tiba, kehilangan energi juga akan terjadi jika air harus melalui katup (Triatmodjo, 2012).

Berikut ini adalah rumus kehilangan tinggi tekan minor:

$$h_{lm} = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.36)$$

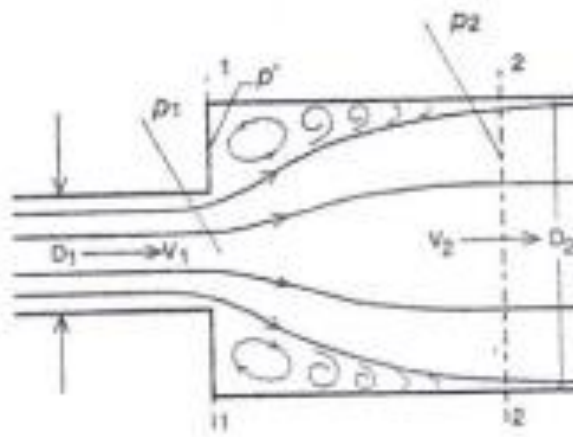
Dengan :

- h_{Lm} = kehilangan tinggi tekan minor (m)
- V = kecepatan aliran dalam pipa (m/det)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)
- k = koefisien kehilangan tinggi tekan minor

Dalam kehilangan tinggi tekan minor terdapat beberapa perubahan penampang yang terjadi seperti perbesaran penampang, pengecilan penampang maupun belokan pada pipa. Hal ini akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Perbesaran Penampang

Perbesaran penampang mendadak dari aliran seperti yang ditunjukkan pada gambar sehingga mengakibatkan kenaikan tekanan dari P1 menuju P2 dan kecepatan turun dari V1 menjadi V2. Pada tempat perbesaran di (1) tersebut akan terjadi olakan dan aliran akan kembali normal setelah mencapai tampang (2). Berikut ini adalah gambar perbesaran pada suatu penampang.



Gambar 2.17 Perbesaran pipa

Sumber: Triatmodjo, 2012

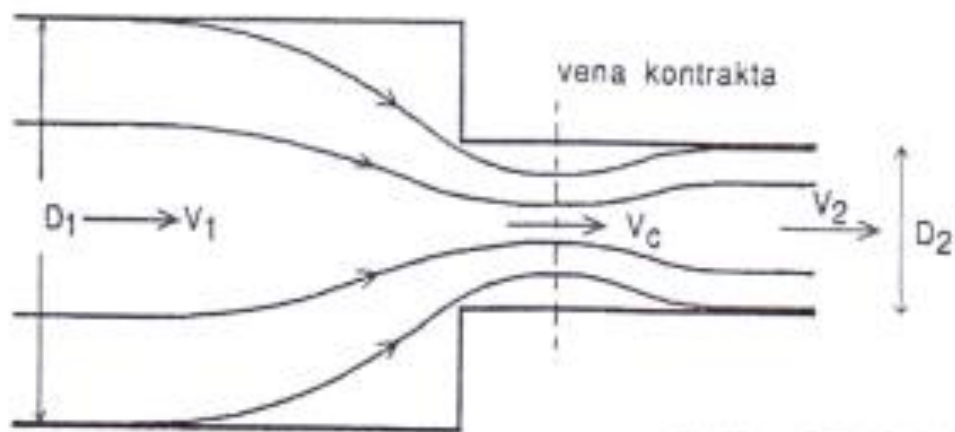
Tabel 2.12 Nilai K sebagai fungsi dari P1

P1	10°	20°	30°	40°	50°	60°	75°
K	0,078	0,31	0,49	0,60	0,67	0,72	0,72

Sumber: Triatmodjo, 2011

2. Pengecilan Penampang

Kehilangan tenaga pada pengecilan pipa dapat dikurangi dengan membuat pengecilan penampang yang berangsur-angsur seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Kehilangan tinggi akibat pengecilan yang sering dijumpai dalam praktek adalah sistem pengeluaran aliran dalam pipa pada suatu tandon air.



Gambar 2.18 Perbesaran pipa

Sumber: Triatmodjo, 2012

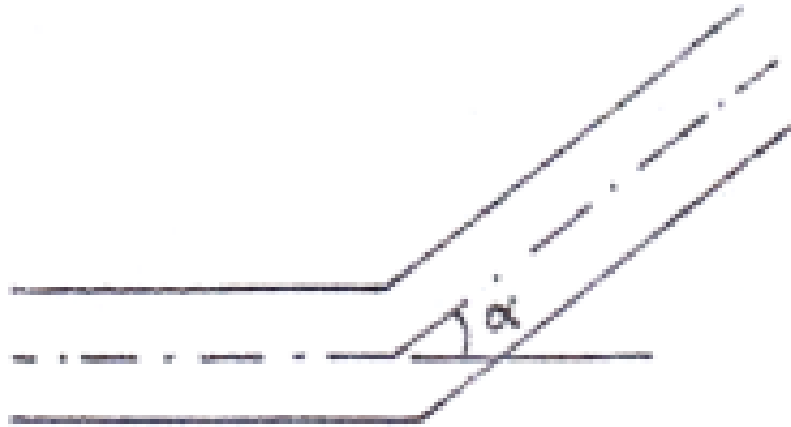
Tabel 2.13 Nilai K sebagai fungsi dari α

A	10°	20°	30°	40°
K	0,2	0,28	0,32	0,35

Sumber: Priyantoro, 1991

3. Belokan Pipa

Kehilangan tenaga yang terjadi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa. Hal ini dapat disebabkan oleh pemisahan arus pada bagian dinding belokan dalam dan aliran sekunder dengan arah transversal.



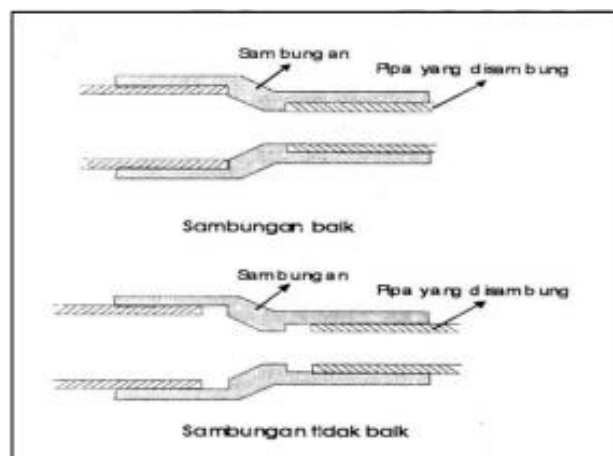
Gambar 2.19 Belokan pipa

Sumber: Triatmodjo, 2012

Tabel 2.14 Nilai K sebagai fungsi dari α

A	20°	40°	60°	80°	90°
K	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Sumber: Priyantoro, 1991



Gambar 2.20 Sambungan yang baik dan tidak baik

2.9.4 Hidraulika Jaringan Pipa

Jaringan pipa bisa disebut sebagai rangkaian pada pipa yang saling berhubungan secara hidrolis. Oleh karena itu saat salah satu pipa mengalami perubahan debit aliran maka dapat menimbulkan penyebaran pengaruh ke pipa yang lainnya. Pengaruh tersebut dapat diketahui dari segi perubahan tekanan pada pipa. Untuk membedakan pipa yang tergabung dalam suatu jaringan dapat dilihat dari beberapa segi, yaitu:

1. Panjang pipa.
2. Diameter pipa.
3. Kedudukan pipa pada jaringan.

Kedudukan pipa pada suatu jaringan dapat disebut dengan:

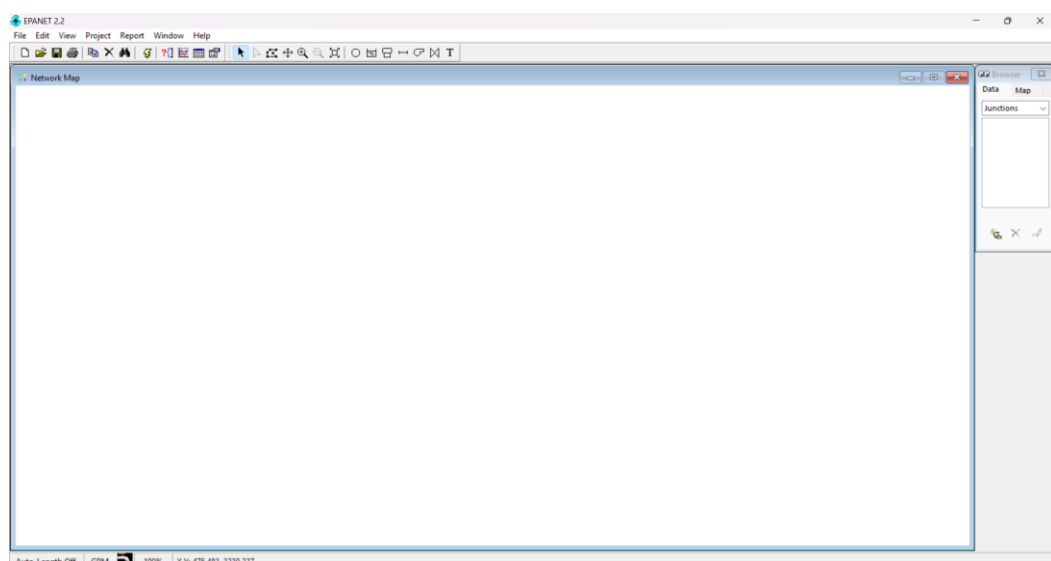
1. Nomor pipa.
2. Simpul atau *node* yang dihubungkan oleh pipa tersebut.

Sistem jaringan air yang keluar dari simpul atau *node* dikendalikan oleh *valve* yang terhubung dari satu bagian dengan bagian jaringan lainnya. Air yang keluar dari suatu *node* jaringan bergantung dari perilaku konsumen.

2.10 Epanet 2.2

2.10.1 Definisi Epanet 2.2

Epanet 2.2 ialah program yang menggambarkan analisis hidrolis yang mengalir di dalam jaringan pipa. Jaringan itu terdiri dari Pipa, *Node* (titik koneksi pipa), Katup, Pompa dan tangki air (*Reservoir*).



Gambar 2.21 Tampilan Epanet 2.2

Permodelan hidrolis yang akurat adalah salah satu langkah yang efektif dalam membuat model tentang kualitas air. Epanet 2.2 adalah *Software* analisis hidrolis yang memiliki kemampuan seperti:

1. Tidak terbatasnya jumlah jaringan yang dianalisa.
2. Termasuk *minor losses* untuk *bend*, *fitting* dan lain - lain.
3. Model dapat menggunakan pompa dengan kecepatan konstan dan bervariasi.
4. Menghitung *Headloss* akibat gesekan dengan menggunakan persamaan *Hazen Willams*, *Darcy Weisbach* atau *Chezy Manning*.
5. Menghitung energi dan biaya pemompaan.
6. Memodelkan macam-macam *valve* termasuk *shutoff*, *check*, *Pressure regulating* dan *Flow control valves*.
7. Menyediakan tangki penyimpanan yang memiliki berbagai bentuk (diameter dan tinggi dapat bervariasi).
8. Dapat memenuhi variasi kebutuhan pada tiap *node* sesuai dengan pola dari variasi waktu.
9. Sistem operasi dapat didasarkan pada kontrol waktu sederhana atau kontrol yang kompleks.

2.10.2 Input Data

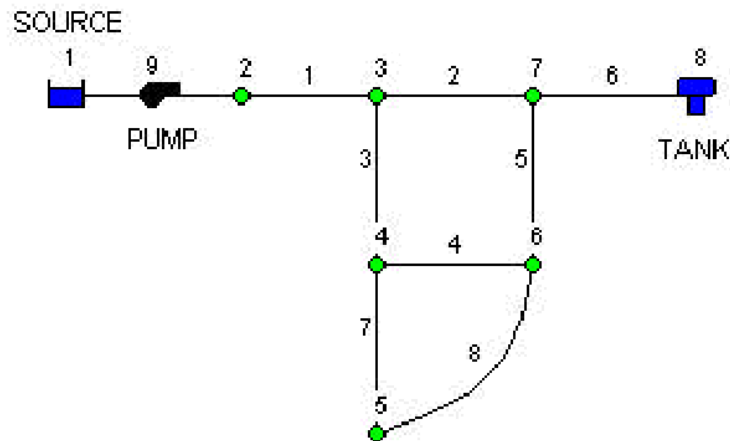
Untuk menganalisis sistem hidrolis pada jaringan pipa diperlukan input data berupa:

1. Elevasi.
2. Panjang Pipa.
3. Kebutuhan Air (*base Demand*).
4. Fluktuasi pemakaian air.
5. *Head* di titik pengambilan.

2.10.3 Tahapan-Tahapan dalam Penggunaan Software Epanet 2.2

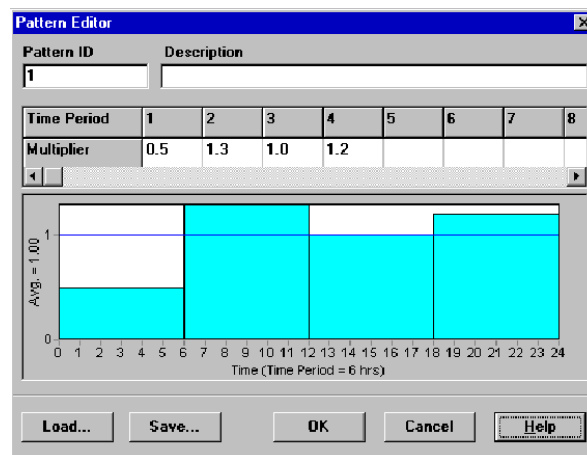
Tahapan-tahapan dari penggunaan Epanet untuk mengerjakan model sebuah sistem distribusi air adalah sebagai berikut:

1. Menggambarkan jaringan sistem distribusi air atau memasukkan deskripsi dasar jaringan dasar menggunakan *file text*.



Gambar 2.22 Penggambaran Jaringan Distribusi

2. Mengedit spesifikasi dari obyek-obyek yang membentuk jaringan seperti pipa, katup dan sebagainya. Objek utama yang harus ada dalam jaringan adalah *Pipe*, *junction* dan *reservoir*. Spesifikasi yang harus dimasukkan dalam ketiga obyek diatas adalah koordinat X dan Y, *junction base Demand*, *Pipe lenght*, *Pipe diameter*, *Pipe Roughness* dan *junction Elevation*.
3. Mengatur sistem bekerja, apakah menggunakan kurva, pola waktu atau kontrol yang ada. Penggunaan pola waktu dipakai pada saat membandingkan antara analisis statis dan dinamis.



Gambar 2.23 Contoh Pengaturan Cara Kerja Sistem

4. Menentukan pilihan pengaturan analisis
5. Menjalankan analisis dengan menekan ikon run , apabila analisis berlangsung sukses maka tanda katup bukaan di bawah akan

mengeluarkan air . Ikon ini menunjukkan bahwa logika pengisian spesifikasi seluruh objek telah benar dan tidak terjadi tekanan negatif.

6. Menampilkan hasil analisis. Hasil analisis yang diinginkan bisa berupa tampilan dinamis atau statis. Tampilan dinamis dapat dilihat pada peta yang akan berubah warna sesuai dengan skala warna yang telah ditentukan. Kotak browser harus berada pada pilihan map dan diposisi *play*. Sedangkan tampilan statis ditampilkan dengan memilih menu *Report* dan akan tampak tampilan seperti *Network table – Links at 0:00 Hrs*.

2.10.4 Hasil Analisis

Hasil analisis Epanet 2.2 dari input dasar jaringan dapat ditampilkan berupa peta, grafik serta tabel. Hasil analisis tersebut berupa:

1. Data Elevasi.
2. Data Tekanan dan sisa tekan.
3. *Demand* dan *base Demand*.
4. Diameter serta Panjang pipa.
5. Debit aliran.
6. Kecepatan aliran.
7. Kehilangan tekanan.

2.10.5 Reporting

Epanet 2.2 dapat mencatat semua kesalahan dan pesan kesalahan yang terbentuk selama analisa ke dalam status report. Laporan kalibrasi adalah simulasi statistik untuk membandingkan data perhitungan komputer dengan data di lapangan. Sehingga dengan adanya kalibrasi ini maka dapat mengetahui penyimpangan/selisih (koefisien) hasil data Epanet 2.2 dengan hasil di lapangan