

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

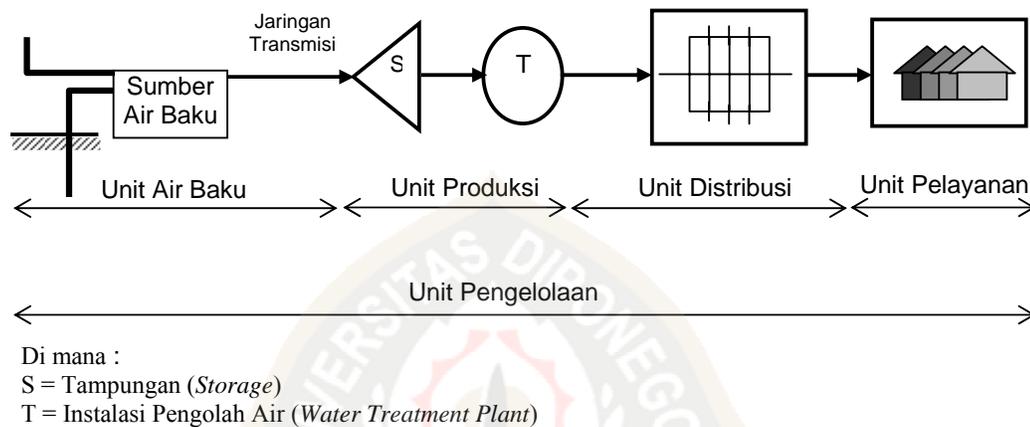
3.1. DASAR HUKUM PENYEDIAAN AIR BAKU

Pelaksanaan kegiatan penyediaan air baku harus mengacu kepada dasar hukum yang berlaku. Undang-undang No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air, di dalamnya juga mengatur beberapa hal mengenai penyediaan air baku. Dalam Pasal 34 UU No. 7 Tahun 2004, dinyatakan bahwa pengembangan sumber daya air pada wilayah sungai ditujukan untuk peningkatan kemanfaatan fungsi sumber daya air guna memenuhi kebutuhan air baku untuk rumah tangga, pertanian, industri, pariwisata, pertahanan, pertambangan, ketenagaan, perhubungan dan untuk berbagai keperluan lainnya. Mengenai pemenuhan kebutuhan air baku, lebih lanjut dijelaskan dalam pasal 40 UU No. 7 Tahun 2004, bahwa pemenuhan kebutuhan air baku untuk air minum rumah tangga dilakukan dengan pengembangan sistem penyediaan air minum.

Sebagai tindak lanjut pasal 40 UU No. 7 Tahun 2004, telah berlaku Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2005 tentang Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM). Dalam peraturan pemerintah tersebut, yang dimaksud dengan air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

Dalam Pasal 5, Peraturan Pemerintah No 16 Tahun 2005 tersebut, dinyatakan bahwa Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dapat dilakukan melalui sistem jaringan perpipaan dan bukan jaringan perpipaan. SPAM dengan jaringan perpipaan dapat meliputi unit air baku, unit produksi, unit distribusi, unit pelayanan dan unit pengelolaan. Sedangkan SPAM bukan jaringan perpipaan, dapat meliputi sumur dangkal, sumur pompa tangan, bak penampungan air hujan, terminal air, mobil tangki air instalasi air kemasan, atau bangunan perlindungan mata air.

Lebih lanjut dalam Peraturan Pemerintah No. 16 Tahun 2005 Tentang Sistem Pengembangan Air Minum menyebutkan bahwa sistem penyediaan air minum terdiri dari unit air baku, unit produksi, unit distribusi, unit pelayanan, dan unit pengelolaan. Gambar 3.1 memperlihatkan Sistem Penyediaan air minum.



Gambar 3.1. Skematik Sistem Penyediaan Air Minum
Sumber : Anonim,

3.1.1. Unit Air Baku

Terdiri dari bangunan penampungan air, bangunan pengambilan / penyadapan, alat pengukuran, peralatan pemantauan, sistem pemompaan, dan bangunan sarana pembawa serta perlengkapannya. Unit air baku, merupakan sarana pengambilan dan penyediaan air baku. Air baku wajib memenuhi baku mutu yang ditetapkan untuk penyediaan air minum sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

3.1.2. Unit Produksi

Merupakan prasarana dan sarana yang dapat digunakan untuk mengolah air baku menjadi air minum melalui proses fisik, kimiawi dan biologi. Unit produksi, dapat terdiri dari bangunan pengolahan dan perlengkapannya, perangkat operasional, alat pengukuran dan peralatan pemantauan serta bangunan penampungan air minum.

3.1.3. Unit Distribusi

Terdiri dari sistem perpompaan, jaringan distribusi, bangunan penampungan, alat ukur dan peralatan pemantauan. Unit distribusi wajib memberikan kepastian kuantitas, kualitas air dan kontinuitas pengaliran yang memberikan jaminan pengaliran 24 jam per hari.

3.1.4. Unit Pelayanan

Terdiri dari sambungan rumah, hidran umum dan hidran kebakaran. Untuk mengukur besaran pelayanan pada sambungan rumah dan hidran umum harus dipasang alat ukur berupa meter air. Untuk menjamin keakurasiannya, meter air wajib ditera secara berkala oleh instansi yang berwenang.

3.1.5. Unit Pengelolaan

Terdiri dari pengelolaan teknis dan pengelolaan nonteknis. Pengelolaan teknis terdiri dari kegiatan operasional, pemeliharaan dan pemantauan dari unit air baku, unit produksi dan unit distribusi. Sedangkan pengelolaan nonteknis terdiri dari administrasi dan pelayanan.

3.2. SYARAT-SYARAT PELAYANAN AIR BERSIH

Air harus memenuhi syarat-syarat tertentu agar layak untuk dikonsumsi dan dapat dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Penyediaan air harus diperhitungkan untuk kebutuhan sekarang maupun kebutuhan yang akan datang.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam pelayanan air bersih adalah :

- * Syarat Kualitas
- * Syarat Kuantitas

3.2.1. Syarat Kualitas Air

Syarat kualitas air bersih di sini harus memenuhi syarat-syarat yang mencakup sifat fisika dan kimia.

Tabel 3.1. Daftar persyaratan kualitas air bersih

PARAMETER	SATUAN	KADAR MAX	KET.
A. FISIKA			
Suhu	°C	Suhu Udara + 3 °C	
Rasa	-		Tidak berasa
Kekeruhan	Skala NTU	5	
Jumlah zat padat terlarut (TDS)	mg/lt	1000	
Bau	-		Tidak berbau
Warna	Skala TCU	15	
B. MIKROBIOLOGI			
Koliform Tinja	Jml/100 ml	0	
Total Koliiform (MPN)	Jml/100 ml	3	
C. RADIOAKTIF			
Aktifitas Alpha (<i>Gross Alpha Activity</i>)	Bq/lt	0,1	
Aktifitas Gamma (<i>Gross Gamma Activity</i>)	Bq/lt	1,0	
D. KIMIA			
I. Kimia Anorganik			
pH	-	6,5 – 8,5	
Air raksa	mg/lt	0,001	
Arsen	mg/lt	0,05	
Besi	mg/lt	0,3	
Fluorida	mg/lt	1,5	
Cadmium	mg/lt	0,003	
Kesadahan CaCO ₃	mg/lt	500	
Klorida	mg/lt	250	
Chromium valensi 6	mg/lt	0,05	
Mangan	mg/lt	0,1	
Nitrat sebagai N	mg/lt	50	
Nitrit sebagai N	mg/lt	3,0	
Selium	mg/lt	0,01	
Seng	mg/lt	3,0	
Sianida	mg/lt	0,07	
Sulfat	mg/lt	250	
Timah	mg/lt	0,01	
Barium	mg/lt	1,0	
Boron	mg/lt	1,0	
Tembaga	mg/lt	2,0	
Molybdenum	mg/lt	0,07	
Nikel	mg/lt	0,02	
Ammonia	mg/lt	1,5	
Aluminium	mg/lt	0,2	
Copper	mg/lt	1,0	
Hidrogen Sulfida	mg/lt	0,05	
Sodium	mg/lt	200	
Chlorine	mg/lt	600-1000	
Dissolfeg Oxygen (DO)	mg/lt	6,0	

PARAMETER	SATUAN	KADAR MAX	KET.
Biochemical Oxigen Deman (BOD)	mg/lt	2,0	
Chemical Oxigen Deman (COD)	mg/lt	10	
1. Kimia Organik			
Aldrin dan Dieldrin	mg/lt	0,03	
Benzene	mg/lt	10	
Benzo (a) Pyrene	mg/lt	0,7	
Chloroform	mg/lt	200	
2,4 – DB	mg/lt	90	
Hexachlorobenzene	mg/lt	1,0	
Metoxychlor	mg/lt	20	
Pentachlorophenol	mg/lt	9,0	
2,4,6 Trichlorophenol	mg/lt	200	

Sumber : Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/Menkes/SK/VII/2002

3.2.2. Syarat Kuantitas Air

Syarat kuantitas air artinya air harus memenuhi standar kebutuhan air. Standar kebutuhan air maksudnya adalah kapasitas air yang dibutuhkan secara normal oleh manusia untuk memenuhi hajat hidupnya sehari-hari. Standar air yang diperhitungkan disini berdasarkan pengamatan pemakaian air bersih dalam kehidupan sehari-hari para konsumen.

Kuantitas air harus dapat dimaksimalkan untuk memenuhi kebutuhan pada masa sekarang dan masa yang akan datang. Standar kebutuhan yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah standar dari Ditjen Cipta Karya Dinas PU. Kuantitas air harus dioptimalkan dan ditingkatkan melalui usaha-usaha eksplorasi air baku untuk memenuhi kebutuhan air bersih.

3.2.3. Sumber Air Baku

Air bersih yang dapat dipergunakan oleh manusia adalah yang berasal dari beberapa sumber air baku yang telah diproses untuk dapat dikonsumsi. Sumber air baku mutlak diperlukan dalam sistem penyediaan air bersih. Beberapa jenis sumber air baku diantaranya adalah :

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 dapat disuplai oleh air sungai, tetapi di 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. Sumber air baku tersebut sebelum digunakan perlu diolah agar memenuhi syarat baik fisika, kimia maupun biologi.

b. Sumber air tanah (*ground water*)

Sumber air tanah adalah sumber air yang terjadi melalui proses peresapan air permukaan ke dalam tanah. Air tanah biasanya mempunyai kualitas air yang baik karena zat-zat pencemar air tertahan oleh lapisan tanah.

Air tanah terdiri atas air tanah dangkal (air tanah yang terdapat pada bagian atas) dan air tanah dalam (air tanah yang terdapat jauh di dalam tanah). Air tanah ini kadang-kadang terkurung dalam lapisan kedap air bila terdapat patahan pada lapisan kedap air tersebut.

Air tanah juga dapat diperoleh dengan cara mengebor maupun dengan menggunakan pompa. Jika lapisan ini berhasil ditembus maka air tanah dapat memancar keluar hingga mencapai ketinggian tekanan statis setempat atau setinggi permukaan air rata-rata, sumber air ini disebut sumber air artesis.

c. Mata Air (*water source*)

Mata air adalah sumber air baku yang keluar dari permukaan tanah tanpa menggunakan mesin, tetapi mata air ini biasanya terdapat di tepi-tepi bukit. Debit yang dikeluarkan oleh mata air relatif sama tiap waktunya karena debit mata air tidak terpengaruh langsung oleh air hujan yang turun di permukaan tanah.

3.2.4. Standar Kebutuhan Air

Standar kebutuhan air bersih ada 2 (macam) yaitu :

a. Standar Kebutuhan Air Domestik

Standar kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air bersih yang dipergunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti : pemakaian air untuk minum, masak, mandi, cuci dan sanitasi.

Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari. Besarnya kebutuhan air untuk keperluan domestik dapat dilihat pada tabel di bawah ini. (Kamala dan Rao, 1988).

Kebutuhan air domestik untuk kota dapat dibagi dalam beberapa kategori antara lain :

Tabel 3.2. Kategori Kebutuhan Air Domestik

No	Macam Kategori	Daerah Cakupan
1	Kategori I	Kota Metropolitan
2	Kategori II	Kota Besar
3	Kategori III	Kota Sedang
4	Kategori IV	Kota Kecil
5	Kategori V	Desa

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU tahun 2000

Tabel 3.3. Pemakaian Air Domestik Berdasarkan SNI Tahun 1997

NO	URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK (JIWA)				
		> 1.000.000	500.000 - 1.000.000	100.000 - 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 (%) *)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-10
4.	Kehilangan Air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20
5.	Faktor Maximum Day	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
6.	Faktor Peak-Hour	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
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 Jaringan Distribusi (mka-meter kolom air)	10	10	10	10	10
10.	Jam Operasi	24	24	24	24	24
11.	Volume Reservoir (%) (Max Demand)	20	20	20	20	20
12.	SR : HU	50:50 ^s / _d 80:20	50:50 ^s / _d 80:20	80:20	70:30	70:30
13.	Cakupan Pelayanan	90	90	90	90	70

Sumber : Ditjen Cipta Karya, 1997

b. Standar Kebutuhan Air Non Domestik

Standar kebutuhan air non domestik yaitu kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik antara lain :

- Penggunaan komersial dan industri yaitu penggunaan air oleh badan-badan komersial dan industri.
- Penggunaan umum yaitu penggunaan air untuk bangunan-bangunan pemerintahan, rumah sakit, sekolah-sekolah dan rumah ibadah.

Tabel 3.4. Kategori Kebutuhan Air Non Domestik

NO	URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH JIWA				
		> 1.000.000	500.000 % _d 1.000.000	100.000 % _d 500.000	20.000 % _d 100.000	< 20.000
		METRO	BESAR	SEDANG	KECIL	DESA
1.	Konsumsi unit sambungan rumah (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 penyediaan distribusi (mka (meter kolom air))	10	10	10	10	10
10.	Jam operasi	24	24	24	24	24
11.	Volume reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
12.	SR : HR	50:50 % _d 80:20	50:50 % _d 80:20	80:20	70:30	70:30
13.	Cakupan pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	70

Sumber : Ditjen Cipta Karya, 2000

*) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

Kebutuhan air non domestik untuk kategori I sampai dengan kategori V adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5. Kebutuhan air non domestik kota kategori I,II,III,IV

SEKTOR	NILAI	SATUAN
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
Komplek Militer	60	Liter/orang/hari
Kawasan Industri	0,2 – 0,8	Liter/detik/hektar
Kawasan Pariwisata	0,1 – 0,3	Liter/detik/hektar

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU tahun 2000

Tabel 3.6. 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 3.7. 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

c. Kebocoran dan kehilangan air

Besarnya kebutuhan air akibat kebocoran dan kehilangan air cukup signifikan. Kebocoran dan kehilangan air disebabkan karena adanya sambungan ilegal dan kebocoran dalam sistem yang sebagian besar terjadi di aksesoris dan sambungan pipa.

3.3. PEMILIHAN SUMBER AIR BAKU

Potensi sumber air baku yang memungkinkan dikembangkan adalah air tanah yang berada di daerah yang kekurangan *supply* air baku. Penentuan prioritas air tanah yang akan dimanfaatkan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain :

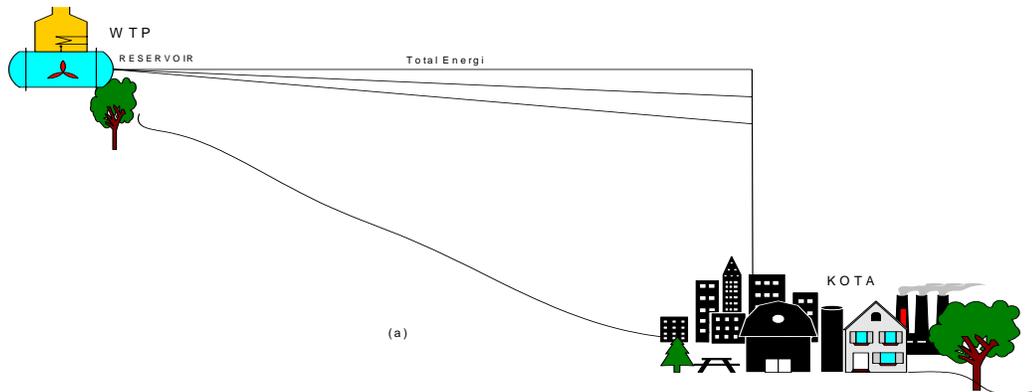
1. Hidrologi
Menyangkut kuantitas debit air tanah, dan kualitas air dari air tanah itu sendiri
2. Aksesibilitas
 - a. Jarak lokasi air tanah ke pengguna
 - b. Akses jalan menuju lokasi air tanah
3. Sistem penyedia eksisting air baku di daerah layanan air tanah

3.4. KOMPONEN SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH

3.4.1. Jaringan Transmisi

Jaringan transmisi adalah suatu jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan air bersih dari sumber air ke *reservoir*. Cara penyaluran air bersih tersebut tergantung pada lokasi sumber air berbeda. Cara penyaluran air bersih dapat dibedakan sebagai berikut :

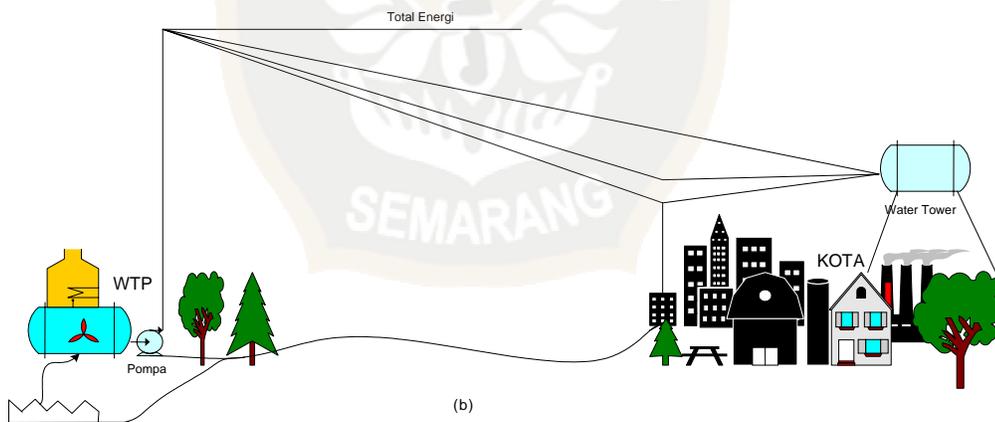
- a. Sistem Gravitasi
Yaitu sistem pengaliran air dari sumber ke tempat *reservoir* dengan cara memanfaatkan energi potensial yang dimiliki air akibat perbedaan ketinggian lokasi sumber air dengan lokasi *reservoir*.



Gambar 3.2. Sistem pengaliran distribusi air minum dengan sistem gravitasi

b. Sistem Pompa

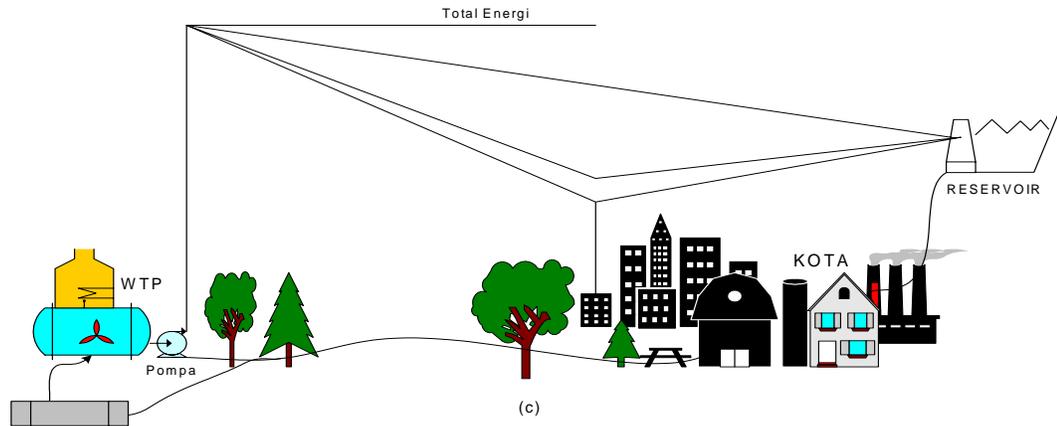
Yaitu sistem pengolahan air dari sumber ke tempat reservoir dengan cara memberikan energi kinetik pada aliran air, sehingga air dari sumber dapat mencapai lokasi *reservoir* yang lebih tinggi.



Gambar 3.3. Sistem pengaliran distribusi air minum dengan sistem pompa

c. Sistem Gabungan

Yaitu sistem pengolahan air dari sumber ke tempat *reservoir* dengan cara menggunakan dua sistem transmisi yaitu penggunaan sistem gravitasi dan sistem pompa.



Gambar 3.4. Sistem pengaliran distribusi air minum dengan sistem gabungan (gravitasi dan pompa)

3.4.2. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah jaringan penyaluran air atau pembawa air dari *reservoir* ke konsumen. Jaringan distribusi terdiri dari :

a. Jaringan *Reservoir* Distribusi

Yaitu pembagian air kepada konsumen melalui *reservoir*, berupa tangki baja atau beton dengan cara memanfaatkan sistem gravitasi atau sistem pompa.

Fungsi *reservoir* sebagai berikut :

- Penyimpan atau tandon air.
- Pusat distribusi penyediaan air di sekitarnya.
- Pemerataan aliran dan tekanan akibat variasi pemakaian di daerah distribusi.

b. Jaringan Pipa Distribusi

Yaitu penyaluran atau pembagian air kepada konsumen melalui pipa.

Jaringan yang dipakai pada jaringan pipa distribusi adalah :

- Sambungan Rumah (SR)
- Sambungan Keran umum (KU)
- Sambungan Hidran umum (HU)

3.5. KEBUTUHAN AIR BERSIH

3.5.1. Jumlah dan Proyeksi Kebutuhan Air

Faktor-faktor yang mempengaruhi proyeksi kebutuhan air :

- * Jumlah penduduk yang berkembang setiap tahun.
- * Tingkat pelayanan.

3.5.2. Fluktuasi Penggunaan Air

Menurut Fair et al. (1966) dan Al-Layla et al. (1977) konsumsi air akan berubah sesuai dengan perubahan musim dan aktivitas masyarakat. Pada hari tertentu di setiap minggu, bulan atau tahun akan terdapat pemakai air yang lebih besar daripada kebutuhan rata-rata perhari. Pemakaian air tersebut disebut pemakaian hari maksimum. Demikian pula pada jam-jam tertentu di dalam 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 ini :

1. Pemakaian sehari rata-rata :
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 satu tahun.
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.

3.5.3. Perhitungan Kebutuhan Air

Dalam perhitungan, kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan air rata-rata. Kebutuhan air rata-rata dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu kebutuhan air rata-rata harian dan kebutuhan harian maksimum.

Kebutuhan air total dihitung berdasarkan jumlah pemakai air yang telah diproyeksikan 5 – 15 tahun mendatang dan kebutuhan rata – rata setiap pemakai setelah ditambah 20-30% sebagai faktor kehilangan air (kebocoran). Kebutuhan total ini dipakai untuk mengecek apakah sumber air yang dipilih dapat memenuhi kebutuhan air baku yang direncanakan.

Kebutuhan Air Rata-rata Harian (Q_{rh}) adalah banyaknya air yang dibutuhkan selama satu hari

$$Q_{rh} = P * q \quad (3.1)$$

di mana : P = Jumlah penduduk (jiwa)

q = Kebutuhan air penduduk (ltr/detik)

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

1. Kebutuhan Air Harian Maksimum (Q_{hm}) adalah banyaknya air yang dibutuhkan terbesar pada satu hari

$$Q_{hm} = F_{hm} * Q_{rh} \quad (3.2)$$

di mana: F_{hm} = Faktor kebutuhan harian maksimum

Q_{rh} = Kebutuhan air rata – rata (lt/dt)

Q_{hm} = Kebutuhan air harian maksimum (lt/dt)

2. Kebutuhan Jam Puncak (Q_{jp}) adalah faktor perbandingan antara penggunaan air rata-rata hari maksimum sehingga diperoleh

$$Q_{jp} = F_{jp} * Q_{hm} \quad (3.3)$$

Di mana : Q_{jp} = Kebutuhan air pada jam puncak (lt/dt)

F_{jp} = Faktor kebutuhan jam puncak

Q_{hm} = Kebutuhan air harian maksimum (lt/dt)

3.5.4. Angka Pertumbuhan Penduduk

Angka pertumbuhan penduduk dalam prosen dapat digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk untuk beberapa tahun mendatang. Pada kenyataannya tidak selalu tetap tetapi perkiraan ini dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan volume kebutuhan air di masa yang akan datang.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk.

a. Metode *Geometrical Increase*

$$P_n = P_o (1 + I_g)^n \quad (3.4)$$

Di mana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa)

I_g = Prosentase pertumbuhan *geometrical* penduduk tiap tahun

n = Periode waktu yang ditinjau

b. Metode *Arithmetical Increase*

$$P_n = P_o + n I_a \quad (3.5)$$

$$I_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad (3.6)$$

Di mana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun proyeksi (jiwa)

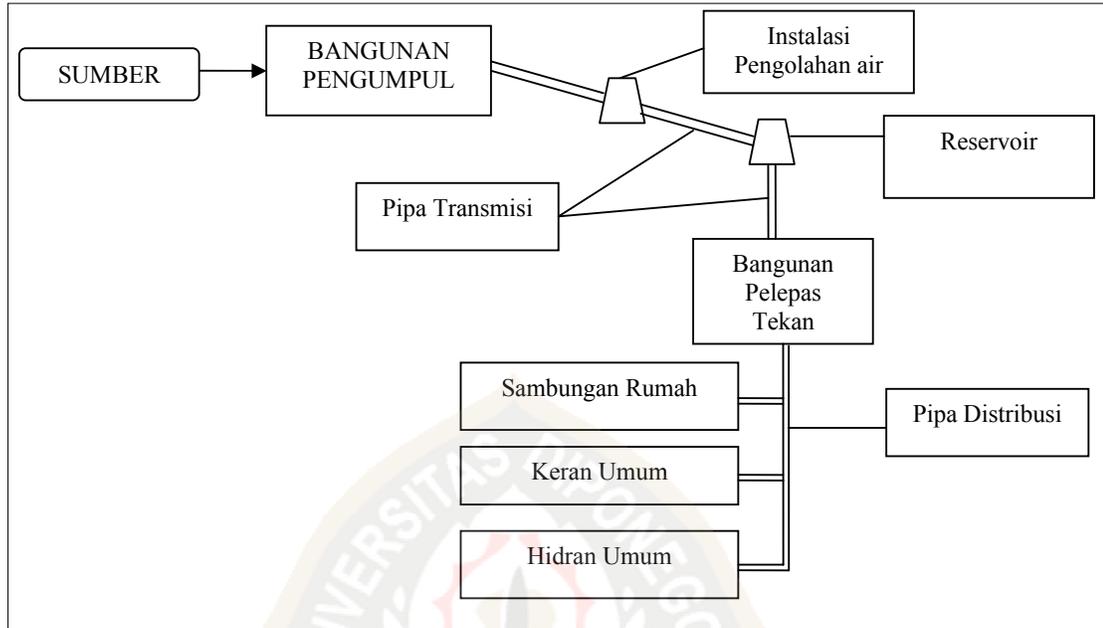
I_a = Angka pertumbuhan penduduk/tahun

n = Periode waktu yang ditinjau

P = Data jumlah penduduk pada awal tercatat (P_1) dan pada akhir tercatat (P_2) (jiwa)

n = Tahun saat awal data tercatat (t_1) dan tahun saat akhir data tercatat (t_2)

3.6. SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH



Gambar 3.5. Skema Penyediaan Air Bersih

3.6.1. Sistem Penyediaan Air Bersih Modern

Penyediaan air bersih modern meliputi :

1. Sumber-sumber air, sebagai penyedia kebutuhan air bersih. Sumber air dapat dibagi beberapa kelompok yaitu :
 - Sumber air permukaan
 - Sumber air tanah baik mata air maupun sumber air tanah yang perlu dipompa (air sumur).
2. Sarana-sarana penampungan dari sumber air.
Berupa bak penampung dan bak pengumpul
3. Sarana-sarana penyaluran, dari penampungan ke pengolahan air.
4. Sarana-sarana pengolahan.
Berupa bangunan penyadap air, bangunan pengendap pertama, bangunan pembubuh *koagulant*, bangunan pengaduk cepat, bangunan pembentuk *floc*, bangunan pengendap kedua dan saringan.
5. Sarana-sarana penampungan dari tempat pengolahan
6. Sarana-sarana distribusi, dari tempat penampungan.

3.6.2. Cara Penyediaan Air Baku

3.6.2.1. Sistem Individu

Penyediaan air baku sistem individu adalah sistem penyediaan air yang dilaksanakan oleh masyarakat secara individu dengan menggunakan cara-cara yang sederhana dan tingkat pelayanan kebutuhannya tergantung pada kualitas air yang dimiliki. Contoh dari sistem ini adalah penggunaan sumur dengan air yang digunakan untuk keperluan hidup rumah tangga. Sistem individu ini termasuk ke dalam sistem non perpipaan.

3.6.2.2. Sistem Komunitas

Penyedia air baku sistem komunitas yaitu sistem penyediaan air baku yang dilaksanakan untuk suatu komunitas di suatu wilayah dengan tingkat pelayanan secara menyeluruh untuk penduduk berdomisili tetap (domestik) dan tidak tetap (non domestik). Sistem komunitas memiliki sarana yang lebih lengkap ditinjau dari segi teknis dan dari segi tingkat pelayanan. Sistem komunitas ini termasuk ke dalam sistem perpipaan.

3.6.3. Bangunan Sumber Air Baku

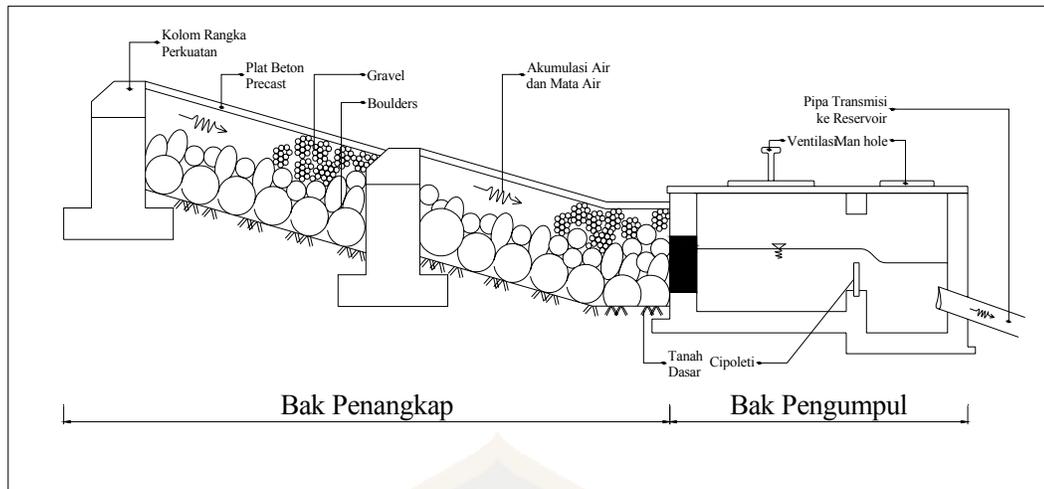
Bangunan sumber air baku merupakan unit bagian awal pada sistem penyediaan air bersih. Bangunan ini terdiri dari 2 bagian :

1. Bak Penangkap

Bak penangkap berfungsi sebagai tempat penangkap air yang keluar dari sumber air yang terbuat dari beton di mana pada bagian atas tertutup oleh pelat beton agar kebersihan air tetap terjaga. Mata air yang berada di dalam bak penangkap sehingga terjadi akumulasi air yang berasal dari beberapa sumber air.

2. Bak Pengumpul

Bak pengumpul berfungsi sebagai tempat penampungan air yang bersal dari bak penangkapan. Air dari bak penangkap disalurkan menuju bak pengumpul. Pada bak pengumpul terdapat pipa transmisi yang berfungsi untuk mengalirkan air menuju *reservoir* yang berada di kota.



Gambar 3.6. Bak Penangkap dan Pengumpul Sumber Air Baku

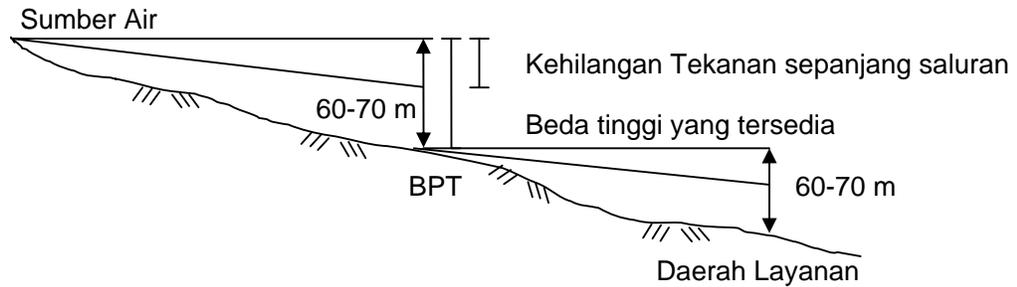
Kendala utama dalam penyediaan air bersih adalah memenuhi tinggi tekanan yang cukup pada titik terjauh, sehingga kadang ketersediaan air secara kontinyu menjadi terganggu. Maka untuk menjaga tekanan akhir pipa di seluruh daerah layanan, pada titik awal distribusi diperlukan tekanan yang lebih tinggi agar dapat mengimbangi kehilangan tekanan yang antara lain dipengaruhi oleh (Kamala, 1988) :

1. Ketinggian bangunan tertinggi yang harus dicapai oleh air.
2. Jarak titik awal distribusi dari reservoir.
3. Tekanan untuk hidran kebakaran yang dibutuhkan.

Pertimbangan-pertimbangan penting dalam merencanakan sistem transmisi dalam sistem penyediaan air bersih dengan sumber mata air antara lain:

1. Menentukan Bak Pelepas Tekan (BPT)

Sistem gravitasi diterapkan bila beda tinggi yang tersedia antara sumber air dan lokasi bangunan pengolahan mencukupi. Namun bila beda tinggi (tekanan) yang tersedia berlebihan maka memerlukan bangunan yang disebut bak pelepas tekan (BPT). Gambar 3.7 menggambarkan jaringan distribusi dengan BPT.



Gambar 3.7. Jaringan Transmisi dengan BPT
 Sumber : Peavy, 1985

Bak pelepas tekan dibuat untuk menghindari tekanan yang tinggi, sehingga tidak akan merusak sistem perpipaan yang ada. Idealnya bak ini dibuat bila maksimal mempunyai beda tinggi 60-70 m, namun kadang sampai beda tinggi 100 m tergantung dari kualitas pipa transmisinya. Bak ini dibuat di tempat di mana tekanan tertinggi mungkin terjadi atau pada stasiun penguat (*boaster pump*) sepanjang jalur pipa transmisi.

2. Menghitung panjang dan diameter pipa

Panjang pipa dihitung berdasarkan jarak dari bangunan pengolahan air ke reservoir induk, sedangkan diameter pipa ditentukan sesuai dengan debit hari maksimum. Diameter pipa minimal 10 cm untuk pipa transmisi. Ukuran diameter pipa disesuaikan dengan ukuran standar dan alasan secara ekonomi.

3. Jalur pipa

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

1. Kondisi topografi sepanjang jalur yang akan dilalui saluran transmisi, sedapat mungkin yang tidak banyak memerlukan bangunan perlindungan.

2. Panjang jalur antara lokasi sumber air dan lokasi yang dituju diusahakan sependek mungkin.
3. Kualitas tanah sepanjang jalur sehubungan dengan perlindungan saluran, misalnya perlindungan terhadap bahaya korosi.
4. Struktur tanah sehubungan dengan pemasangan saluran.
5. Pelaksanaan dan pemeliharaan dipilih yang semudah mungkin baik dalam konstruksi pelaksanaan maupun pemeliharannya.

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

1. Kedalaman galian
2. Kedalaman timbunan
3. Bentuk parit
4. Material timbunan
5. Material pendukung yang diperlukan baik untuk pemasangan pipa di bawah tanah maupun pipa yang terekspos di atas tanah
6. Kemiringan pipa yang dipasang.

3.6.4. Perlengkapan Sistem Transmisi

Perlengkapan yang ada pada sistem transmisi perpipaan air bersih antara lain *wash out*, berfungsi untuk penggelontor sedimen atau endapan yang ada pada pipa, *air valve*, berfungsi untuk mengurangi tekanan pada pipa sehingga pipa tidak pecah, *blow off*, *gate 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:

1. 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 diletakkan pada tempat-tempat di titik-titik yang tertinggi seperti jembatan pipa dan pada jalur utama yang berada pada topografi tertinggi.

2. Penguras

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

3. *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 biasa dipasang sebelum dan sesudah jembatan pipa, siphon, dan persimpangan jalan raya.

4. Perkakas (*fitting*)

Perkakas (*tee, bend, reducer, dan lain-lain*) 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 defleksi pada sambungan pipa tersebut masih sesuai dengan yang disyaratkan untuk jenis pipa tersebut.

5. *Thrust Block*

Dalam perencanaan jaringan distribusi, *thrust block* diperlukan pada pipa yang mengalami beban hidrolis yang tidak seimbang, misalnya pada pergantian diameter, akhir pipa dan belokan. Gaya-gaya ini akan menggeser jaringan pipa dan kedudukan semula, jika hal ini dibiarkan, lama-lama dapat merusak jaringan pipa dan sambungan-sambungannya.

Oleh karena itu gaya gaya tersebut harus ditahan dengan cara memasang *thrust block* pada sambungan pipanya, menjaga agar *fitting* tidak bergerak. Pada hakekatnya lebih praktis memasang *thrust block* setelah saluran ditimbun dengan tanah yang dipadatkan sehingga menjamin kemampuan menahan gaya hidrolis atau beban lainnya. *Thrust block* hendaknya dipasang pada sisi parit

untuk menahan gaya geser atau menggali sebuah lubang masuk kedalam dinding parit. Gaya-gaya yang dibebankan pada *thrust block* antara lain:

a. Tumpukan belokan

Selain harus dapat menahan gaya berat pipa dan isinya, juga harus dapat menahan gaya yang berasal dari perubahan momentum fluida yang membelok.

b. Tumpuan sebelum dan sesudah katup

Karena aliran zat cair menimbulkan gaya pada katup maka dapat diletakkan pipa dekat katup. Pipa di dekat katup harus dapat menahan berat pipa, berat katup, berat fluida dalam pipa dan katup serta gaya F yang ditimbulkan tekanan zat cair.

Tempat tempat kritis pada jaringan pipa yang memerlukan pemasangan *thrust block* adalah :

- Tempat di mana pipa berubah arah.
- Tempat di mana pipa berubah diameter.
- Tempat di mana pipa berakhir.
- Tempat di mana diperkirakan timbul gaya dorong, misalnya pada sambungan-sambungan, katup-katup.

6. Bangunan Perlintasan Pipa

Bangunan ini diperlukan bila jalur pipa harus memotong pipa untuk keamanan dan kelancaran pipa yang dikarenakan adanya lintasan kereta api, sungai, maupun kondisi tanah yang tidak rata. Bila melintasi rel kereta api, maka perencanaan dan pelaksanaan harus dikoordinasikan dengan Perusahaan Kereta Api. Bila melintasi sungai, konstruksi yang biasa digunakan ialah :

a. Pipa diletakkan pada jembatan (*Pipe Supported on Bridge*)

Konstruksi ini digunakan bila jembatan yang tersedia mendukung untuk jalur pipa. Bila jembatan eksisting tidak tersedia, maka harus dibangun jembatan pipa sendiri. Dalam hal ini air *valve thrust block, flexible joint* penting untuk dipasang.

b. Jembatan Pipa (*Pipe Beam Bridge*)

Bila rentangan jembatan kecil dan panjang pipa dapat merintangai sungai, maka pipa itu sendiri dapat digunakan sebagai jembatan. Hal ini harus

mendapat persetujuan dari kantor pemerintah yang bersangkutan. Hal penting yang harus diperhatikan :

- Sebaiknya menggunakan pipa baja.
- Pipa harus didukung pada struktur bagian atas pinggir sungai.
- Semua belokan pipa disarankan sudutnya lebih kecil dari 45° dan belokan harus dipasang *thrust block*.
- Tembok penahan diperlukan pada *upstream* dan *down stream* dari jembatan pipa. Serta dipasang pelindung pipa pagar agar pipa aman.
- Tempat pejalan kaki harus dibangun sepanjang jembatan pipa untuk pemeriksaan dan perbaikan.

7. Sambungan

Sambungan dan kelengkapan pipa yang sering digunakan untuk penyambungan pipa antara lain :

a. *bell and spigot*

Spigot dari suatu pipa dimasukkan kedalam suatu *bell (socket)* pipa lainnya. Untuk menghindari kebocoran, menahan pipa serta kemungkinan defleksi (sudut sambungan berubah), maka sambungan dilengkapi dengan gasket.

b. *Flange joint*.

Biasanya dipakai untuk pipa bertekanan tinggi, untuk sambungan yang dekat dengan instalasi pipa. sebelum kedua *flange* disatukan dengan mur baut maka antar flange disisipkan packing untk mencegah kebocoran.

c. *Ball joint*

Digunakan untuk sambungan dan pipa dalam air.

d. *Increaser dan reducer*

Increaser digunakan untuk menyambung pipa dari diameter kecil ke diameter besar (arah aliran dari diameter kecil ke besar). Reducer untuk menyambung dari diameter besar ke diameter kecil.

e. *Bend dan Tee*

Bend merupakan belokan dengan sudut belokan pipa sebesar 90° , 45° , $22,5^{\circ}$ dan $11,5^{\circ}$, sedangkan tee untuk menyambung pipa pada percabangan.

f. *Tapping Bend*

Dipasang pada pipa yang perlu disadap untuk dialihkan ke tempat lain. Dalam hal ini pipa distribusi dibor dan *tapping* dipasang dengan baut disekeliling dengan memeriksa agar cincin melingkar penuh pada sekeliling lubang dan tidak menutup lubang *tapping*. Apabila dimensi penyadapan terlalu besar, maka pipa distribusi dapat dipotong selanjutnya dipasang *tee* atau perlengkapan yang sesuai.

8. Tekanan dan kecepatan dalam pipa

Menurut Al-Layla (1978) tekanan dalam pipa distribusi sebaiknya berada diantara $1,8 \times 10^5 - 2,8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ (1,8 - 2,8 kg/cm^2). Sedangkan kecepatan dalam pipa distribusi sebaiknya berada dalam range 0,6 – 1,2 m/det (Al-Layla, 1978). Tekanan yang kurang mengakibatkan aliran air sampai ke konsumen tidak mengalir, sedangkan tekanan air yang berlebih dapat menimbulkan terjadinya pukulan air yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada alat-alat perpipaan (Morimura, 1984). Morimura (1984) juga menjelaskan kecepatan aliran air yang rendah dapat menyebabkan terjadinya pengendapan sedimen dalam pipa, menimbulkan efek korosi dalam pipa, sedangkan bila kecepatan aliran air yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya penggerusan pipa sehingga mempercepat usia pipa.

3.6.5. Pemilihan Material

Dalam pemilihan material dilakukan sesuai dengan kondisi jalur pipa transmisi dan distribusi serta topografi yang dilalui oleh jalur pipa tersebut. Dalam pemilihan material juga perlu dilakukan beberapa tinjauan diantaranya terhadap :

1. Topografi dan kondisi lapangan jalur pipa yang dilalui
2. Kualitas pipa
3. Struktur tanah
4. Diameter pipa
5. Tinjauan sambungan pipa dan perlengkapannya
6. Kemudahan dalam *handling* (penanganan) dan pemasangan
7. Biaya yang meliputi biaya material, *handling* dan pemasangan.

Karena sangat penting untuk memilih dan memasang pipa dengan tepat, sesuai dengan penggunaannya guna mengurangi pemborosan karena kerusakan-kerusakan jaringan pipa karena tekanan yang bekerja pada pipa (baik dari dalam maupun luar), tidak sesuai dengan kekuatannya dan pemasangan perlengkapan pipa yang tidak tepat/tidak sesuai dengan pipanya.

Demikian pula dalam pelaksanaan di lapangan masing-masing pipa harus dapat dikenal jenis dan kelas kekuatannya untuk menghindari kesalahan pemasangannya. Untuk memudahkan pengenalan pipa, maka pipa tersebut oleh pabrik pembuatnya membuat tiap-tiap pipa diberi tanda pengenal yang menjelaskan bahan pipa, diameter nominal pipa, kelas kekuatan pipa, dan lambang pabrik pembuatnya.

Pemilihan pipa didasarkan kepada hal-hal sebagai berikut :

1. Keamanan terhadap tekanan dari dalam dan luar. Tekanan dari dalam berasal dari tekanan hidrostatik dan pukulan air. Tekanan dari luar berasal dari tekanan roda (bila pipa tertanam atau beban lain misal pada jembatan pipa).
2. Pipa harus tahan terhadap kondisi tanah jika berada dalam tanah.
3. Jenis pipa harus sesuai dengan keadaan lapangan, misalnya di tempat ramai, di kota. Jika pemasangan pipa harus dapat dilaksanakan dengan cepat. Pemasangan yang cepat tergantung kepada jenis pipa
4. Air yang dialirkan harus aman dari bahan karat, sehingga pipa yang dipakai harus dari jenis yang tidak berkarat.

3.6.5.1. Jenis Pipa

Menurut Hammer (1975), Steel (1960), dan Birdi (1976) jenis-jenis pipa yang digunakan pada sistem transmisi dan distribusi adalah *cast iron*, baja (*steel*), beton (*concrete*), *asbestos cement* dan *plastic*.

1. Cast Iron Pipe (CIP)

Tersedia untuk panjang 3,7 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 (mencapai 100 th), kuat dan tahan lama, tahan korosi bila dilapisi, mudah disambung, dapat menahan tekanan tanpa mengalami kerusakan. Dan kekurangannya yaitu bagian dalam pipa lama-lama menjadi kasar sehingga kapasitas pengangkutan berkurang, pipa berdiameter besar tidak ekonomis, cenderung patah selama pengangkutan.

2. *Concrete Pipe*

Bisa digunakan jika tidak berada dalam tekanan dan kebocoran pada pipa tidak terlalu dipersoalkan diameter mencapai 610 mm, digunakan untuk diameter lebih besar dari 2,5 m dan bisa didesain untuk tekanan 30 mka (meter kolom air).

Kelebihan yaitu bagian dalam pipa halus dan kehilangan akibat friksi paling sedikit, tahan lama sekurangnya 75 tahun, tidak berkarat dan tidak terbentuk lapisan di dalamnya, biaya pemeliharaan murah. Dan kekurangannya adalah pipa berat dan sulit digunakan, cenderung patah selama pengangkutan, sulit diperbaiki.

3. *Steel Pipe*

Digunakan untuk memenuhi kebutuhan pipa yang berdiameter besar dan bertekanan tinggi. Pipa dibuat dengan ukuran dan diameter standar. Pipa ini kadang-kadang dilindungi dengan lapisan semen mortar.

Kelebihan dari pipa ini yaitu kuat, lebih ringan daripada CIP, mudah dipasang dan disambung, dapat menahan tekanan hingga 70 mka (meter kolom air). Sedangkan kekurangannya yaitu mudah rusak karena air yang asam atau basa, daya tahan hanya 25-50 tahun kecuali dilapis dengan bahan tertentu.

4. *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 (meter kolom air) tergantung kelas dan tipe pembuatan.

Kelebihannya adalah ringan dan mudah digunakan, tahan terhadap air yang asam dan basa, bagian dalamnya halus dan tahan terhadap korosi, tersedia untuk ukuran yang panjang sehingga sambungan lebih sedikit, dapat dipotong menjadi

berbagai ukuran panjang dan disambung seperti CIP. Kekurangannya adalah rapuh dan mudah patah, tidak dapat digunakan untuk tekanan tinggi.

5. *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 2 tipe :

- a. *Low Density Polythene Pipe* (LDP): lebih fleksibel, diameter mencapai 63 mm, untuk jalur pipa panjang dan tidak cocok untuk penyediaan air minum dalam gedung
- b. *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 berdiameter kecil, untuk jalur yang panjang. Pipa ini tidak memenuhi standar lingkungan yaitu jika terjadi kontak dengan bahan-bahan seperti organik, keton ester, alkohol dan sebagainya. Dalam permasalahan ini HDP lebih buruk daripada LDP.

6. *Polyvinyl Chloride Pipe (PVC /Unplasticed)*

Kekakuan tiga kali kekakuan pipa *polythene* biasa, lebih kuat dan dapat menahan tekanan tinggi. Sambungan lebih mudah dibuat dengan cara las. Tahan terhadap asam organik, alkali dan garam, senyawa organik serta korosi, banyak digunakan pada penyediaan air dingin di dalam/ di luar gedung, sistem pembuangan dan drainase bawah tanah, tersedia dalam ukuran yang bermacam-macam.

3.6.5.2. **Penanaman Pipa**

Perpipaan transmisi sedapat mungkin dipasang di dalam tanah. Hal ini untuk mengurangi kemungkinan rusaknya pipa secara fisik baik oleh tumbuhnya pohon atau kerusakan fisik lainnya. Kedalaman penanaman pipa dihitung dari permukaan tanah terhadap bagian atas pipa tergantung pada kondisi lapangan. Untuk kondisi lapangan biasa ditentukan 50 cm, sedang pipa yang dipasang di bawah jalan ditentukan 150 cm.

Tabel 3.8. Kedalaman Penanaman Pipa di Indonesia Tahun 2000

Kondisi Penanaman Pipa	Kedalaman (cm)
Kondisi biasa	80
Di bawah jalan : Biasa	100
Raya	120

Sumber : Departemen PU DJCK Direktorat Air Bersih,2000.

Perpipaan induk distribusi sedapat mungkin dipasang di dalam tanah. Kedalaman pipa minimum ditentukan 80 cm pada kondisi biasa dan 100 cm untuk di bawah jalan. Untuk kemudahan pemasangan dan pemeriksaan, perpipaan ini dipasang di sepanjang jalan yang diperlukan. Ketebalan penutup pipa sesuai kondisi lapangan dapat dilihat pada tabel 3.9 di bawah ini :

Tabel 3.9. Tebal Penutup Pipa di Indonesia tahun 2000

Kondisi	Tebal Penutup Pipa (cm)			
	Ø 50 mm	Ø 80 mm	Ø 100 mm	Ø 150 mm
Kondisi biasa	80	80	80	80
Di bawah jalan	100	100	100	100

Sumber : Departemen PU DJCK Direktorat Air Bersih,2000.

Bentuk galian / penanaman pipa ada 3 menurut lokasi penanaman :

1. Galian normal, galian yang terletak di bawah tanah pinggir jalan, jalan setapak atau jalan berbatu-batu dan trotoar
2. Galian di bawah jalan , galian yang terletak di bawah jalan aspal
3. Galian memotong jalan, galian yang memotong badan jalan.

3.6.6. Analisis Hidrolika

Dalam perencanaan sistem penyediaan air baku dan air bersih dengan perpipaan, analisis hidrolika terutama dimaksudkan untuk menentukan dimensi bangunan dan fasilitas yang direncanakan.

3.6.6.1. Prinsip Dasar Aliran Dalam pipa

Menurut Triatmojo (1995) aliran dalam pipa merupakan aliran tertutup di mana air kontak dengan seluruh penampang saluran. Jumlah aliran yang mengalir

melalui lintang aliran tiap satuan waktu disebut debit aliran, yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = A \times V \text{ (m}^2 \times \text{m/det} = \text{m}^3/\text{det} \text{)} \quad (3.7)$$

Di mana :

$$Q = \text{Debit aliran (m}^3/\text{det)}$$

$$A = \text{Luas penampang pipa (m}^2\text{)}$$

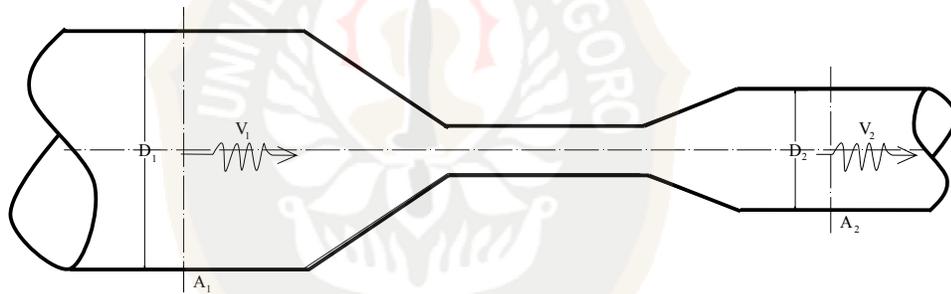
$$V = \text{Kecepatan aliran (m/det)}$$

a. Persamaan kontinuitas

Pada setiap aliran di mana tidak ada kebocoran maka untuk setiap penampang berlaku bahwa debit setiap potongan selalu sama.

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \text{ atau,} \quad (3.8)$$

$$Q = A \times V = \text{Konstan} \quad (3.9)$$

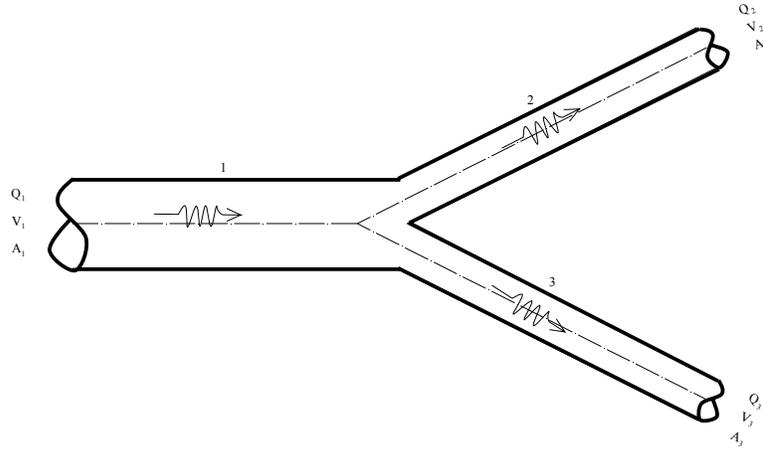


Gambar 3.8. Saluran Pipa Dengan Diameter Berbeda
Sumber : Triatmojo, (1995)

Menurut Triatmojo (1995) untuk pipa bercabang berdasarkan persamaan kontinuitas, debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut, yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \text{ atau,} \quad (3.10)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 + A_3 \times V_3 \quad (3.11)$$



Gambar 3.9. Persamaan Kontinuitas Pada Pipa Bercabang
 Sumber : Triatmojo, (1995)

b. Persamaan Bernoulli

Menurut Bernoulli Jumlah tinggi tempat, tinggi tekan dan tinggi kecepatan pada setiap titik dari aliran air selalu konstan. Persamaan Bernoulli dapat dipandang sebagai persamaan kekekalan energi mengingat, z = energi potensial zat cair tiap satuan berat

$$\frac{m \cdot g \cdot z}{m \cdot g} \approx z \quad (3.12)$$

$\frac{p}{\gamma} \approx$ Tenaga potensial tekanan zat cair tiap satuan berat

$$\frac{p \cdot v}{m \cdot g} \approx p \frac{m \cdot g}{\gamma} \approx \frac{F}{\gamma} \quad (3.13)$$

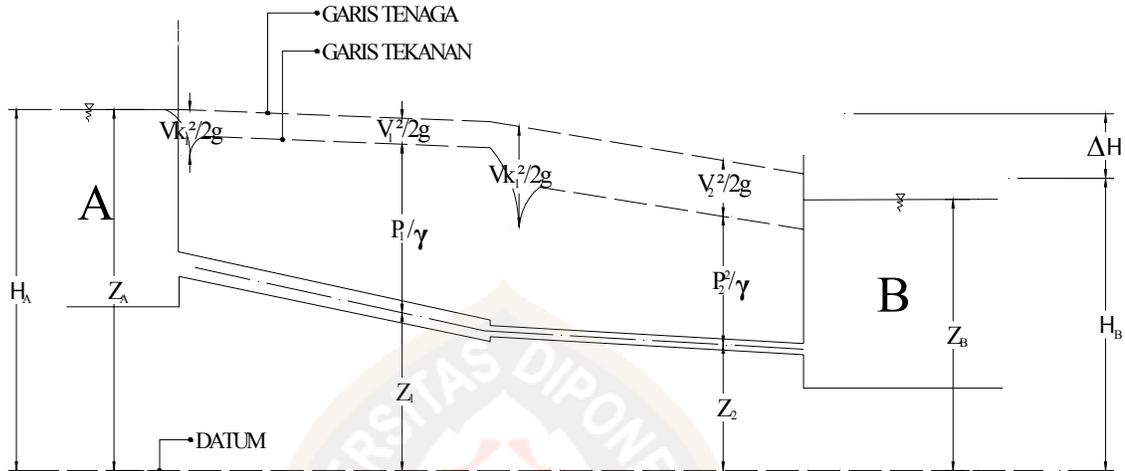
$\frac{v^2}{2g}$ = tenaga kinetik satuan berat

$$\frac{1/2 m \cdot v^2}{m \cdot g} \approx \frac{v^2}{2g} \quad (3.14)$$

Dengan neraca massa energi yang masuk sama dengan yang keluar energi di A = energi di B sehingga,

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (3.15)$$

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + \Delta H \quad (3.16)$$



Gambar 3.10. Garis energi dan garis tekanan
Sumber : Triatmojo, (1995)

c. Persamaan Hazen William

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \quad (3.17)$$

Di mana :

Q = debit aliran (m³/det)

C = Koefisien kekasaran

D = Diameter pipa (m)

S = Slope pipa = beda tinggi/panjang pipa (m/m)

Tabel 3.10. Nilai Koefisien C Hazen Williams

Jenis Pipa	Nilai C
1. New Cast Iron	130 – 140
2. Concrete or Concrete lined	120 – 140
3. Galvanized Iron	120
4. Plastic	140 – 150
5. Stell	140 – 150
6. Vetrivield Clay	110

Sumber : Epanet 2, User manual

3.6.6.2. Tekanan Air Dan Kecepatan Aliran

Jika tekanan air kurang, akan menyebabkan kesulitan dalam pemakaian air. Sedangkan tekanan air yang berlebih dapat menimbulkan rasa sakit karena terkena pancaran air, merusak peralatan plambing, dan menambah kemungkinan timbulnya pukulan air. Besarnya tekanan air yang baik pada suatu daerah bergantung pada persyaratan pemakai atau alat yang harus dilayani. Secara umum dapat dikatakan besarnya tekanan standard adalah $1,0 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan tekanan statik sebaiknya diusahakan antara $4,0 - 5,0 \text{ kg/cm}^2$ untuk perkantoran dan antara $2,5 - 3,5 \text{ kg/cm}^2$ untuk hotel dan perumahan. Di samping itu beberapa macam peralatan plambing tidak dapat berfungsi dengan baik kalau tekanan airnya kurang dari batas minimum.

Kecepatan aliran air yang terlampau tinggi akan dapat menambah kemungkinan timbulnya pukulan air, menimbulkan suara berisik dan kadang menyebabkan ausnya permukaan dalam pipa. Biasanya digunakan standard kecepatan antara $0,6-1,2 \text{ m/dt}$, dan batas maksimumnya antara $1,5 - 2,0 \text{ m/dt}$. Di lain pihak, kecepatan yang terlalu rendah ternyata dapat menimbulkan efek korosi, pengendapan kotoran yang mempengaruhi kualitas air (Morimura et al., 1999).

3.6.6.3. Kehilangan Tekanan (*Headloss*)

Macam kehilangan tekanan adalah:

1. *Major losses*, terjadi akibat gesekan air dengan dinding pipa. Menurut Atang, (1983), besarnya kehilangan tekanan karena gesekan dapat ditentukan dengan formula umum dari Darcy Weisbach, yaitu:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (3.18)$$

Dan :

$$Re = \frac{D \times V}{\nu} \quad (3.19)$$

Di mana :

h_f = kehilangan energi akibat gesekan (m)

f = faktor gesekan pada pipa

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

= 4xR (R= jari-jari hidrolis pipa)

V = kecepatan rencana (m/dt)

g = percepatan gravitasi (9.8 m/dt)

Re= bilangan Reynold

ν = kekentalan kinematik air (0.836×10^{-6} m²/dt)

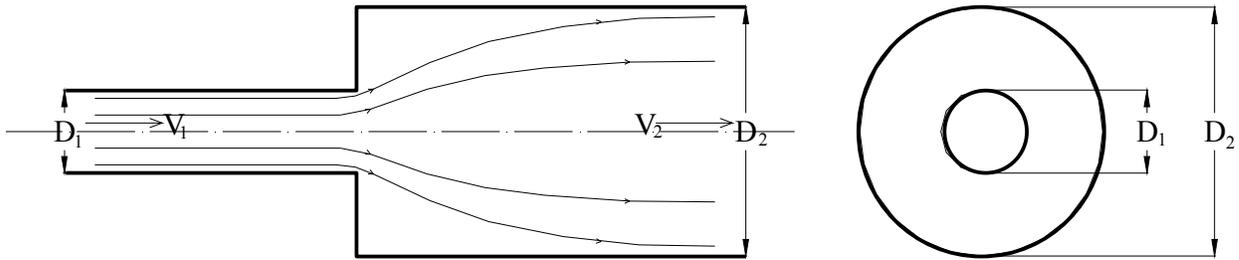
Tabel. 3.11. Kekentalan Kinematik Air (harga tabel x 10⁻⁶)

Suhu Air °C (°F)	Kekentalan Kinematik (m ² /dt)
4,4 (40)	1,550
10,0 (50)	1,311
15,6 (60)	1,130
21,1 (70)	0,984
26,7 (80)	0,864
32,2 (90)	0,767
37,8 (100)	0,687
43,3 (110)	0,620
48,9 (110)	0,567
65,6 (150)	0,441

Sumber : Hidrolika I, Bambang Triatmodjo, 1995

2. *Minor losses*, yaitu kehilangan tekanan yang terjadi dalam pipa karena perubahan bentuk bentuk aliran dan perubahan arah aliran. Kehilangan tekanan ini biasanya karena adanya *fitting* seperti terkelupasnya kulit pipa bagian yang berakibat pecahnya gelembung-gelembung air.

a. Kehilangan Energi akibat perbesaran penampang



Gambar 3.11. Perbesaran Pipa dan Tampang

Sumber : Triatmojo, (1995)

Besarnya kehilangan energi yang terjadi diberikan oleh persamaan berikut :

$$h_e = K' \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \quad (3.20)$$

Di mana :

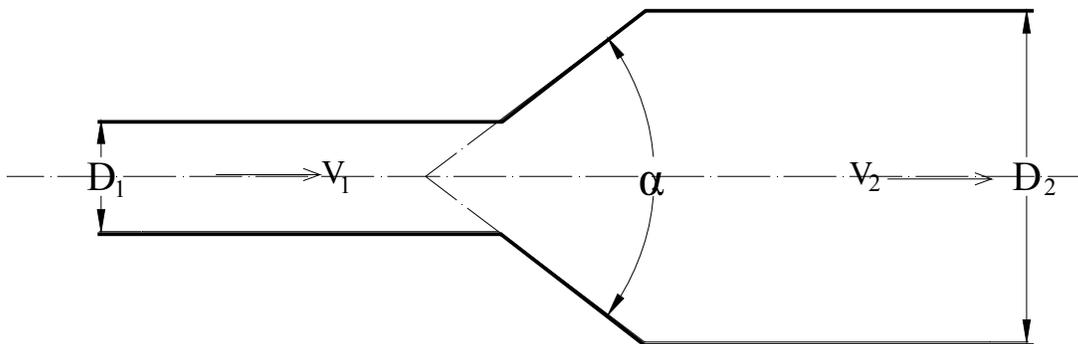
h_e = kehilangan energi akibat perbesaran penampang (m)

K' = koefisien perbesaran penampang yang besarnya tergantung pada sudut α

V_1 = kecepatan aliran pada pipa 1 (m/dt)

V_2 = kecepatan aliran pada pipa 2 (m.dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)



Gambar 3.12. Perbesaran Penampang Berangsur-angsur

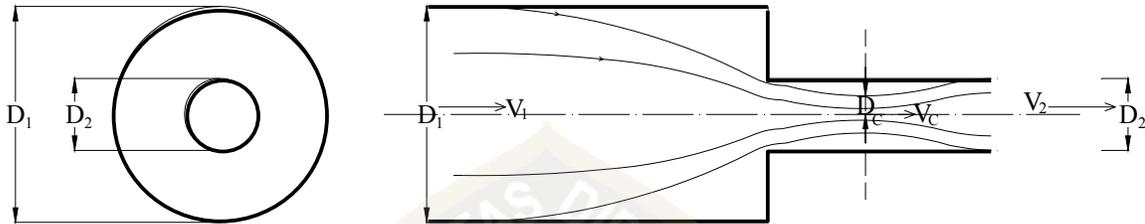
Sumber : Triatmojo, (1995)

Tabel 3.12. Nilai K' Sebagai Fungsi dari α

α	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
K'	0.078	0.31	0.49	0.6	0.67	0.72	0.72

Sumber : Hidrolika II, Bambang Triatmojo. 1995

b. Kehilangan Energi akibat penyempitan penampang



Gambar 3.13. Pengecilan Pipa dan Tampang

Sumber : Triatmojo, (1995)

Besarnya kehilangan energi diberikan oleh rumus berikut :

$$h_e = K'_c \times \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.21)$$

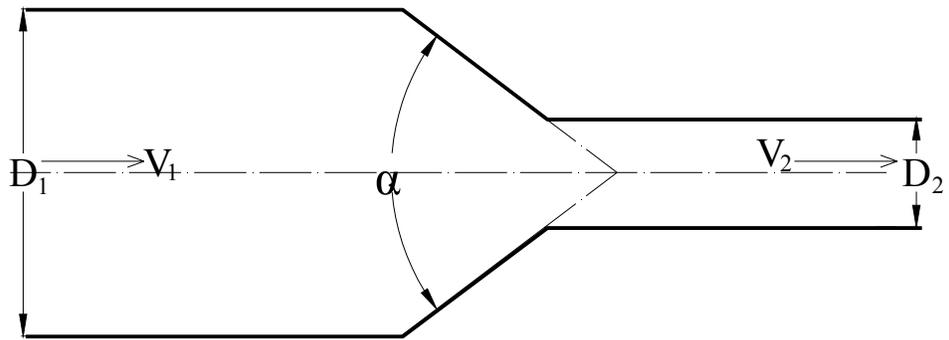
Di mana :

h_e = kehilangan energi akibat penyempitan penampang (m)

K'_c = koefisien penyempitan penampang yang besarnya tergantung pada sudut A_1/A_2 (dalam prakteknya K'_c diambil 0.5)

V_2 = kecepatan aliran pada pipa 2 (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)



Gambar 3.14. Pengecilan Penampang Berangsur-angsur

Sumber : Triatmojo, (1995)

c. Kehilangan Energi akibat belokan

Kehilangan energi yang terjadi pada belokan tergantung sudut belokan pipa

Kehilangan energi dicari dengan rumus :

$$h_b = K_b \times \frac{V^2}{2g} \quad (3.22)$$

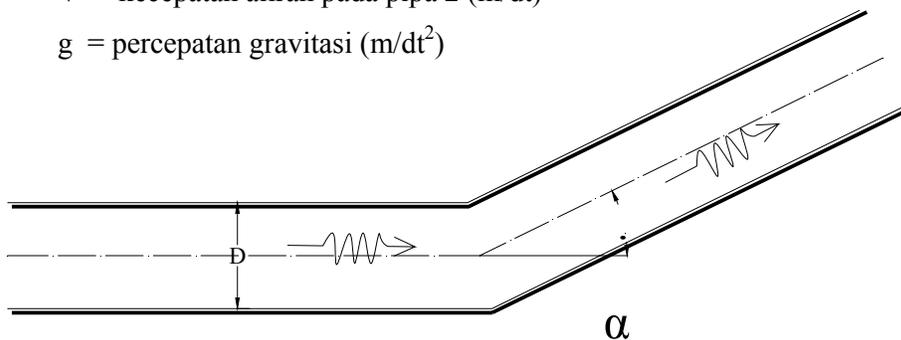
Di mana :

h_b = kehilangan energi akibat gesekan (m)

K_b = koefisien kehilangan energi pada belokan

V = kecepatan aliran pada pipa 2 (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)



Gambar 3.15. Belokan Pipa

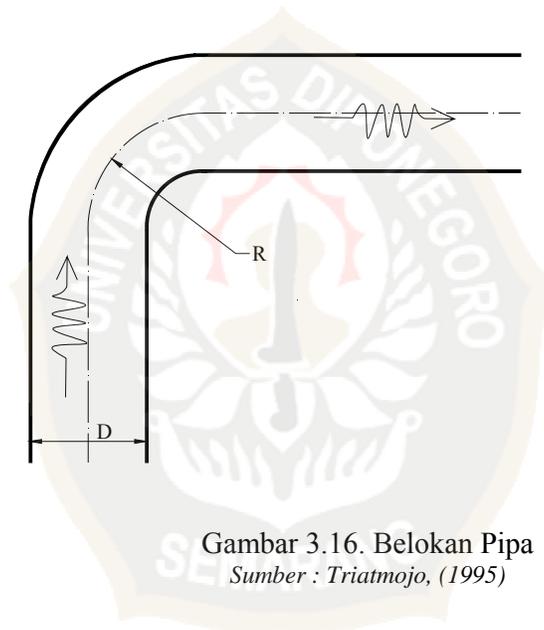
Sumber : Triatmojo, (1995)

Tabel 3.13. Nilai Koefisien K_b Sebagai Fungsi Sudut Belokan

α	20°	40°	60°	80°	90°
K_b	0.05	0.14	0.36	0.74	0.98

Sumber : Hidrolika II, Bambang Triatmojo. 1995

Untuk belokan 90° dan dengan belokan halus (berangsur-angsur), kehilangan energi tergantung pada perbandingan antara jari-jari belokan dan diameter pipa. Nilai K_b untuk berbagai nilai R/D diberikan dalam tabel 3.13.



Gambar 3.16. Belokan Pipa

Sumber : Triatmojo, (1995)

Tabel 3.14. Nilai K_b Sebagai Fungsi R/D

R/D	1	2	4	6	10	16	20
K_b	0.35	0.19	0.17	0.22	0.32	0.38	0.42

Sumber : Hidrolika II, Bambang Triatmojo. 1995

3.6.6.4. Kebocoran

3.6.6.4.1. Klasifikasi Kebocoran

Kebocoran atau kehilangan air dapat dibagi menjadi dua yaitu :

1. Kehilangan Air Tercatat

Kehilangan air tercatat merupakan sebagian besar dari salah satu rangkaian operasi dan pemeliharaan sistem penyediaan air minum seperti :

- a. Pengurasan bak pengendap, pencucian filter dan lain-lain dalam operasi pengolahan air
- b. Pengurasan pipa distribusi dan transmisi baik dalam pengetesan maupun operasional pelayanan
- c. Pengetesan *fire hydrant* secara berkala
- d. Keperluan pemadam kebakaran
- e. Kepeluan fasilitas keindahan kota
- f. Pemakaian air yang berlebihan oleh konsumen
- g. Penggunaan sosial lain

Kehilangan air tercatat ini biasanya dapat dicatat dengan memakai meter air atau membuat perkiraan besarnya pemakaian air. Kehilangan air tercatat biasanya berkisar 1-2%.

2. Kehilangan Air Tak Tercatat

Kehilangan air tak tercatat adalah kehilangan air yang dapat berupa kebocoran nyata dan kebocoran tidak nyata. Kebocoran nyata adalah kebocoran yang disebabkan oleh kebocoran pipa, dan perlengkapan, baik di pipa distribusi maupun di pipa konsumen yang dapat diteliti melalui *Leakage Abatement Program* . Kebocoran tidak nyata dapat berupa kebocoran yang disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

- a. Pencurian air
- b. Pembacaan meter yang tidak benar
- c. Akurasi meter air yang rendah
- d. Berputarbaliknya meter air yang disebabkan oleh kosongnya pipa sehingga angin masuk dari pipa konsumen ke pipa distribusi.

3. Jumlah kebocoran air yang diijinkan

Jumlah kebocoran air yang diijinkan menurut batas-batas efisiensi produksi dan ekonomi perusahaan dapat diperhitungkan seperti Tabel 3.15.

Tabel 3.15. Batasan Kebocoran Yang Diijinkan

Uraian	Jumlah Kebocoran Yang Diijinkan (%)
1. Kebocoran pada pipa sistem perpipaan, katup-katup dan lain-lain	5
2. Pemakaian air untuk operasi dan pemeliharaan sistem dan pelayanan sosial	2
3. Ketelitian meter air	3-5
4. Kebocoran pipa konsumen	3-5
Jumlah kebocoran yang diijinkan	15-17

Sumber : Ciriayasa Engineering Consultant (1994)

3.6.6.4.2. Faktor Penyebab Kebocoran

Kebocoran dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor teknis dan faktor non teknis. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing faktor penyebab kebocoran.

a. Faktor Teknis

- 1) Kerusakan pipa akibat korosi
- 2) Kerusakan pipa secara mekanis atau pengaruh luar
- 3) Sambungan pipa yang kurang baik
- 4) Akumulasi kebocoran air pada keran-keran langganan

Berdasarkan hasil penelitian di Amerika, tingkat kebocoran di konsumen adalah empat kali lebih besar dari kebocoran pipa distribusi.

b. Faktor Non Teknis

- 1) Kesalahan pembacaan meter air
- 2) Rendahnya disiplin petugas pembaca meter
- 3) Kurang tertibnya sistem administrasi perusahaan
- 4) Pemakaian sosial
- 5) Penyadapan liar
- 6) Pemborosan pemakaian air oleh konsumen

3.6.7. Reservoir

Menurut Fair et al. (1966) reservoir digunakan dalam sistem distribusi untuk menyeimbangkan debit pengaliran, mempertahankan tekanan, dan mengatasi keadaan darurat. Untuk optimasi penggunaan, reservoir harus diletakkan sedekat mungkin dengan pusat daerah pelayanan. Di kota besar, reservoir distribusi ditempatkan pada beberapa lokasi dalam daerah pelayanan. Reservoir distribusi juga digunakan untuk mengurangi variasi tekanan dalam sistem distribusi.

Menurut Sarwoko (1985) ada beberapa macam reservoir yang biasa digunakan dalam distribusi air minum :

1. Menurut Penempatannya, reservoir terdiri atas :
 - a) *Ground* Reservoir, yaitu reservoir yang diletakkan dalam tanah. Reservoir ini harus kuat terhadap tekanan tanah sekitar dan tekanan bangunan yang berada di atasnya.
 - b) *Elevated* Reservoir, yaitu reservoir yang berada di atas ketinggian tanah. Reservoir ini mempunyai *head* atau tekanan untuk mengalirkan air ke tempat yang berada di bawahnya secara gravitasi.
2. Menurut operasi dan fungsinya, reservoir terdiri atas :
 - a) *Equalizing* Reservoir, air dipompakan ke *elevated* reservoir dan jaringan distribusi. Air bergerak ke *elevated* reservoir ketika pemakaian air sedikit atau tidak ada pemakaian sama sekali dan air bergerak ke *elevated* reservoir bersamaan dengan pemompaan menuju area pelayanan.
 - b) *Distribution* Reservoir, air dipompakan langsung ke *elevated* reservoir dan dari sini air mengalir secara gravitasi menuju area pelayanan. Reservoir tersebut biasanya digunakan dan meratakan tekanan pada sistem distribusi.

Penentuan kapasitas reservoir ada 2 (dua) macam, yaitu (Trifunafic,1999) :

1. Metode Analitis

Pemakaian air ditunjukkan dengan prosentase kebutuhan harian maksimum. Aliran masuk (*inflow*) dibatasi selama 10 jam, misal

dari puncak 08.00 sampai 18.00, yang juga ditunjukkan dengan prosentase kebutuhan harian. Akumulasi selisih pemakaian dengan aliran masuk dihitung. Kapasitas tangki merupakan penjumlahan dari kelebihan maksimum pada pagi hari dan kekurangan minimum pada sore hari. Sebagai tambahan, persediaan untuk hidran kebakaran dan kebocoran dalam pipa harus ditentukan. Kuantitas air untuk terjadinya kebocoran sekitar 10 % dari jumlah konsumsi air dan hidran kebakaran

2. Metode Grafik

- a) Menghitung akumulasi pemakaian air terhadap waktu
- b) Menggambar garis lurus dari awal periode pemompaan hingga akhir, menunjukkan *supply* atau *inflow*. Jumlah elevasi yang diindikasikan oleh ordinat y_1 dan y_2 diantara kurva pemakaian air dan *inflow* menunjukkan kapasitas penyimpanan. Kuantitas air dalam reservoir distribusi tiap waktu sepanjang hari ditentukan dan di plot ordinat antara pemakaian air dan garis *inflow* pemompaan, sehingga ditentukan level air dalam reservoir.

3.6.8. Jaringan Distribusi

Dalam distribusi pada daerah pemukiman yang digunakan adalah sistem jaringan pipa. Ada 3 (tiga) metode dalam jaringan pipa yaitu :

1. Sistem Cabang

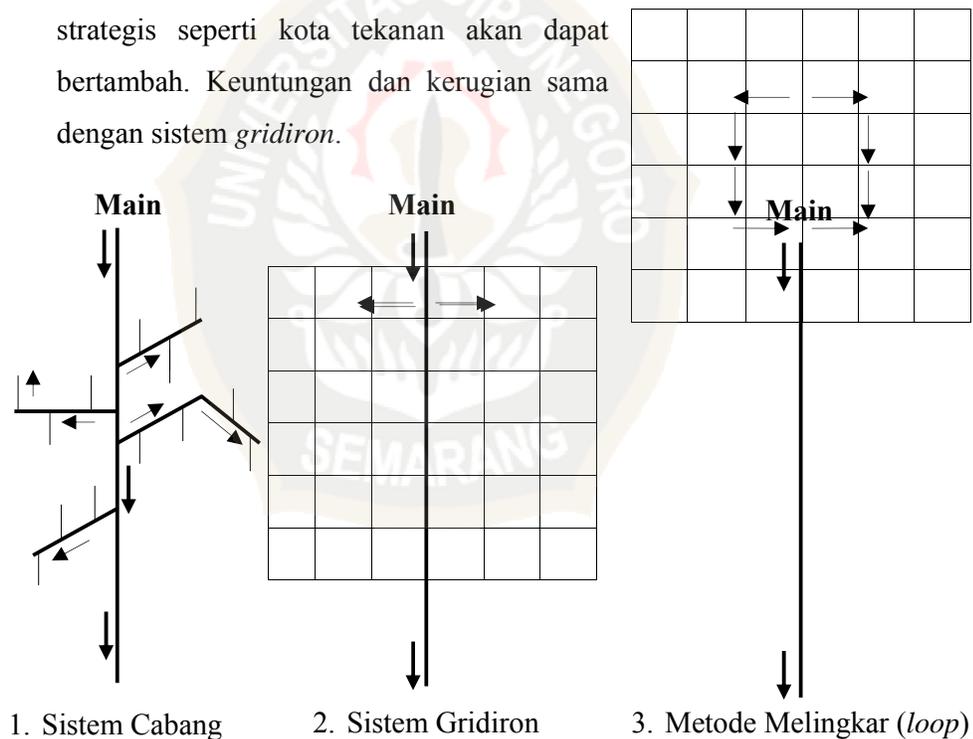
Sistem ini seperti cabang pada pohon dengan pipa utama, pipa sekunder yang dihubungkan dengan gedung. Untuk pelayanan aliran untuk setiap pipa sama dan daerah pelayanan menggunakan satu pipa. Keuntungannya adalah jaringan cukup sederhana dalam metode distribusi air, mudah desainnya dan lebih ekonomis. Sedangkan kelemahannya adalah terjadi sedimentasi pada pipa ujung yang dapat mempengaruhi kualitas air daerah pelayanan tidak akan dapat terlayani jika terjadi perbaikan jaringan pipa.

2. Sistem *Gridiron*

Metode ini semua pipa tersambung dan tidak ada yang terputus pada ujungnya. Air dapat menjangkau seluruh tempat. Keuntungannya adalah air akan mengalir dengan bebas ke setiap cabang dan aliran tidak akan diam, dalam proses perbaikan pipa aliran akan tetap berjalan dengan melalui saluran yang lain, kerugian dapat diminimalisir karena konsumsi air yang besar. Kerugiannya adalah perhitungan dimensi pipa lebih sulit dan ada penambahan pipa dan aksesoris.

3. Metode Melingkar (*loop*)

Menurut Al-Layla et al (1977) sistem *loop* dapat menambah tekanan pada daerah pelayanan. Pada daerah yang strategis seperti kota tekanan akan dapat bertambah. Keuntungan dan kerugian sama dengan sistem *gridiron*.



Di mana :

————— : Saluran utama (primer)

————— : Saluran cabang (sekunder)

Gambar 3.17. Sistem Jaringan Pipa

Sumber : Al-Layla et al, 1977

3.6.9. Bangunan Penyadap

Untuk sumber air yang kualitas airnya kurang memenuhi syarat diperlukan adanya suatu sistem pengolahan air bersih sebelum siap dikonsumsi.

3.6.9.1. Bangunan Penyadap Terbuka

Bangunan penyadap dalam bentuk yang paling sederhana ini terbuat dari konstruksi batu kali atau beton. Bangunan ini berbentuk saluran pembagi aliran dan biasanya dipakai untuk menyadap air dari sungai. Saluran ini dilengkapi dengan pintu sorong yang apabila dibuka, maka air akan masuk ke saluran yang akan membawa air yang disadap ke unit pengolahan air.

3.6.9.2. Bangunan Penyadap Standar (*Increned Outled Conduite*)

Bangunan penyadap standar adalah bangunan penyadap yang bagian pengaturnya terdiri dari terowongan miring yang berlubang-lubang dan bersandar pada tebing sungai. Untuk itu dibutuhkan pondasi batuan atau pondasi yang terdiri dari lapisan yang cukup kokoh, agar dapat dihindari kemungkinan keruntuhan pada konstruksi sandaran. Untuk menghindari kelongsoran pada konstruksi tersebut maka pembuatan penyangga dapat dilakukan pada tiap-tiap jarak 5 m sampai 10 m. Selain itu sudut kemiringan pondasi sandaran tidak lebih dari 60°.

3.6.10. Pompa Distribusi

Pompa merupakan alat yang digunakan untuk mengalirkan air ke elevasi yang lebih tinggi atau elevasi yang sama. Ada banyak jenis pompa yang digunakan dalam distribusi air minum. Dan untuk memudahkan dalam mengenalnya, pompa diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Sesuai penerapan dalam sistem pemompaan

- a. *Low Lift Pump*

Pompa ini menaikkan air dari sungai atau sumber lain dan membawanya ke unit pengolahan terdekat. Biasanya pompa jenis ini mempunyai tekanan *discharge* yang kecil dan kapasitas besar.

b. *High Lift Pump*

Pompa ini menaikan air dari unit pengolahan ke sistem transmisi dan distribusi. Pompa jenis ini mempunyai tekanan atau *head* yang lebih besar.

2. Sesuai prinsip mekanik pompa dalam beroperasi

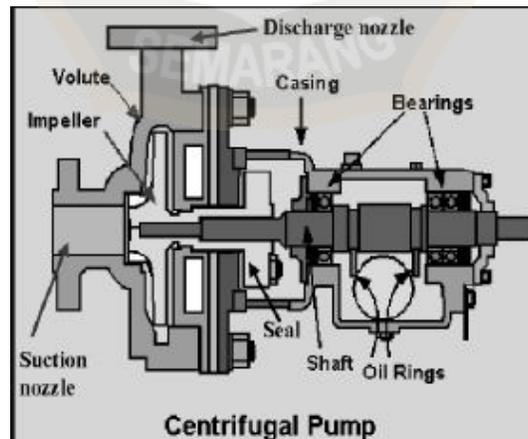
a. *Positive Displacement*

Pompa jenis ini membawa air dengan kuantitas yang tetap. Kapasitas pompa tidak dipengaruhi oleh tekanan dalam sistem dimana pompa beroperasi.

b. *Centrifugal Pump*

Pompa jenis ini paling banyak digunakan dalam sistem distribusi air minum. Kapasitas pompa merupakan fungsi dari tekanan dimana pompa tersebut beroperasi dalam sistem. Pompa sentrifugal ini menambah energi ke air dengan percepatannya melalui perputaran secara cepat.

Kapasitas pompa merupakan volume cairan yang dipindahkan oleh pompa per satuan waktu yang biasanya dinyatakan dalam liter/detik atau $m^3/detik$. *Head* merupakan elevasi permukaan air bebas diatas atau dibawah datum.



Gambar.3.18. Pompa Sentrifugal

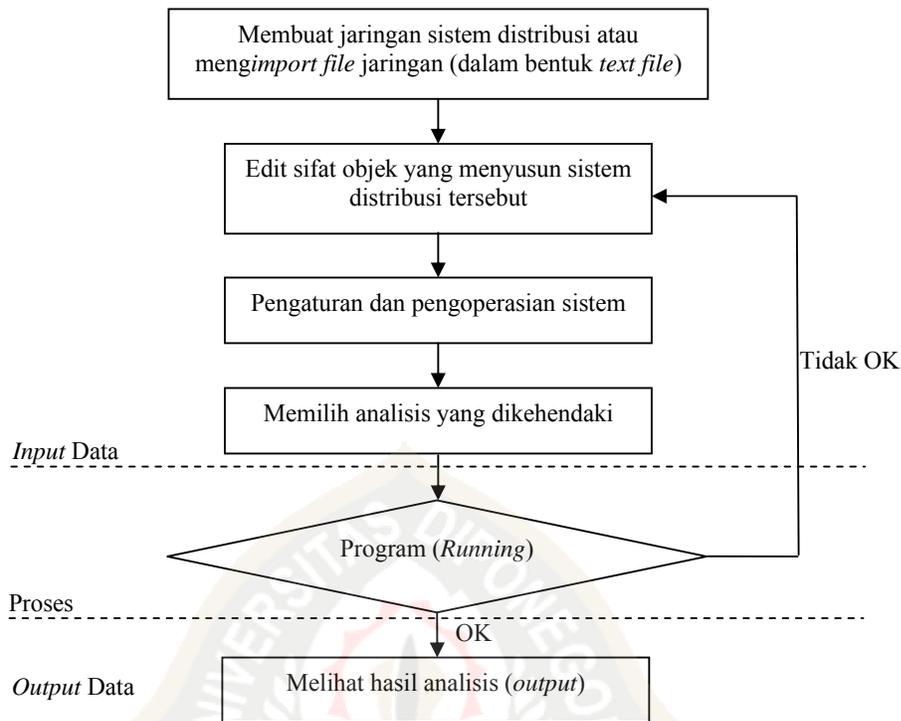
Sumber : UNEP, 2006

3.7. EPANET

EPANET adalah program komputer yang secara luas melakukan periode simulasi dari hidrolika dan kualitas air dalam jaringan pipa bertekanan. Jaringan tersebut dapat terdiri dari pipa, titik (persimpangan pipa), pompa, katup, dan tangki penyimpanan atau reservoir. EPANET menjalankan aliran air dalam tiap pipa tekanan dari tiap titik, ketinggian air dari tiap tangki dan konsentrasi suatu zat sepanjang jaringan selama beberapa waktu periode simulasi. Dalam penambahan konsentrasi zat, umur air dan jaringan tambahan dapat juga disimulasikan.

EPANET dibuat sebagai alat penelitian untuk memperbaiki keingintahuan kita tentang gerakan dan kondisi dari pemilihan air minum dalam sistem distribusi. Modul tentang kualitas air dari EPANET adalah memperlengkapi untuk modul seperti fenomena reaksi dalam aliran turbulensi, reaksi dalam dinding pipa dan transportasi massa diantara bagian aliran terbesar dalam dinding pipa.

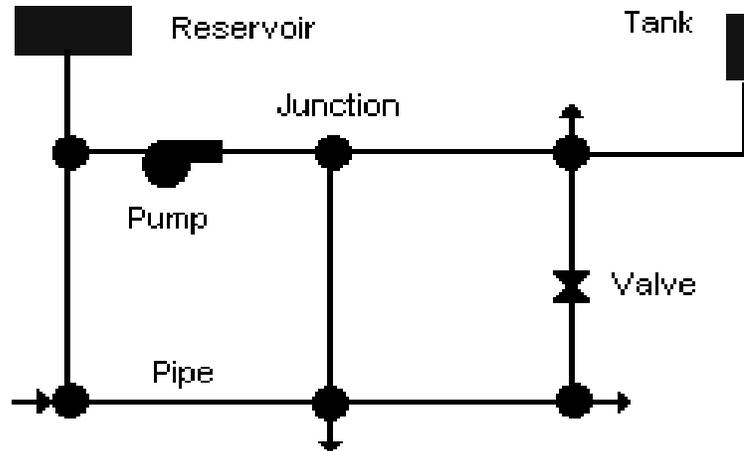
Keistimewaan yang lain dari EPANET adalah pendekatan koordinat untuk memodelkan jaringan air dan kualitas air. Program dapat menghitung penyelesaian secara bersama untuk dua kondisi bersamaan. Alternatif ini hanya dapat menghitung jaringan air dan menyimpan hasilnya dalam sebuah *file*.



Gambar 3.19. Flowchart Pengoperasian EPANET

Langkah-langkah untuk menjalankan program EPANET adalah :

1. Membuat jaringan sistem distribusi atau mengimport file jaringan (dalam bentuk *text file*). Maksudnya adalah dalam tampilan *windows* EPANET dapat dibuat skema jaringan pendistribusian yang dikehendaki maupun dapat dilakukan dengan mengambil jaringan yang sudah ada (tersimpan dalam format/program lain) misalnya *Computer Aided Drawing (CAD)* atau *Geography Information System (GIS)*.



Gambar.3.20. Komponen fisik dalam sistem distribusi air
 Sumber : Epanet 2, User manual

2. Mengedit sifat objek atau komponen fisik yang terlihat dalam sistem distribusi. Yang termasuk komponen fisik dalam sistem distribusinya diantaranya :

- *Junctions* adalah titik-titik yang merupakan tempat penyambungan antar *links* (pipa, pompa, dan katup) sekaligus penanda masuk maupun keluarnya air dalam jaringan distribusi dengan format *input* pada *junction* seperti terlihat pada Gambar 3.22.

Property	Value
*Junction ID	2
X-Coordinate	528.46
Y-Coordinate	7276.42
Description	
Tag	
*Elevation	700
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	

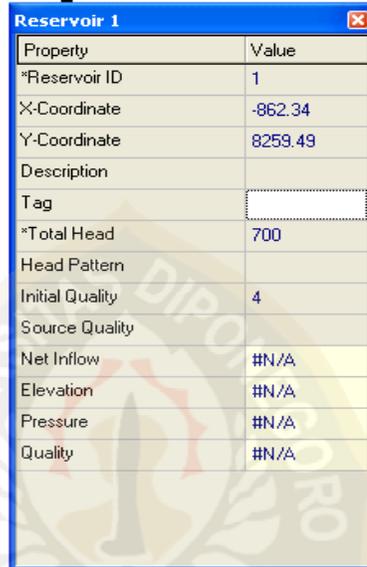
Gambar 3.21. *Junction Editor*
 Sumber : Epanet 2, User manual

Mengenai keterangan istilah (*property*) pada kotak input di atas dijelaskan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16. *Junctions Property*

Property	Penjelasan
Identitas <i>Junctions/Node</i> (ID)	Label penanda <i>junction</i> . Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar <i>node</i> satu dengan lainnya.
X-Koordinat	Lokasi dalam arah horisontal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Y-Koordinat	Lokasi dalam arah vertikal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan dipakai untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Elevasi	Ketinggian dalam kaki atau meter diukur dari datum tertentu (biasanya MSL).
Kebutuhan Dasar	Kebutuhan nominal atau rata-rata air yang diambil dinyatakan dalam satuan debit.
Pola Kebutuhan	Label pola waktu dipakai untuk mengetahui keragaman kebutuhan air.
Kategori Kebutuhan	Untuk menandai termasuk dalam kebutuhan domestik atau nondomestik dari kebutuhan yang dimasukkan dalam input tersebut.
<i>Emitter Coefficient</i>	Koefisien debit pada <i>emitter</i> (<i>sprinkler</i> atau <i>nozzle</i>) dalam <i>node</i> .
Kualitas Awal	Tingkat kualitas air pada <i>node</i> saat periode simulasi dimulai.
Sumber Kualitas	Kualitas air yang memasuki jaringan distribusi.

- *Reservoir* merupakan titik yang mewakili sumber luar tak hingga atau cekungan air dalam jaringan distribusi misalnya di danau, sungai, dan *akuifer* tanah. Dengan format *input* dan *property* dari *reservoir* terdapat pada Gambar 3.22 serta Tabel 3.17.



Gambar 3.22. *Reservoir Editor*
 Sumber : *Epanet 2, User manual*

Tabel 3.17. *Reservoir's Property*

Property	Penjelasan
Identitas <i>Reservoir</i> (ID)	Label penanda <i>reservoir</i> . Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar <i>reservoir</i> satu dengan lainnya.
X-Koordinat	Lokasi dalam arah horisontal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Y-Koordinat	Lokasi dalam arah vertikal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan dipakai untuk menandai <i>reservoir</i> sebagai kategori tertentu misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
<i>Total Head</i>	Tinggi hidrolik (elevasi + tinggi tekan) air pada <i>reservoir</i> yang dinyatakan dalam satuan panjang/ketinggian.

Property	Penjelasan
<i>Head Patern</i>	Label pola waktu yang digunakan untuk memodelkan <i>head</i> pada <i>reservoir</i> .
Kualitas Awal	Tingkat kualitas air pada <i>node</i> saat periode simulasi dimulai.
Sumber Kualitas	Kualitas air yang memasuki jaringan distribusi.

- *Tank* merupakan *node* dengan kapasitas tampungan yang dapat beragam selama waktu simulasi (*running*). Dengan tampilan/format inputnya pada Gambar 3.23 serta penjelasannya mengenai *property* pada Tabel 3.18.

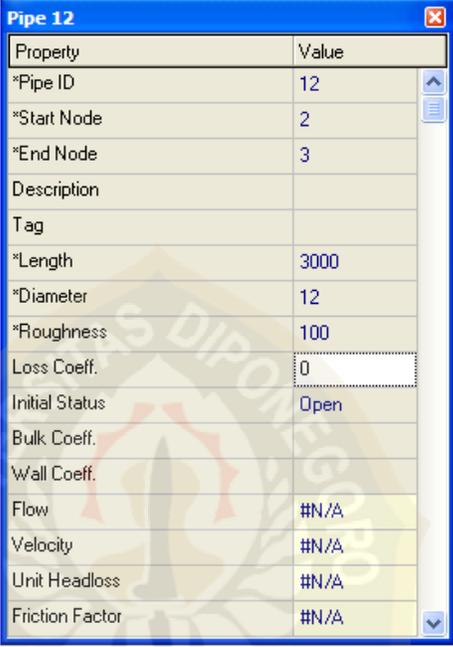
Property	Value
*Tank ID	8
X-Coordinate	4533.23
Y-Coordinate	8259.49
Description	
Tag	
*Elevation	830
*Initial Level	10
*Minimum Level	0
*Maximum Level	20
*Diameter	50
Minimum Volume	
Volume Curve	
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	
Reaction Coeff.	
Initial Quality	

Gambar 3.23. *Tank Editor*
 Sumber : *Epanet 2, User manual*

Tabel 3.18. *Tank's Property*

Property	Penjelasan
Identitas <i>Tank</i> (ID)	Label penanda <i>tank</i> . Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar <i>tank</i> satu dengan lainnya.
X-Koordinat	Lokasi dalam arah horisontal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Y-Koordinat	Lokasi dalam arah vertikal pada peta/ <i>network</i> (satuan jarak).
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan dipakai untuk menandai <i>tank</i> sebagai kategori tertentu misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Elevasi	Ketinggian dalam kaki atau meter diukur dari datum tertentu (biasanya MSL).
<i>Initial Level</i>	Kedalaman air (satuan panjang) di atas dasar <i>tank</i> saat awal simulasi.
<i>Minimum Level</i>	Kedalaman minimum (satuan panjang) air di atas dasar <i>tank</i> .
<i>Maximum Level</i>	Kedalaman maximum (satuan panjang) air di atas dasar bak.
Diameter	Diameter <i>tank</i> (satuan panjang).
Volume Minimum	Volume saat kedalaman air pada kondisi <i>minimum level</i> (satuan volume).
Kurva Volume	Label untuk menyatakan hubungan volume <i>tank</i> dan kedalaman air.
<i>Mixing model</i>	Jenis pencampuran mutu air yang terjadi dalam <i>tank</i> .
Pemisahan pencampuran	Pemisahan volume total <i>tank</i> yang terdiri dari ruang <i>inlet-outlet</i> pada pilihan <i>mixing model</i> bila ditentukan <i>two-component</i> .
Property	Penjelasan
Koefisien Reaksi	Koefisien reaksi terpenting dalam <i>tank</i> .
Kualitas Awal	Tingkat kualitas air pada <i>tank</i> saat periode simulasi dimulai.
Sumber Kualitas	Kualitas air yang memasuki jaringan distribusi.

- Pipa merupakan penghubung yang membawa air dari satu titik ke titik lainnya dalam jaringan distribusi. Mengenai format *input* serta penjelasannya pada Gambar 3.24 dan Tabel 3.19.



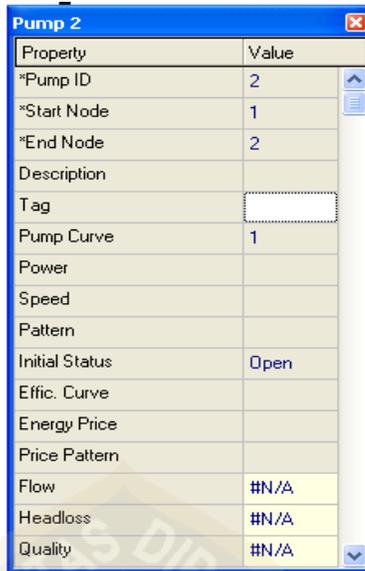
Property	Value
*Pipe ID	12
*Start Node	2
*End Node	3
Description	
Tag	
*Length	3000
*Diameter	12
*Roughness	100
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Unit Headloss	#N/A
Friction Factor	#N/A

Gambar 3.24. *Pipe Editor*
 Sumber : Epanet 2, User manual

Tabel 3.19. *Pipe's Property*

Property	Penjelasan
Identitas Pipa (ID)	Label penanda pipa. Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar pipa satu dengan lainnya.
Ujung Awal	ID dimana pipa berawal.
Ujung Akhir	ID dimana pipa berakhir.
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
<i>Tag</i>	Keterangan tambahan dipakai untuk menandai <i>node</i> sebagai kategori tertentu misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Panjang	Panjang aktual pipa (satuan panjang).
Diameter	Ukuran diameter pipa (satuan panjang).
Angka kekasaran	Koefisien kekasaran dari pipa.
Koefisien Kehilangan	Koefisien kehilangan (<i>minor loss</i>) pada <i>bend, fitting</i> .
Keadaan awal	Menentukan apakah pipa pada kondisi terbuka, tertutup atau terdiri dari <i>check valve</i> .
<i>Bulk Coefficient</i>	Koefisien reaksi <i>bulk</i> pada pipa.
<i>Wall Coefficient</i>	Koefisien reaksi dinding pada pipa.

- Pompa merupakan penghubung yang memberi ke fluida (air) sehingga fluida tersebut bertambah nilai tinggi hidroliknya (*hydraulic head*). Dengan format *input* dan penjelasannya pada Gambar 3.25 serta Tabel 3.20.



Gambar 3.25. *Pump Editor*
 Sumber : Epanet 2, User manual

Tabel 3.20. *Pump's Property*

Property	Penjelasan
Identitas Pompa (ID)	Label penanda pompa. Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar pompa satu dengan lainnya.
Ujung awal	ID pompa berawal.
Ujung akhir	ID pompa berakhir.
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
Tag	Keterangan tambahan dipakai untuk menandai pompa sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Kurva pompa	Label yang menyatakan hubungan antara <i>head</i> (satuan panjang) dengan <i>flow</i> (satuan debit).
Daya	Daya yang dapat disediakan oleh pompa (satuan daya hp/kw).
Kecepatan	Pengaturan kecepatan relatif pada pompa,
Keadaan awal	Menentukan apakah pompa pada kondisi terbuka, tertutup saat awal simulasi.
Kurva efisiensi	Label yang menyatakan efisiensi pompa (dalam %) terhadap laju aliran (<i>flow</i>), pengisian <i>property</i> ini diperlukan bilamana ingin dihitung penggunaan energi.

Property	Penjelasan
<i>Energy price</i>	Harga rata-rata energi dalam uang.
<i>Price patern</i>	Label pola waktu (<i>time patern</i>) dipakai untuk menyatakan keragaman harga energi tiap hari.

- Katup merupakan penghubung yang membatasi tekanan atau aliran pada titik tertentu dalam jaringan distribusi. Dengan format *input* serta penjelasannya pada Gambar 3.26 dan Tabel 3.21.

Property	Value
*Valve ID	1
*Start Node	2
*End Node	4
Description	
Tag	
*Diameter	12
*Type	PRV
*Setting	0
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None
Flow	0.00
Velocity	0.00
Headloss	0.00
Quality	0.00
Status	Closed

Gambar 3.26. *Valve Editor*
 Sumber : *Epanet 2, User manual*

Tabel 3.21. *Valve's Property*

Property	Penjelasan
Identitas Katup (ID)	Label penanda katup. Yang pada program dibatasi hingga 15 bilangan atau karakter serta tidak diperbolehkan memiliki identitas yang sama antar katup satu dengan lainnya.
Ujung awal	ID katup berawal.
Ujung akhir	ID katup berakhir.
Deskripsi	Keterangan tambahan yang diperlukan.
Tag	Keterangan tambahan dipakai untuk menandai katup sebagai kategori tertentu, misalnya sebagai kawasan tekanan tertentu.
Diamater	Ukuran diameter katup (satuan panjang).
Jenis	Jenis katup yang digunakan, didasarkan pada tujuan yang diinginkan (tipe PRV, PSV, PBV, FVC, TCV, atau GPV).
Setting	Parameter <i>setting</i> disesuaikan dengan tipe katup yang dipasang : Tipe <i>Setting</i> PRV tekanan (satuan tekanan/tinggi kolom air) PSV tekanan (satuan tekanan/tinggi kolom air) PBV tekanan (satuan tekanan/tinggi kolom air) FCV debit alir (satuan debit) TCV koefisien kehilangan energi GPV label kurva kehilangan energi
Koefisien kehilangan	Koefisien kehilangan kecil diterapkan ketika katup terbuka penuh.
<i>Fixed status</i>	Keadaan katup saat awal simulasi

3. Pengaturan dan pengoperasian sistem lebih ditekankan sebagai *editing* pada komponen yang tidak nampak dalam sistem (*non-visual component*), terdiri atas :
 - *Curve editor* ditujukan untuk mengatur bagaimana *link* (pompa) maupun *node* bekerja sesuai dengan standar atau keadaan yang dikehendaki. *Curve editor* diantaranya hubungan tinggi tekan dengan debit (*pump curve*), biaya atas penggunaan energi/hubungan efisiensi dengan debit (*efficiency curve*), hubungan volume dengan kedalaman air (*volume curve*) dan hubungan kehilangan energi dengan debit (*headloss curve*).

- *Patern editor* ditujukan untuk mengatur pola distribusi air bila dilakukan simulasi berjangka (*extended period simulation*) sesuai dengan waktu yang dikehendaki.
 - *Controls editor* merupakan pengaturan yang dilakukan terhadap *node* dan *links* pada saat simulasi terjadi, apakah dikehendaki tertutup, terbuka maupun keadaan lainnya.
 - *Source quality editor* merupakan pengaturan dengan memasukkan komponen *water quality* ketika simulasi berjalan. Editor ini dapat diabaikan bilamana ditujukan hanya untuk simulasi hidrolik.
4. Memilih analisis yang diinginkan untuk menjalankan simulasi, diperlukan untuk kesesuaian dengan penggunaan formula, sistem satuan serta karakteristik lain yang dikehendaki, apakah penggunaan formula Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, atau Chezy-Mannings.
 5. Menjalankan program (*running*) dilakukan setelah proses *input* terjadi, adapun komentar ketika *running* dilakukan diantaranya :
 - *Run was succesfull* yang berarti bahwa proses *running* berjalan baik sehingga bisa dilanjutkan dengan mengetahui *output*nya.
 - *Run was unsuccessfull. See status report for reason* yang berarti bahwa proses berhenti dikarenakan beberapa hal namun dapat diketahui kesalahan yang terjadi dengan melihat komentar kesalahan tersebut.
 - *Warning message were generated. See status report for reason* yang berarti bahwa ada beberapa *input* yang menyebabkan kegagalan simulasi ketika simulasi sedang berjalan. Kesalahan ini dapat terjadi misalnya karena pompa yang tidak bekerja, jaringan tidak terhubung, adanya tekanan *negative*, sistem tidak seimbang serta persamaan hidrolik tidak terpecahkan.
 6. Mengetahui hasil keluaran, tahapan akhir ini dapat diketahui bila proses analisis yang berlangsung berjalan dengan baik (*running was succesfull*). Adapun hasil keluaran tersebut dapat ditampilkan dalam tabel dan grafik.

3.8. TINJAUAN STRUKTUR

Tinjauan struktur dilaksanakan berkaitan dengan bangunan pendukung pengambilan dari sumber air dan sistem transmisi air bersih. Struktur harus didesain dengan mutu baik dan biaya efisien serta mampu beroperasi dalam sistem penyediaan air bersih.

3.9.1. Peraturan dan Pedoman Perencanaan Struktur

Struktur didesain untuk mampu menahan beban berat sendiri dan beban luar dengan perubahan-perubahan yang tidak melebihi batas-batas ijin.

Sebagai dasar asumsi beban yang bekerja dalam struktur sistem penyediaan air bersih digunakan pedoman :

- Peraturan Muatan Indonesia 1983 (PMI-NI-1983)
- Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SKSNI T-15-1991-03)
- Pedoman Peraturan Beton Indonesia PBI 1971 (NI-2)
- Seri Beton CUR Gideon Kusuma dkk
- Pedoman Perencanaan Bangunan Tahan Gempa untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.5.3-1987)
- Pedoman Beton Bertulang Indonesia SKSNI T-15-1991-03)

3.9.2. Perhitungan Struktur Bangunan

1) Pembebanan

Perhitungan kekuatan penampang beton bertulang berdasarkan SNI-1992 menggunakan desain yang disebut metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) yang mengacu pada metode kekuatan batas. Perhitungan pembebanan menggunakan program SAP 2000 v.10. Besarnya faktor beban yang digunakan tergantung kombinasi beban yang ditinjau yaitu sebagai berikut :

- Pembebanan Tetap :

$$W = 1.2 DL + 1.6 LL \quad (3.23)$$

➤ Pembebanan Sementara :

$$W = 0.75 (1.2 DL + 1.6 LL + WL) \quad (3.24)$$

$$W = 1.05 (DL + 0.6 LL + EL) \quad (3.25)$$

Di mana :

- Beban Mati ($DL = Dead Load$) adalah berat dari semua bagian struktur yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan yang merupakan bagian tak terpisahkan dari struktur.
- Beban Hidup ($LL = Live Load$) adalah beban-beban yang terjadi akibat penghunian atau pemakaian dari bangunan, termasuk di dalamnya beban yang berasal dari barang yang dapat berpindah yang bukan merupakan bagian tak terpisahkan dari struktur.
- Beban Angin ($WL = Wind Load$) adalah semua beban yang bekerja pada bangunan yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
- Beban Gempa ($EL = Earthquake Load$) adalah beban yang disebabkan oleh gempa.

2) Perhitungan Tulangan

a. Plat Atap dan Plat Dasar

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \text{ mm}^2 \quad (3.26)$$

$$\rho = \frac{M_u}{bd^2} \quad (3.27)$$

Di mana:

A_s = Luas Tulangan (mm^2)

ρ = Rasio penulangan (lihat Buku Grafik dan Tabel Perencanaan Beton Bertulang Tabel 5.1.a)

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

b = Lebar beton (mm)

d = Tebal plat (h) – penutup beton (p) – setengah diameter tulangan ($\frac{1}{2} \emptyset$) yang direncanakan

b. Plat Dinding

Plat dinding dianggap sebagai kolom

$$A_s = \rho \cdot b \cdot h \quad (3.28)$$

$$\rho = r \cdot \beta \quad (3.29)$$

$$\left[\frac{P_u}{\phi \cdot A_{gr} \cdot 0.85 \cdot f_c'} \right] \cdot \left[\frac{e_1}{h} \right] \quad (3.30)$$

$$e_1 = \frac{M_u}{P_u} \quad (3.31)$$

Di mana :

A_s = Luas tulangan (mm^2)

M_u = Momen ultimit (kN.m)

P_u = Gaya aksial ultimit (kN)

b = lebar beton (mm)

h = Tinggi kolom (mm)

e_1 = Eksentritas kolom (mm)

ρ = Rasio penulangan

r = Faktor tulangan (lihat tabel 9.8 grafik untuk kolom dengan tulangan pada dua sisi kolom)

β = Faktor mutu beton (lihat tabel 9.8 grafik untuk kolom dengan tulangan pada dua sisi kolom)

A_{gr} = Luas penampang (mm^2)

f_c' = Mutu beton (MPa)

ϕ = Faktor reduksi = 0.65 (SKSNI T 15 – 1991 – 03 Pasal 3.2.3.2.2)

3.9. RENCANA PENGEMBANGAN

Dalam rencana pengembangan (*expansion plan*) diupayakan dengan memperhatikan ketersediaan air baku dan proyeksi kebutuhan air bersih sampai dengan tahun yang diproyeksikan yaitu tahun 2020. Tinjauan pada sistem distribusi yaitu menentukan sistem jaringan distribusi dan zona distribusi.

