

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Air

Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas atau di bawah permukaan tanah, termasuk air laut yang berada di darat (PP No. 121 tahun 2015, pasal 1 ayat 2). Air bersih menurut (Kepmenkes No.1405/MENKES/SK/XI/2002 halaman 4) adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak. Pengertian lain mengenai air minum menurut (Permenkes RI No.492/MENKES/PER/IV/2010 pasal 1 ayat 1) adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan (bakteriologis, kimiawi, radioaktif dan fisik) dan dapat langsung diminum.

2.2 Sumber-sumber Air Baku

Sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas atau di bawah permukaan tanah (PP No. 121 tahun 2015 pasal 1 ayat 3).

Menurut (PP No. 122 tahun 2015 pasal 1 ayat 1) air baku untuk air minum rumah tangga, yang selanjutnya disebut air baku adalah air yang berasal dari sumber air permukaan, air tanah, air hujan dan air laut yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum.

1. Air permukaan

Air permukaan adalah air hujan yang mengalir di permukaan bumi. Pada umumnya air permukaan ini akan mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun dan sebagainya. Air permukaan ada 2 macam, yakni: air sungai dan air rawa/danau (Sutrisno, 2010:14).

a. Air Sungai

Dalam penggunaannya sebagai air minum, haruslah mengalami suatu pengolahan yang sempurna, mengingat bahwa air sungai ini pada umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi sekali. Debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan akan air minum pada umumnya dapat mencukupi (Sutrisno, 2010:15).

b. Air rawa/danau

Kebanyakan air rawa ini berwarna yang disebabkan oleh adanya zat-zat organis yang telah membusuk, misalnya *asam humus* yang larut dalam air yang menyebabkan warna kuning cokelat (Sutrisno, 2010:15).

2. Air tanah

Air tanah terbagi atas tiga macam, yaitu: air tanah dangkal, air tanah dalam dan mata air (Sutrisno, 2010:16).

a. Air tanah dangkal

Terjadi karena daya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam yang terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Lapis tanah di sini berfungsi sebagai saringan (Sutrisno, 2010:17).

b. Air tanah dalam

Kualitas dari air tanah dalam pada umumnya lebih baik dari air dangkal, karena penyaringnya lebih sempurna dan bebas dari bakteri. Susunan unsur-unsur kimia tergantung pada lapis-lapis tanah yang dilalui. Jika melalui tanah lumpur, maka air itu akan menjadi sadah, karena mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Jika melalui batuan granit, maka air itu lunak dan agresif karena mengandung gas CO_2 dan $\text{Mn}(\text{HCO}_3)$ (Sutrisno, 2010:18).

c. Mata air

Adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya dari dalam tanah menuju permukaan. Mata air yang berasal dari tanah dalam hampir tidak berpengaruh terhadap perubahan musim dan kualitasnya sama dengan air dalam (Sutrisno, 2010:19).

Tabel 2.1 Potensi Air Tanah di Pulau-pulau Besar Indonesia

No.	Pulau	Potensi Air Tanah (juta m ³ /tahun)
1	Sumatera	130.079
2	Jawa	40.898
3	Kalimantan	69.065
4	Sulawesi	20.224
5	Bali	1.598
6	NTB	2.015
7	NTT	8.429
8	Kep. Maluku	123.174
9	Papua	231.622

(Sumber: Robert J. Kodoatie, 2012:58)

3. Air hujan

Dalam keadaan murni, air hujan adalah air yang sangat bersih, karena dengan adanya pengotoran udara yang disebabkan oleh kotoran-kotoran industri/debu dan lainnya dapat menyebabkan air hujan menjadi terkontaminasi. Maka dari itu hendaknya jika ingin menjadikan air hujan sebagai sumber air minum, jangan menampung air hujan pada saat hujan baru turun, karena masih banyak mengandung kotoran (Sutrisno, 2010:14).

4. Air laut

Air laut ini mempunyai sifat asin, karena mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl dalam air laut sebesar 3%. Dengan demikian untuk menjadikan air laut sebagai sumber air bersih haruslah melalui pengolahan khusus (Sutrisno, 2010:14).

2.3 Persyaratan dalam Penyediaan Air Bersih

2.3.1 Kualitas Air

Dalam (Permenkes RI No.492/MENKES/PER/IV/2010 pasal 3 ayat 1) air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan.

1. Syarat-syarat fisik

Secara fisik air minum harus dalam kondisi (Sutrisno, 2010:21):

- a. Tidak boleh berwarna,
- b. Tidak boleh berasa,
- c. Tidak boleh berbau,
- d. Air harus jernih,
- e. Suhu air hendaknya di bawah sela udara (sejuk $\pm 25^{\circ}\text{C}$).

2. Syarat-syarat kimiawi

Air minum tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa bahan kimia tersebut antara lain:

- a. pH (asam) yang mempengaruhi proses korosi,
- b. Zat padat total (*total solid*) berasal dari residu pada penguapan,
- c. Zat organik yang berasal dari alam,
- d. CO_2 agresif yang berasal dari udara dan dekomposisi zat organik,
- e. Kalsium,
- f. Besi,
- g. Mangan,
- h. Tembaga,
- i. Seng,
- j. Klorida,
- k. Nitrit dan fluorida.

3. Syarat-syarat mikrobiologis

Air minum tidak boleh mengandung bakteri-bakteri penyakit (patogen) sama sekali dan tak boleh mengandung bakteri golongan coli melebihi batas-batas yang telah ditentukannya yaitu 1 Coli/100 ml air. Bakteri patogen yang mungkin ada dalam air diantaranya: kuman-kuman thypus, kolera, disentri, entamoeba hystolotica dan bakteri enteritis (penyakit perut) (Sutrisno, 2010:23).

4. Syarat-syarat radioaktif

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

Tabel 2.2 Daftar Persyaratan Kualitas Air Bersih

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan	Keterangan
A. Fisika				
1	Bau	-	-	Tidak Berbau
2	Jumlah zat padat terlarut (TDS)	Mg/l	1000	-
3	Kekeruhan	Skala NTU	5	-
4	Rasa	-		Tidak Berasa
5	Suhu	0°C	Suhu Udara 3°C	-
6	Warna	Skala TCU	15	-
B. Kimia				
a. Kimia anorganik				
1	Air raksa	mg/l	0,001	-
2	Arsan	mg/l	0,05	-
3	Besi	mg/l	1,0	-
4	Flourida	mg/l	1,5	-
5	Kadmium	mg/l	0,005	-
6	Kesadanan (CaCO ₃)	mg/l	500	-
7	Klorida	mg/l	600	-
8	Kronium, valensi 6	mg/l	0,05	-
9	Mangan	mg/l	0,5	-
10	Nitrat, sebagai N	mg/l	10	-
11	Nitrit, sebagai N	mg/l	1,0	-
12	pH	mg/l	0,05	-
13	Selenium	mg/l	0,01	-
14	Seng	mg/l	15	-
15	Sianida	mg/l	0,1	-
16	Sulfat	mg/l	400	-
17	Timbal	mg/l	0,05	-
b. Kimia organik				
1	Aldrin dandieldrin	mg/l	0,0007	-
2	Benzene	mg/l	0,01	-
3	Benzo (a) pyrene	mg/l	0,00001	-
4	Chloroform (total isomer)	mg/l	0,007	-
5	Chloroform	mg/l	0,03	-
6	2,4-D	mg/l	0,10	-
7	DDT	mg/l	0,03	-
8	Detergen	mg/l	0,5	-
9	1,2-Dichloroethene	mg/l	0,01	-
10	1,1-Dichloroethene	mg/l	0,0003	-

11	Heptachlor dan Heptachlor epoxide	mg/l	0,003	-
12	Hexachlorobenzene	mg/l	0,00001	-
13	Gamma-HCH (Lindane)	mg/l	0,004	-
14	Methoxychlor	mg/l	0,10	-
15	Pentachloropenol	mg/l	0,01	-
16	Pestisida total	mg/l	0,10	-
17	2,4,6-trichlorophenol	mg/l	0,01	-
18	Zat organik (KmnO ₄)	mg/l	10	-
C. Mikrobiologik				
1	Total koliform (MPN)	Jumlah per 100 ml	0	Buka air pipa
2	Koliform tinja belum diperiksa	Jumlah per 100 ml	0	Buka air pipa
D. Radio aktivitas				
1	Aktivitas Alpha (<i>Gross Alpha Activity</i>)	Bq/l	0,1	-
2	Aktivitas Beta (<i>Gross Beta Activity</i>)	Bq/l	1,0	-

(Sumber: Permenkes RI No: 416/MENKES/PER/IX/1990 Lampiran II)

2.3.2 Kuantitas Air

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih adalah ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Artinya air baku tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air bersih yang dialirkan ke konsumen sesuai dengan jumlah kebutuhan air bersih.

2.3.3 Kontinuitas Air

Air baku untuk air bersih harus dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam per hari, atau setiap saat diperlukan kebutuhan air tersedia. Akan tetapi kondisi ideal tersebut tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia, sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktivitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air. Prioritas

pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam per hari, yaitu pada jam-jam aktivitas kehidupan, yaitu pada pukul 06.00-18.00 yang tidak ditentukan. Kontinuitas aliran sangat penting ditinjau dari beberapa aspek, salah satunya adalah kebutuhan konsumen. Sebagian besar konsumen memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaannya dalam jumlah yang tidak ditentukan. Karena itu, diperlukan reservoir pelayanan dan fasilitas energi yang siap setiap saat.

2.3.4 Tekanan Air

Konsumen memerlukan sambungan air dengan tekanan yang cukup, dalam arti dapat dilayani dengan jumlah air yang diinginkan setiap saat. Untuk menjaga tekanan air akhir pipa diseluruh daerah layanan, pada titik awal distribusi diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk mengatasi kehilangan tekanan karena gesekan, yang tergantung pada kecepatan aliran, jenis pipa, diameter pipa dan jarak jalur pipa tersebut.

Dalam pendistribusian air, untuk dapat menjangkau seluruh area pelayanan dan untuk memaksimalkan tingkat pelayanan, maka hal wajib untuk diperhatikan adalah sisa tekanan air. Sisa tekanan air tersebut paling rendah adalah 5 mka (meter kolom air) atau 0,5 atm (5 m), dan paling tinggi adalah 22 mka (22 m). Menurut standar dari Departemen Pekerjaan Umum, air yang dialirkan ke konsumen melalui pipa transmisi dan pipa distribusi, dirancang untuk dapat melayani konsumen hingga yang terjauh, dengan tekanan air minimum sebesar 10 mka atau 1 atm. Angka tekanan ini harus dijaga, idealnya merata pada setiap pipa distribusi. Jika tekanan terlalu tinggi akan menyebabkan pecahnya pipa, serta merusak alat-alat plumbing (*closet, urinoir, faucet, lavatory*, dll). Tekanan juga dijaga agar tidak terlalu rendah, karena jika tekanan terlalu rendah maka akan menyebabkan terjadinya kontaminasi air selama aliran dalam pipa distribusi.

2.4 Penyalahgunaan dan Pencemaran Air Bersih

Dalam (PP No. 82 tahun 2001 pasal 1 ayat 11) pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Sumber-sumber air bersih ini biasanya terganggu akibat penggunaan dan penyalahgunaan sumber air seperti:

1. Pertanian

Penghamburan air akibat ketiadaannya penyaluran air yang baik pada lahan yang diairi dengan irigasi (untuk penghematan dalam jangka pendek) dapat berakibat terjadinya kubangan dan penggaraman yang akhirnya dapat menyebabkan hilangnya produktivitas air dan tanah.

2. Industri

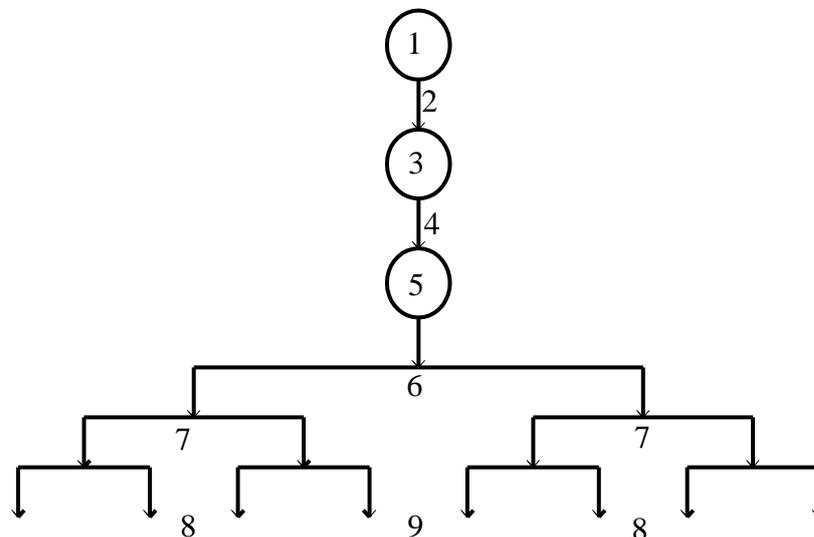
Walaupun industri menggunakan air jauh lebih sedikit dibandingkan dengan irigasi pertanian, namun penggunaan air oleh bidang industri mungkin membawa dampak yang lebih parah dipandang dari dua segi. Pertama, penggunaan air bagi industri sering tidak diatur dalam kebijakan sumber daya air nasional, maka cenderung berlebihan. Kedua, pembuangan limbah industri yang tidak diolah dapat menyebabkan pencemaran bagi air permukaan atau air bawah tanah, sehingga menjadi terlalu berbahaya untuk dikonsumsi. Air buangan industri sering dibuang langsung ke sungai dan saluran-saluran, mencemarinya, dan pada akhirnya juga mencemari lingkungan laut, atau kadang-kadang buangan tersebut dibiarkan saja meresap ke dalam sumber air tanah tanpa melalui proses pengolahan apapun. Kerusakan yang diakibatkan oleh buangan ini sudah melewati proporsi volumenya. Banyak bahan kimia modern begitu kuat sehingga sedikit kontaminasi saja sudah cukup membuat air dalam volume yang sangat besar tidak dapat digunakan untuk minum tanpa proses pengolahan khusus.

2.5 Bangunan dan Perlengkapan pada Sistem Penyediaan Air Bersih

Bangunan dan perlengkapan yang terdapat pada sistem penyediaan air bersih sangat tergantung dari sistem dan proses pengolahan yang digunakan pada sistem penyediaan air bersih tersebut. Salah satu contoh adalah sistem penyediaan air bersih yang berasal dari mata air mungkin hanya mempunyai bangunan penangkap air dan fasilitas pembubuhan kaporit serta jaringan pipa distribusi saja. Tapi mungkin pula sistem penyediaan air bersih dengan sumber air baku dari mata

air akan dilengkapi dengan bangunan lain selain bangunan yang telah disebutkan di atas, seperti pipa transmisi, reservoir penampungan air, fasilitas pembubuhan kapur, pompa, generator dan sebagainya.

Dengan demikian terlihat bahwa sistem penyediaan air bersih mempunyai sumber air baku dari jenis yang sama (misalnya mata air) tidak terlalu dilengkapi dengan bangunan/fasilitas pengolahan air yang dilakukan pada sistem penyediaan air bersih tersebut. Secara umum bangunan dan perlengkapan yang mungkin terdapat pada sistem penyediaan air bersih adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Skema Jaringan Sistem Penyediaan Air Bersih

Keterangan:

1. *Intake* adalah bangunan penangkap/pengambil air secara kontinuitas baik dari sumber air permukaan maupun air bawah tanah.
2. Pipa transmisi (pipa air baku/*raw water pipe*) adalah pipa yang berfungsi mengalirkan air baku dari sumber air menuju bangunan pengolahan.
3. Bangunan pengolahan adalah bangunan tempat pengolahan air baku diproses seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi sehingga menjadi air bersih sebelum dialirkan ke reservoir.
4. Pipa penyalur adalah pipa yang mendistribusikan air ke reservoir.
5. Reservoir adalah bangunan yang berfungsi menampung sementara air bersih dari pengolahan sebelum didistribusikan ke konsumen.

6. Pipa induk adalah pipa yang mengalirkan air bersih dari bangunan reservoir kemudian dialirkan dengan sistem gravitasi atau pemompaan menuju pipa cabang.
7. Pipa cabang adalah pipa yang berfungsi untuk mendistribusikan air dari pipa induk ke tempat-tempat pelayanan.
8. Pipa *service* adalah pipa yang membagikan air dari pipa cabang ke konsumen atau sambungan rumah.
9. Pipa parsial adalah saluran/instalasi pipa yang mensuplai air ke rumah-rumah, sekolah, kantor, pabrik ataupun kran umum.

2.6 Sistem Jaringan Distribusi

2.6.1 Sistem Bercabang

Sistem jaringan bercabang terdiri dari pipa induk utama (*main feeder*) disambungkan dengan pipa sekunder, lalu disambungkan lagi dengan pipa cabang lainnya, sampai akhirnya pada pipa yang menuju ke konsumen.

Kelebihan:

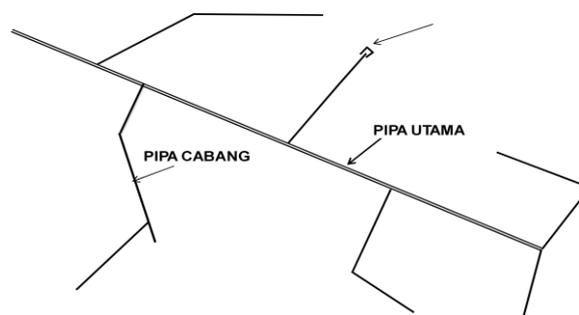
1. Sistem ini sederhana dan desain jaringan perpipaannya juga sederhana,
2. Cocok untuk daerah yang sedang berkembang,
3. Pengambilan dan tekanan pada titik manapun dapat dihitung dengan mudah,
4. Pipa dapat ditambahkan bila diperlukan (pengembangan kota),
5. Dimensi pipa lebih kecil karena hanya melayani populasi yang terbatas,
6. Membutuhkan beberapa katup untuk mengoperasikan sistem (Joko, 2010:17).

Kekurangan:

1. Saat terjadi kerusakan, air tidak tersedia untuk sementara waktu,
2. Tidak cukup air untuk memadamkan kebakaran karena suplai hanya dari pipa tunggal,
3. Pada jalur buntu, mungkin terjadi pencemaran dan sedimentasi jika tidak ada penggelontoran,
4. Tekanan tidak mencukupi ketika dilakukan penambahan areal ke dalam sistem penyediaan air minum (Joko, 2010:17).

Sistem jaringan perpipaan bercabang digunakan untuk daerah pelayanan dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Bentuk dan arah perluasan memanjang dan terpisah,
2. Pola jalur jalannya tidak berhubungan satu sama lainnya,
3. Luas daerah pelayanan relatif kecil,
4. Elevasi permukaan tanah mempunyai perbedaan tinggi dan menurun secara teratur.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Pipa Bercabang

2.6.2 Sistem Petak (*Grid*)

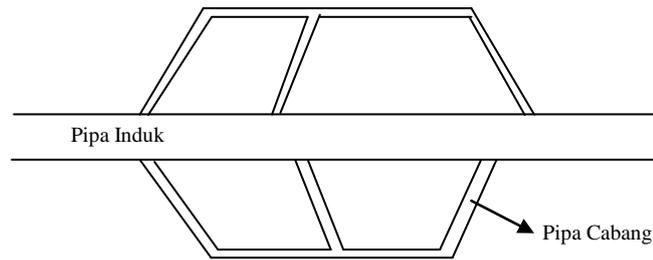
Pada sistem ini ujung-ujung pipa cabang disambungkan satu sama lain, sistem ini lebih baik dari sistem pipa bercabang karena sirkulasinya lebih baik dan kecil kemungkinan aliran menjadi tertutup atau stagnasi.

Kelebihan:

1. Air dalam sistem mengalir bebas ke beberapa arah dan tidak terjadi stagnasi seperti bentuk cabang,
2. Ketika ada perbaikan pipa, air yang tersambung dengan pipa tersebut tetap mendapat air dari bagian yang lain,
3. Ketika terjadi kebakaran, air tersedia dari semua arah,
4. Kehilangan tekanan pada semua titik dalam sistem minimum (Joko, 2010:18).

Kekurangan:

1. Perhitungan ukuran pipa lebih rumit,
2. Membutuhkan lebih banyak pipa dan sambungan pipa sehingga lebih mahal (Joko, 2010: 18).



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Pipa Petak (*Grid*)

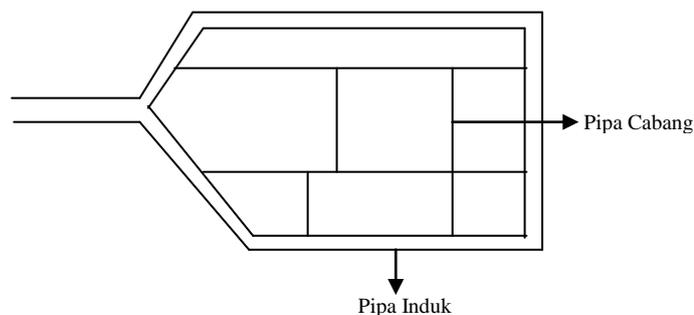
2.6.3 Sistem Berbingkai (*Ring*)

Sistem jaringan perpipaan berbingkai terdiri dari pipa induk dan pipa cabang yang saling berhubungan satu sama lainnya dan membentuk melingkar (*loop*), sehingga terjadi sirkulasi air ke seluruh jaringan distribusi. Dari pipa induk dilakukan penyambungan (*tapping*) oleh pipa cabang dan selanjutnya dari pipa cabang dilakukan pendistribusian untuk konsumen.

Dari segi ekonomis sistem ini kurang menguntungkan, karena diperlukan pipa yang lebih panjang, katup dan diameter pipa yang bervariasi. Sedangkan dari segi hidrolis (pengaliran) sistem ini lebih baik karena jika terjadi kerusakan pada sebagian blok dan selama diperbaiki, maka yang lainnya tidak mengalami gangguan aliran karena masih dapat pengaliran dari *loop* lainnya.

Sistem jaringan perpipaan melingkar digunakan untuk daerah dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Bentuk dan luasannya menyebar ke seluruh arah,
2. Pola jaringan jalannya berhubungan satu dengan lainnya,
3. Elevasi tanahnya relatif datar.



Gambar 2.4 Sistem Pipa Berbingkai (*Ring*)

2.7 Sistem Pengaliran Air Bersih

2.7.1 Sistem Gravitasi

Sistem pengaliran dengan gravitasi dilakukan dengan memanfaatkan beda tinggi muka tanah, dalam hal ini jika daerah pelayanan terletak lebih rendah dari sumber air atau reservoir. Untuk daerah pelayanan yang mempunyai beda tinggi yang besar sistem gravitasi dapat digunakan karena dengan beda tinggi yang besar untuk pengaliran kita dapat memanfaatkan energi yang ada pada perbedaan elevasi tersebut tidak perlu pemompaan. Bila digabungkan dengan sistem jaringan bercabang akan membentuk sistem yang optimal, baik dari segi ekonomis maupun dari segi teknis.

2.7.2 Sistem Pemompaan

Sistem pengaliran dengan pemompaan digunakan di daerah yang tidak mempunyai beda tinggi yang cukup besar dan relatif datar. Perlu diperhitungkan besarnya tekanan pada sistem untuk mendapatkan sistem pemompaan yang optimal, sehingga tidak terjadi kekurangan tekanan yang dapat mengganggu sistem pengaliran, atau kelebihan tekanan yang dapat mengakibatkan pemborosan energi dan kerusakan pipa.

2.7.3 Sistem Kombinasi

Sistem ini merupakan sistem gabungan dari sistem gravitasi dan sistem pemompaan. Pada sistem kombinasi ini, air yang didistribusikan dikumpulkan terlebih dahulu dalam reservoir pada saat permintaan air menurun. Jika permintaan air meningkat maka air akan dialirkan melalui sistem gravitasi maupun sistem pemompaan.

2.8 Jenis-jenis Pipa dan Alat Sambung

2.8.1 Jenis Pipa

Pemilihan jenis pipa sebaiknya memperhatikan hal-hal berikut:

1. Ketentuan dan daya tahan terhadap tekanan,
2. Diameter yang tersedia di pasaran,
3. Daya tahan terhadap korosif dari luar dan dalam,
4. Kemudahan pengadaan, pengangkutan dan pemasangan di daerah yang bersangkutan,
5. Harga pipa dan pemeliharaan.

Jenis pipa yang umum digunakan untuk pipa distribusi air bersih adalah pipa PVC (*Poly Vynil Chloride*) dan HDPE (*High Density Poly Ethilene*).

1. PVC (*Poly Vynil Chloride*)

Pipa ini bersifat fleksibel, panjang pipa biasanya 6 meter. Keunggulan dari pipa ini adalah:

- a. Memiliki standar kualitas dan pengujian SNI,
- b. Anti pengaruh UV dan dapat digunakan dalam kondisi asam basa,
- c. Sesuai untuk aplikasi saluran air bersih, saluran pembuangan, saluran limbah, pipa ventilasi dan saluran irigasi,
- d. Efektif dan efisien dalam penggunaan,
- e. Terbuat dari bahan PVC berkualitas tinggi dan dapat didaur ulang.

2. HDPE (*High Density Poly Ethilene*)

Pipa HDPE ini biasanya mempunyai panjang 100m/roll untuk pipa yang ukuran diameter 1/2"-2" dan untuk ukuran diameter 2 1/2" sampai ukuran terbesar yang dijual dipasaran dijual per batang dengan panjang batang yang bervariasi mulai dari 5,8 m; 6 m; 11,8 m dan 12 m. Keunggulan dari pipa HDPE ini adalah:

- a. Tahan lama untuk umur pemakaiannya,
- b. Kuat, ringan dan lentur,
- c. Anti karat, anti lumut,
- d. Instalasi pemasangan mudah,
- e. Dapat digunakan untuk sistem sambungan rumah (SR) PDAM.

2.8.2 Alat Sambung

Selain pipa distribusi, diperlukan juga perlengkapan tambahan untuk pengaliran air dalam sistem ini. Perlengkapan pipa distribusi antara lain:

1. *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 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 (Joko, 2010:24).

2. Perkakas (*fitting*)

Perkakas perlu disediakan dan dipasang pada perpipaan distribusi sesuai dengan keperluan di lapangan. Macam-macam perkakas yang biasa digunakan dalam instalasi pipa adalah (Murtiyono, 1995:69):

- a. *Socket*: untuk menyambung pipa dengan ukuran diameter yang sama,
- b. *Socket* reduksi: untuk menyambung pipa yang ukuran diameternya berbeda,
- c. *Tee*: untuk menyambung tiga buah pipa yang berdiameter sama,
- d. *Tee* reduksi: untuk menyambung tiga buah pipa yang mempunyai dua macam ukuran diameter dengan arah tegak lurus,
- e. *Elbow* (F+F): untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 90° , kedua ujungnya mempunyai ulir di dalam,
- f. *Elbow* (F+M): digunakan untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 90° , alat sambung ini mempunyai ulir yang berlainan dikedua ujungnya yaitu satu di luar dan satu di dalam,
- g. *Elbow* 45° (F+F): untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 45° , kedua ujungnya mempunyai ulir di dalam,
- h. *Elbow* 45° (F+M): digunakan untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 45° , alat sambung ini mempunyai ulir yang berlainan dikedua ujungnya yaitu satu di luar dan satu di dalam,
- i. *Bend* (F+F): untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 90° yang mempunyai radius jari-jari panjang, kedua ujungnya mempunyai ulir di dalam,
- j. *Bend* (F+M): digunakan untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 90° yang mempunyai radius jari-jari panjang, alat sambung ini mempunyai ulir yang berlainan dikedua ujungnya yaitu satu di luar dan satu di dalam,

- k. *Bend 45° (F+F)*: untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 45° yang mempunyai radius jari-jari panjang, kedua ujungnya mempunyai ulir di dalam,
- l. *Bend 45° (F+M)*: digunakan untuk menyambung dua buah pipa yang berdiameter sama dengan sudut 45° yang mempunyai radius jari-jari panjang, alat sambung ini mempunyai ulir yang berlainan di kedua ujungnya yaitu satu di luar dan satu di dalam,
- m. *Barel-union*: untuk menyambung dua pipa yang berdiameter sama, terutama pada instalasi pipa tertutup
- n. *Bushis*: untuk menyambung dua buah pipa yang berlainan ukuran dengan ulir pada sisi luar dan dalam,
- o. *Heksagonal nipple*: digunakan untuk mengencangkan sambungan pipa,
- p. *Cap*: digunakan untuk menutup pipa dan alat sambung yang mempunyai ulir luar,
- q. *Plug*: digunakan untuk menutup pipa atau alat sambung yang mempunyai ulir dalam.

2.9 Perencanaan Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih sangat bervariasi, bergantung pada kondisi lingkungan seperti iklim, jumlah penduduk, kondisi ekonomi (standar hidup), industri dan kategori kota. Umumnya kebutuhan air bersih akan bertambah setiap tahun dan pertambahan ini sesuai dengan karakteristik kota itu sendiri.

Variasi tambahan dapat disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk, perubahan kondisi sosial ekonomi (standar hidup) dan pengembangan industri. Untuk merencanakan jaringan pipa distribusi air bersih sebaiknya terlebih dahulu merencanakan dan mengevaluasi sistem penyediaan air bersih. Hal-hal yang harus dilakukan terlebih dahulu yaitu pengumpulan data-data yang meliputi (Linsley, 1991:152):

1. Dapatkan data atau perkiraan tentang jumlah penduduk kelompok masyarakat yang bersangkutan dimasa yang akan datang dan kondisi-kondisi setempat untuk menentukan jumlah air yang harus disediakan.
2. Cari satu atau beberapa sumber air yang mutunya cukup.

3. Sediakan jumlah tampungan air yang diperlukan dan rencanakan pekerjaan-pekerjaan yang dibutuhkan untuk menyalurkan air dari sumbernya ke masyarakat.
4. Tetapkan ciri-ciri fisik, kimiawi dan biologis dari air yang bersangkutan dan tentukan persyaratan mutu air.
5. Rencanakan sarana-sarana pengolahan air yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan mutu air.
6. Rancang dan rencanakan sistem distribusinya, termasuk waduk-waduk distribusi, instalasi pompa, tampungan tinggi, denah dan ukuran pipa-pipa serta kedudukan hidran-hidran kebakaran.
7. Usahakan penyusunan organisasi yang akan memelihara dan mengoperasikan sarana-sarana penyediaan, distribusi dan pengolahan.

2.10 Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk

Untuk menghitung perkiraan jumlah penduduk dalam waktu kedepan, secara umum dapat digunakan perhitungan dengan metode perhitungan aritmatik, geometrik dan eksponensial. Berikut penjelasan mengenai ketiga metode tersebut.

2.10.1 Metode Aritmatik

Proyeksi penduduk masa depan dengan metode aritmatik (*arithmetic rate of growth*) mengasumsikan bahwa jumlah penduduk pada masa depan akan bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahun. Berikut ini adalah rumus metode aritmatik (Adioetomo dan Samosir, 2010:227).

$$P_n = P_0 (1 + rn) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk tahun n

P_0 = Jumlah penduduk tahun awal (dasar)

r = angka pertumbuhan penduduk

n = periode waktu antara tahun dasar dengan tahun n (dalam tahun)

Penentuan rumus angka pertumbuhan penduduk aritmatik (Adioetomo dan Samosir, 2010:229).

$$r = \{ (P_n / P_0) - 1 \} / n \dots\dots\dots (2.2)$$

2.10.2 Metode Geometrik

Proyeksi penduduk pada masa depan dengan metode geometrik mengasumsikan bahwa jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga-berbunga (bunga majemuk). Dalam hal ini angka pertumbuhan penduduk (*rate of growth*) dianggap sama untuk setiap tahun. Berikut ini adalah rumus metode geometrik (Adioetomo dan Samosir, 2010:227).

$$P_n = P_0 (1 + r) ^ n \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk tahun n

P_0 = Jumlah penduduk tahun awal (dasar)

r = angka pertumbuhan penduduk

n = periode waktu antara tahun dasar dengan tahun n (dalam tahun)

Penentuan rumus angka pertumbuhan penduduk geometrik (Adioetomo dan Samosir, 2010:229).

$$r = (P_n / P_0)^{1/n} - 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

2.10.3 Metode Eksponensial

Pertumbuhan penduduk secara eksponensial mengasumsikan bahwa tambahan penduduk hanya terjadi pada satu saat selama satu kurun waktu tertentu. Misalnya, pertambahan penduduk dalam satu tahun hanya terjadi pada tiap awal tahun, pertengahan tahun, atau pada tiap akhir tahun saja. Padahal kenyataannya, pertambahan penduduk dapat terjadi kapan saja sepanjang tahun. Dengan demikian, diperlukan suatu rumus yang lebih menggambarkan pertambahan penduduk yang terjadi secara sedikit demi sedikit sepanjang tahun. Dalam hal ini, metode eksponensial lebih tepat digunakan. Berikut adalah rumus metode eksponensial (Adioetomo dan Samosir, 2010:228).

$$P_n = P_0 e^{(rn)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk tahun n

P_0 = Jumlah penduduk tahun awal (dasar)

r = angka pertumbuhan penduduk

n = periode waktu antara tahun dasar dengan tahun n (dalam tahun)

e = bilangan pokok dari sistem logaritma natural yang besarnya sama dengan 2,7182818

Penentuan rumus angka pertumbuhan penduduk geometrik (Adioetomo dan Samosir, 2010:229).

$$r = \{ \ln (P_n / P_0) \} / n \dots\dots\dots (2.6)$$

2.10.4 Standar Deviasi dan Koefisien Korelasi

Untuk menentukan metode proyeksi jumlah penduduk yang akan digunakan dengan hasil perhitungan yang paling mendekati kebenaran harus dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi atau koefisien korelasi. Rumus standar deviasi dan koefisien korelasi adalah sebagai berikut (Departemen Pekerjaan Umum, 2007:62).

1. Standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.7)$$

2. Koefisien korelasi

$$r = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y} - Y_r)^2}{\sum(Y - Y_r)^2}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

S = Standar deviasi

r = Koefisien korelasi

Y = Populasi penduduk

Y_r = Rata-rata jumlah proyeksi penduduk

n = Jumlah tahun yang diketahui

\hat{Y} = Y “topi” dicari untuk setiap metode berbeda

- \hat{Y} aritmatik = \hat{Y} sama dengan nilai Y
- \hat{Y} geometrik = $Y - \ln(Y)$
- \hat{Y} eksponensial = $Y - \ln(Y)$

Tabel 2.3 Besaran Hubungan Koefisien Korelasi

No	r (Koefisien Korelasi)	Ukuran Tingkat Hubungan
1	$0,0 < r < 0,2$	Sangat rendah
2	$0,2 < r < 0,4$	Rendah
3	$0,4 < r < 0,6$	Sedang
4	$0,6 < r < 0,8$	Kuat
5	$0,8 < r < 1,0$	Sangat kuat

(Sumber: Dillon dan Goldstain, 1984)

Untuk memilih metode mana yang paling tepat untuk digunakan dalam perhitungan proyeksi pertumbuhan jumlah penduduk maka dipilih metode dengan nilai standar deviasi (SD) yang terkecil dan nilai koefisien korelasi yang terbesar/nilai koefisien korelasi yang mendekati 1,0.

2.11 Perhitungan Pemakaian Air

2.11.1 Kebutuhan Air Domestik

Analisa dari pemakaian air yang tercatat di rekening air perbulannya yang diambil sampel secara proporsional disuatu daerah pelayanan. Angka ini kemudian dapat dijadikan patokan satuan kebutuhan air domestik. Satuan kebutuhan air untuk rumah tangga dijabarkan menjadi 2 golongan, yaitu hidran umum dan sambungan rumah. Untuk sambungan rumah dapat dibagi lagi menurut sub golongannya.

Pemakaian air untuk sambungan rumah adalah antara 20-30 m³/bulan atau apabila di rumah ada 5 orang maka pemakaian adalah antara 120-200 liter/orang/hari. Sedangkan untuk pemakaian hidran umum adalah antara 30-50 liter/orang/hari. Pada perencanaan umumnya angka tersebut dipakai dengan terlebih dahulu mempelajari pola pemakaian air (Dharmasetiawan, 2004 Bab III:19).

Standar kebutuhan air domestik adalah dari Departemen Pekerjaan Umum terdapat dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Standar Kebutuhan Air Domestik

No.	Kategori	Ukuran Wilayah	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air (liter/orang/hari)
1	I	Kota metropolitan	> 1.000.000	190
2	II	Kota besar	500.000-1.000.000	170
3	III	Kota sedang	100.000-500.000	150
4	IV	Kota kecil	20.000-100.000	130
5	V	Pedesaan	< 20.000	80

(Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya Dinas PU, 2000)

Tabel 2.5 Kriteria Kebutuhan Air Bersih

No.	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
		> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
1	Konsumsi unit sambungan rumah (SR) (liter/orang/hari)	190	170	150	130	80
2	Konsumsi unit hindran umum (HU) (liter/orang/hari)	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik (l/org/hr) (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Persentase kehilangan	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 (jiwa)	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi (jam)	24	24	24	24	24
11	Volume reservoir (% max day demand)	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
12	SR : HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cakupan pelayanan (%)	90	90	90	90	70

(Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya Dinas PU, 2000)

2.11.2 Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air untuk memenuhi sarana-sarana kota, seperti sarana sosial, industri dan niaga. Perkiraan satuan kebutuhan air tersebut tergantung dari jenis kegiatan non domestik tersebut. Hal ini dapat dilihat dari rekening pembayaran PDAM untuk non domestik.

Satuan kebutuhan air non domestik untuk sosial, niaga/ruko dan kantor umumnya berkisar antara 25–50 m³ per bulan atau sekitar 0,75–1,60 m³/hari. Sedangkan untuk industri harus dilihat dari jenis industrinya dan pelabuhan dari jumlah dan jenis kapal yang berlabuh (Dharmasetiawan, 2004 Bab III:19).

Tabel 2.6 Kebutuhan Air Non Domestik untuk 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
Kantor	10	liter/pegawai/hari
Pasar	12.000	liter/hektar/hari
Hotel	150	liter/bed/hari
Rumah makan	100	liter/tempat duduk/hari
Komplek militer	60	liter/orang/hari
Kawasan industri	0,2-0,8	liter/detik/hari
Kawasan pariwisata	0,1-0,3	liter/detik/hari

(Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya Dinas PU, 2000)

Tabel 2.7 Kebutuhan Air Non Domestik untuk Kategori V (Desa)

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	5	liter/murid/hari
Rumah sakit	200	liter/bed/hari
Puskesmas	1.200	liter/unit/hari
Masjid	3.000	liter/unit/hari
Mushollah	2.000	liter/unit/hari
Pasar	12.000	liter/hektar/hari
Komersial/industri	10	liter/hari

(Sumber: Direktorat Jendral Cipta Karya Dinas PU, 2000)

Tabel 2.8 Kebutuhan Air Non Domestik (PDAM)

Katagori Pemakai	Unit Pemakaian	Pemakaian Air (Liter/hari/unit)	Sumber Data
Bank	Bangunan	5.700	PDAM
Barak tentara	Orang	60	GKW <i>Consult</i>
Cucian mobil	Bangunan	6.000	GKW <i>Consult</i>
Hotel	Tempat tidur	140	GKW <i>Consult</i>
Industri	Luas	10.000	GKW <i>Consult</i>
Kantor	Pekerja	10	KIMPRASWIL: Petunjuk Pelaksanaan Air Bersih (Nov,1994)
Pabrik	Bangunan	2.500	GKW <i>Consult</i>
Pasar	Luas	12.000	KIMPRASWIL: Petunjuk Pelaksanaan Air Bersih (Nov,1994)
Restoran	Tempat duduk	100	KIMPRASWIL: Petunjuk Pelaksanaan Air Bersih (Nov,1994)
Ruko	Bangunan	150	GKW <i>Consult</i>
Rumah sakit	Tempat tidur	200	GKW <i>Consult</i>
Salon	Bangunan	1.500	GKW <i>Consult</i>
Sekolah	Pelajar	10	KIMPRASWIL: Petunjuk Pelaksanaan Air Bersih (Nov,1994)
<i>Sport Center</i>	Luas	12.000	GKW <i>Consult</i>
Supermarket	Bangunan	7.500	GKW <i>Consult</i>
Tempat ibadah	Bangunan	2.000	KIMPRASWIL: Petunjuk Pelaksanaan Air Bersih (Nov,1994)

(Sumber: PDAM Tirta Musi Palembang, Chris Ingram: 2004)

2.12 Fluktuasi Pemakaian Air

2.12.1 Harian Maksimum

Yaitu dalam periode satu minggu, bulan atau tahun terdapat hari-hari tertentu dimana pemakaian airnya maksimum. Keadaan ini dicapai karena adanya pengaruh musim. Pada saat pemakaian demikian disebut pemakaian hari maksimum. Besarnya faktor hari maksimum adalah berdasarkan pengamatan karakteristik daerah tersebut adalah sekitar 110 % dikalikan debit rata rata. Kebutuhan air produksi direncanakan sama dengan kebutuhan maksimum (Dharmasetiawan, 2004 Bab III:20).

2.12.2 Kebutuhan Puncak

Yaitu dalam periode satu hari, terdapat jam jam tertentu dimana pemakaian airnya maksimum. Keadaan ini dicapai karena adanya pengaruh pola pemakaian air harian. Pada saat pemakaian demikian disebut pemakaian puncak. Besarnya faktor puncak adalah berdasarkan pengamatan karakteristik daerah tersebut adalah sekitar 140-170 % dikalikan debit rata rata. Kapasitas pipa induk dan retikulasi direncanakan sama dengan kebutuhan puncak (Dharmasetiawan, 2004 Bab III:21).

2.13 Perhitungan Reservoir

Reservoir berfungsi untuk menjembatani pemakaian yang berfluktuasi pada jaringan pipa distribusi dan pasokan air yang konstan pada produksi. Untuk itu asumsi fluktuasi kebutuhan air adalah sangat penting. Dengan menggunakan fluktuasi pemakaian air daerah perencanaan, kita dapat menghitung kapasitas reservoir dengan cara matematis.

Tabel 2.9 Fluktuasi Pemakaian Air Kecamatan Sako

Jam	% Pemakaian	Jam	% Pemakaian
0-1	0	12-13	4
1-2	0	13-14	3,5
2-3	0,5	14-15	4
3-4	3	15-16	5,5
4-5	5,5	16-17	6
5-6	6,5	17-18	6,5
6-7	7,5	18-19	5,5
7-8	7	19-20	5
8-9	6	20-21	4
9-10	5	21-22	3
10-11	4,5	22-23	2,5
11-12	4	23-24	0,8

(Sumber : PDAM Tirta Musi Palembang,2015)

2.14 Dimensi Pipa

Di dalam suatu perencanaan suatu jaringan pipa distribusi pendimensian pipa sangat diperlukan, agar tidak terjadi kesalahan-kesalahan di dalam suatu sistem perencanaan. Rumus yang digunakan adalah (Dharmasetiawan, 2004 Bab II:3):

$$Q_1 = V_1 \cdot A_1 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$Q_1 = \pi/4d_1 \cdot V_1 \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

Q_1 = Debit pengaliran ($m^3/detik$)

V_1 = Kecepatan aliran (m/detik)

A_1 = Luas penampang (m)

d_1 = Diameter (m)

2.15 Analisis Jaringan Pipa

Sistem jaringan pipa merupakan komponen utama dari sistem distribusi air bersih/minum suatu perkotaan. Dewasa ini, sistem jaringan pipa air minum yang ada di kota-kota besar kebanyakan dibangun sejak jaman Belanda. Hal demikian menimbulkan beberapa kemungkinan terjadinya permasalahan-permasalahan seperti a) kebocoran, b) lebih sering terjadi kerusakan pipa atau komponen lainnya, c) besarnya tinggi energi yang hilang, dan d) penurunan tingkat layanan penyediaan air bersih untuk konsumen. Permasalahan-permasalahan di atas lebih diperparah lagi dengan meningkatnya sambungan-sambungan baru untuk daerah-daerah pemukiman dengan tanpa memperhatikan kemampuan ketersediaan air dan kemampuan sistem jaringan air minum tersebut.

Perubahan-perubahan di atas menuntut bahwa sistem jaringan air minum yang ada perlu dievaluasi lagi terutama yang menyangkut aspek-aspek hidrolika, tingkat layanan terhadap konsumen, dan pengoperasiannya (Kodoatie, 2001:262).

2.15.1 Perhitungan Hidrolis

Perhitungan hidrolis digunakan untuk menghitung kehilangan tinggi tekan (*Head Losses*) akibat gesekan (Hgs). Hilang tinggi tekanan ada dua, yaitu: *mayor losses* dan *minor losses*.

2.15.1.1 Hilang Tinggi Tekanan Besar (*Mayor Losses*)

Hilang tinggi tekanan besar diakibatkan oleh gesekan dan turbulensi aliran. Gesekan antara partikel zat cair dan dengan dinding saluran (pipa). Perhitungan hilang tinggi tekan besar dapat digunakan persamaan Darcy-Weisbach, sebagai berikut (Triatmodjo, 2010:28):

$$h_{gs} = f \frac{L \cdot V^2}{d \cdot 2g} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

- h_{gs} = Hilang Tinggi tekan akibat gesekan (m)
- f = Koefisien gesek Darcy (dari diagram Moody)
- L = Panjang pipa (m)
- V = Kecepatan aliran (m/dt)
- d = Diameter pipa (m)
- g = Percepatan gravitasi = 9,81 (m/dt²)

Menentukan nilai f dengan menggunakan Diagram Moody:

1. Hitung Bilangan *Reynolds*

Bilangan *Reynolds* yang tak berdimensi merupakan perbandingan gaya inersia dengan gaya kekentalan (Triatmodjo, 2010:4):

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

- Re = Bilangan Reynolds (tidak berdimensi)
- V = Kecepatan aliran (m/dt)
- D = Diameter pipa (m)
- ν = Viskositas kinematik zat cair (tergantung suhu)

Tabel 2.10 Viskositas Kinematik (ν)

Suhu (°C)	Viskositas Kinematik (ν) m^2/dt	Suhu (°C)	Viskositas Kinematik (ν) m^2/dt
0,0	$1,792 \times 10^{-6}$	50,0	$0,556 \times 10^{-6}$
5,0	$1,519 \times 10^{-6}$	60,0	$0,447 \times 10^{-6}$
10,0	$1,308 \times 10^{-6}$	70,0	$0,415 \times 10^{-6}$
20,0	$1,007 \times 10^{-6}$	80,0	$0,367 \times 10^{-6}$
30,0	$0,804 \times 10^{-6}$	90,0	$0,328 \times 10^{-6}$
40,0	$0,661 \times 10^{-6}$	100,0	$0,296 \times 10^{-6}$

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2010:15)

2. Hitung kekasaran relatif

Perhitungan kekasaran relatif dapat dihitung dengan persamaan (Triatmodjo, 2010:19):

$$k/D \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

k = Kekasaran mutlak (tergantung bahan)

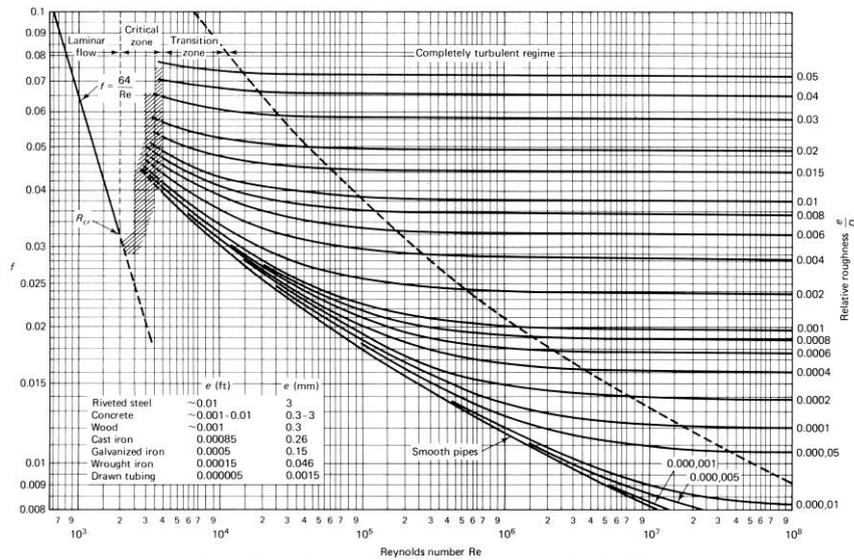
D = Diameter pipa (mm)

Tabel 2.11 Koefisien Kekasaran Mutlak (k)

Bahan	Nilai k (mm)
Kuningan, timah, gelas, semen yang diaduk secara sentrifugal, lapisan batu bara	0,0015
Baja yang diperdagangkan atau besi tempa, pipa baja yang dilas	0,046
<i>Polyvinyl Chloride</i> (PvC)	0,05
Besi cor diaspal	0,12
Besi berlapis seng (galvanisir)	0,15
Besi cor	0,26
Papan dari kayu	0,18-0,9
Beton	0,3-3,0
Baja dikeling	9

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2010:41)

3. Tentukan nilai f dengan Diagram Moody



Gambar 2.5 Diagram Moody

Setelah didapat nilai f , maka gunakan persamaan Manning-Gaukler-Strickler (Triatmodjo, 2010:54):

$$hgs = \frac{V^2 \cdot L}{Ks^2 \cdot R^{3/4}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan:

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.16)$$

Atau:

$$V = Ks \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \rightarrow I = \frac{hf}{L} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

- hgs = Hilang tinggi tekanan akibat gesekan (m)
- Ks = Koefisien kekasaran Strickler
- L = Panjang pipa (m)
- V = Kecepatan aliran (m/dt)

R = Radius/jari-jari hidrolis (m)

= $R = \frac{A}{P} \rightarrow$ untuk pipa lingkaran $A = \pi D^2/4$ dan $P = \pi D$, jadi:

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

A = Luas penampang aliran (m^2)

Q = Debit pengaliran (m^3/dt)

p = Keliling basah (m)

Selain menggunakan rumus Manning-Gaukler-Strickler, untuk mencari Hgs dapat juga digunakan persamaan De Chezy dengan koefisien Manning (Dharmasetiawan, 2004 Bab II: 10):

$$hgs = \frac{Q^2 4^{10/3} \cdot n^2}{d^{16/3} \cdot \pi^2} \cdot L \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

hgs = Hilang tekanan

n = Koefisien Manning

L = Panjang pipa

Q = Debit pengaliran (m^3/dt)

d = Diameter pipa

Tabel 2.12 Nilai Koefisien Manning

No.	Jenis (Material Pipa)	Nilai n
1	<i>Asbestos Cement Pipe (ACP)</i>	0,011
2	Tembaga	0,011
3	Pipa Beton	0,011
4	Besi Tuang	0,012
5	<i>Galvanized Iron Pipe (GIP)</i>	0,012
6	Pipa Besi	0,012
7	<i>Welded Steel Pipe</i>	0,010
8	<i>Riveted Steel Pipe</i>	0,019
9	PVC	0,010
10	HDPE	0,010

(Sumber: Ir. Martin Dharmasetiawan, 2004 Bab II:10)

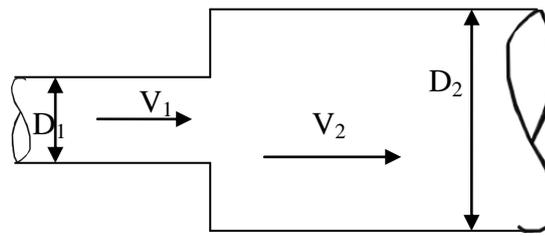
2.15.1.2 Hilang Tinggi Tekanan Kecil (*Minor Losses*)

Hilang tinggi tekanan kecil dalam saluran pipa disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

1. Perbesaran penampang,
2. Perbesaran penampang secara berangsur-angsur,
3. Pengecilan penampang,
4. Pengecilan penampang secara berangsur-angsur,
5. Belokan pipa

Berikut penjelasan dari kelima poin diatas.

1. Pebesaran penampang



Rumus perbesaran penampang mendadak (Triatmodjo, 2010:60):

$$h_{gs} = K \left(\frac{V_1^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan:

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

h_{gs} = Hilang tinggi tekanan kecil (m)

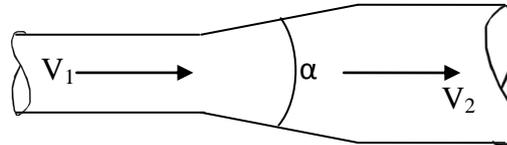
V = Kecepatan aliran (m/dt)

g = Percepatan gravitasi = 9,81(m/dt²)

K = Koefisien hilang tinggi tekanan

A = Luas penampang (m²)

2. Perbesaran penampang secara berangsur-angsur



Rumus perbesaran penampang secara berangsur-angsur (Triatmodjo, 2010:60):

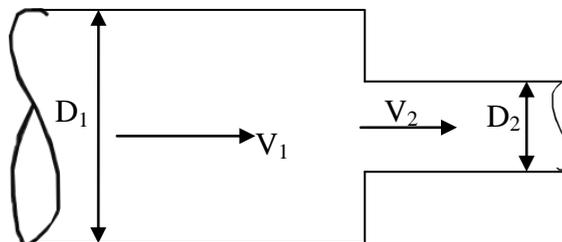
$$hgs = K' \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.21)$$

Tabel 2.13 Nilai K' sebagai fungsi dari α

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

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2010:61)

3. Pengecilan penampang

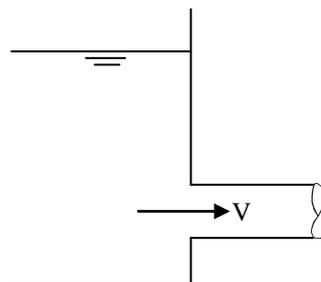


Rumus pengecilan penampang mendadak (Triatmodjo, 2010:62):

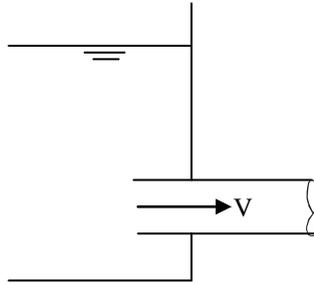
$$hgs = 0,44 \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.22)$$

Macam-macam lubang masuk (Triatmodjo, 2010:62):

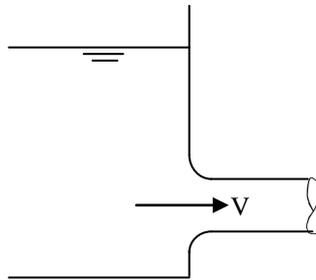
- a. Lubang masuk tak diperlebar dengan sisi-sisi persegi, K = 0,50



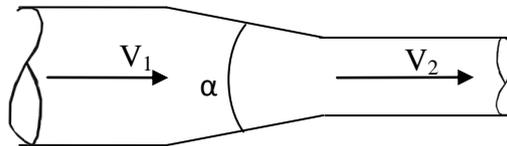
b. Pipa berdinding tipis yang menonjol ke luar dari dinding tegak lurus, $K = 1$



c. Lubang masuk tidak diperlebar dengan pembulatan sedikit, $K = 0,05$

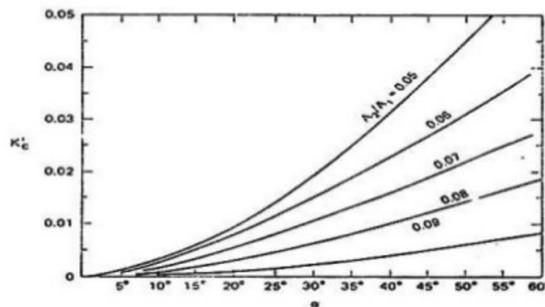


4. Pengecilan penampang secara berangsur-angsur



Rumus pengecilan penampang secara berangsur-angsur (Triatmodjo, 2010:63):

$$h_{gs} = K'c \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.23)$$



Gambar 2.6 Koefisien $K'c$ sebagai fungsi α

5. Belokan Pipa

Rumus belokan pipa (Triatmodjo, 2010:63):

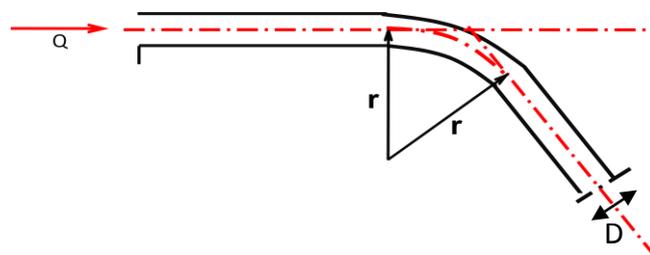
$$h_{gs} = K_b \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.24)$$



Tabel 2.14 Koefisien K_b sebagai fungsi belokan α

α	20°	40°	60°	80°	90°
K_b	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

(Sumber: Bambang Triatmodjo, 2010:64)



Tabel 2.15 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: Bambang Triatmodjo, 2010:64)

2.16 Perhitungan Hardy Cross

Dianggap bahwa karakteristik pipa dan aliran masuk serta meninggalkan jaringan pipa diketahui kemudian akan dihitung debit pada setiap elemen dari jaringan tersebut. Jika tekanan pada seluruh jaringan juga dihitung maka tinggi tekanan pada satu titik harus diketahui. Prosedur perhitungan dengan metode Hardy Cross adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2010:92):

1. Pilih pembagian debit melalui tiap-tiap pipa Q_0 hingga terpenuhi syarat kontinuitas.
2. Hitung kehilangan tenaga pada tiap pipa dengan persamaan:

$$h_{gs} = K \cdot Q^n \dots\dots\dots (2.25)$$

Dengan:

$$K = \frac{101,6 \cdot L}{\pi^2 \cdot K_{st}^2 \cdot d^{(16/3)}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan:

Nilai n untuk persamaan Darcy dan Strickler adalah “2”

h_{gs} = Hilang tinggi tekan (m)

K = Koefisien hilang tekan

Q = Debit pengaliran ($m^3/detik$)

L = Panjang pipa (m)

d = Diameter pipa (m)

3. Jaringan pipa dibagi menjadi sejumlah jaring tertutup sedemikian sehingga tiap pipa termasuk dalam paling sedikit satu jaring.
4. Hitung jumlah kerugian tinggi tenaga sekeliling tiap-tiap jaring, yaitu:

$$\sum h_{gs} = 0 \dots\dots\dots (2.27)$$

5. Hitung nilai $\sum hf/Q$ untuk tiap jaringan.
6. Pada tiap jaring diadakan koreksi debit ΔQ , supaya kehilangan tinggi tenaga dalam jaring seimbang. Adapun koreksinya adalah sebagai berikut:

$$\Delta Q = - \frac{\sum h_{gs}}{n \cdot \sum K \cdot Q_0^{n-1}} \text{ nilai } n = \text{“2”} \dots\dots\dots (2.28)$$

7. Dengan debit yang telah dikoreksi sebesar $Q = Q_0 + \Delta Q$, prosedur dari 1 sampai 6 diulangi hingga akhirnya $\Delta Q \approx 0$, dengan Q adalah debit sebenarnya, Q_0 adalah debit yang dimisalkan dan ΔQ adalah debit hasil koreksi.

8. Jaringan pipa harus memenuhi tiga persyaratan sebagai berikut:
 - a. Di setiap pertemuan pipa, aliran total yang masuk harus sama dengan aliran total yang keluar,
 - b. Jumlah aljabar dari hilang tinggi tekanan sepanjang keliling pipa yang tertutup adalah “NOL”,
 - c. Persamaan hilang tinggi tekanan harus dapat dipakai untuk tiap pipa.

2.17 Rencana Kerja dan Syarat-syarat

Rencana kerja dan syarat-syarat (RKS) merupakan sebuah buku yang berisi tentang syarat-syarat administrasi berupa instruksi kepada penyedia jasa dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Instruksi ini berisi informasi yang diperlukan oleh pelaksana kontraktor untuk menyiapkan penawarannya sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh pengguna jasa. Informasi tersebut berkaitan dengan penyusunan, penyampaian, pembukaan, evaluasi penawaran dan penunjukan penyedia jasa.
2. Hal-hal berkaitan dengan pelaksanaan kontrak oleh penyedia jasa, termasuk hak, kewajiban dan resiko dimuat dalam syarat-syarat umum kontrak. Apabila terjadi perbedaan penafsiran/pengaturan pada dokumen lelang, penyedia jasa harus mempelajari dengan seksama untuk menghindari pertentangan pengertian.
3. Data proyek memuat ketentuan, informasi tambahan atau perubahan atas instruksi kepada pelaksana/kontraktor sesuai dengan kebutuhan paket pekerjaan yang akan dikerjakan.

RKS sebagai kelengkapan gambar kerja yang didalamnya memuat uraian tentang:

1. Syarat-syarat umum

Berisi keterangan mengenai pekerjaan, pemberi tugas dan pengawas bangunan.

2. Syarat-syarat administrasi

Berisi keterangan mengenai:

- a. Jangka waktu pelaksanaan,
- b. Tanggal penyerahan pekerjaan,

- c. Syarat-syarat pembayaran,
- d. Denda keterlambatan,
- e. Besarnya jaminan penawaran,
- f. Besarnya jaminan pelaksanaan.

3. Syarat-syarat teknis

Berisi keterangan mengenai:

- a. Jenis dan uraian pekerjaan yang harus dilaksanakan,
- b. Jenis dan mutu bahan yang digunakan.

Setelah selesai, RKS kemudian disahkan oleh DPU Cipta Karya jika proyek pemerintah atau Direksi bersama dengan pemberi tugas jika proyek swasta.

Dalam sebuah RKS ada beberapa hal yang dibahas didalamnya, antara lain:

1. Bab Umum

Pada bab ini biasanya berisi tentang hal-hal sebagai berikut:

- a. Mengenai pemberi tugas/pemilik proyek,
- b. Mengenai perencanaan/desain,
- c. Mengenai syarat peserta lelang,
- d. Mengenai bentuk surat penawaran dan cara penyampaiannya.

2. Bab Administrasi

Pada bab ini biasanya berisi tentang hal-hal sebagai berikut:

- a. Jangka waktu pelaksanaan pekerjaan,
- b. Tanggal waktu penyerahan,
- c. Syarat pembayaran,
- d. Denda atas keterlambatan,
- e. Besar jaminan penawaran,
- f. Besar jaminan pelaksanaan.

3. Bab Teknis

Pada bab ini biasanya berisi tentang hal-hal sebagai berikut:

- a. Jenis dan uraian pekerjaan,
- b. Jenis dan mutu bahan,
- c. Cara pelaksanaan pekerjaan,
- d. Merk material/bahan.

2.18 Perhitungan Estimasi Biaya

Kegiatan estimasi pada umumnya dilakukan dengan terlebih dahulu mempelajari gambar rencana dan spesifikasi. Berdasarkan gambar rencana dapat diketahui kebutuhan material yang nantinya akan digunakan, sedangkan berdasarkan spesifikasi dapat diketahui kualitas bangunannya. Perhitungan biaya proyek dilakukan secara teliti dan konsisten berdasarkan ketersediaan dana yang ada (Ervianto, 2005:129).

Apabila dananya terbatas, dengan melihat Rencana Anggaran Biaya yang telah dibuat dapat menentukan bagian pekerjaan mana yang bisa didahulukan dan mana yang dapat dikerjakan belakangan supaya tidak mengganggu pekerjaan yang lain. Langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam membuat Rencana Anggaran Biaya meliputi:

1. Hitung volume pekerjaan

Volume pekerjaan dapat dihitung dengan melihat gambar kerja yang sudah dibuat sebelumnya. Perhitungan volume dapat menggunakan rumus matematika sederhana sesuai dengan jenis pekerjaan yang ada dalam perencanaan.

2. Analisis jenis pekerjaan

Jenis-jenis pekerjaan dalam rencana pembangunan memerlukan material dan upah pekerjaan yang tidak sama satu dengan yang lain. Untuk itulah diperlukan analisis jenis pekerjaan sesuai dengan spesifikasi pekerjaan di dalamnya. Analisis pekerjaan dipakai untuk menentukan harga satuan pekerjaan yang digunakan dalam perhitungan RAB.

3. Estimasi biaya secara keseluruhan

Menghitung estimasi biaya secara keseluruhan setelah volume pekerjaan dihitung dan analisis jenis pekerjaan serta harga satuan upah dan material. Harga satuan upah dan material dapat diperoleh dengan survey lapangan di pasaran atau berkonsultasi pada konsultan/kontraktor untuk mendapatkan harga yang tepat.

Dalam penyusunan anggaran biaya suatu rancangan bangunan biasanya dilakukan 2 (dua) tahapan, yaitu:

1. Estimasi biaya kasar, yaitu penaksiran biaya secara global dan menyeluruh yang dilakukan sebelum rancangan bangunan dibuat,
2. Perhitungan anggaran biaya, yaitu penghitungan biaya secara detail dan terinci sesuai dengan perencanaan yang ada.

2.19 Program Pelaksanaan Lapangan

Jadwal Pelaksanaan dilakukan oleh:

1. Konsultan pengawas/konsultan manajemen konstruksi (MK),
2. Kontraktor pelaksana.

Jadwal:

1. *Network planning* (NWP) dengan metode lintasan kritis (CPM),
2. *Barchart* (peta batang),
3. Metode kurva S.

Antara 1,2 dan 3 merupakan metode pengawasan yang satu kesatuan, tidak bisa dipisahkan satu dan lainnya.

Untuk membuat program pelaksanaan terlebih dahulu dilakukan:

1. Perhitungan volume untuk setiap jenis pekerjaan dari proyek yang akan dilaksanakan,
2. Inventarisasi semua kegiatan yang akan didapat dari proyek tersebut,
3. Urutkan semua kegiatan-kegiatan tersebut yang merupakan kegiatan yang saling berkesinambungan,
4. Tentukan waktu pelaksanaan untuk setiap jenis pekerjaan berdasarkan harga satuan dan upah.

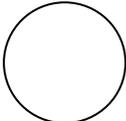
2.19.1 *Network Planning* (NWP) dengan Metode (CPM)

Metode jalur kritis (*Critical Path Method*) adalah jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan, dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek tercepat. Jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai dengan kegiatan terakhir. Pada jalur ini terletak kegiatan-kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat akan menyebabkan keterlambatan penyelesaian keseluruhan proyek, yang disebut dengan kritis (Widiasanti dan Lenggogeni, 2013:65).

2.19.1.1 Simbol-simbol yang Biasa Digunakan dalam NWP

1. \longrightarrow = Anak panah

- Menandakan adanya sumber daya alat, bahan dan biaya,
- Adanya aktivitas/kegiatan/waktu,
- Bergerak dari kiri ke kanan,
- Panjang pedekannya tanda panah tak ada perbedaan.

2.  = Lingkaran kecil (*node*)

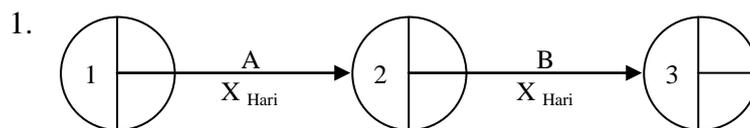
- Menandakan adanya waktu pelaksanaan, waktu mulai dan waktu berakhir kegiatan.

3. \dashrightarrow = Panah putus-putus (*dummy*)

- Tidak ada sumber daya, waktu, aktivitas dan biaya,
- Bergerak dari kiri ke kanan,
- Menyatakan bahwa kegiatan yang ada dimukanya ada saling ketergantungan.

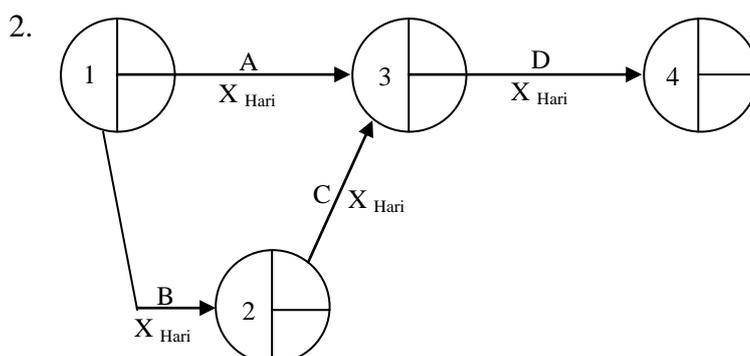
Penandaan nomor dari lingkaran kecil (*node*), mulai dari yang terkecil bergerak ke depan/kanan.

Contoh:



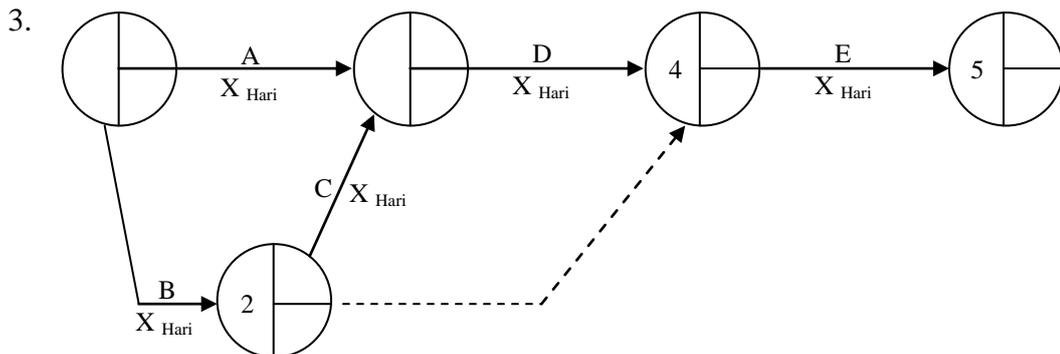
Penjelasan:

- Pekerjaan A selesai dilanjutkan dengan pekerjaan B,
- Atau pekerjaan B bisa diselesaikan bila pekerjaan A selesai.



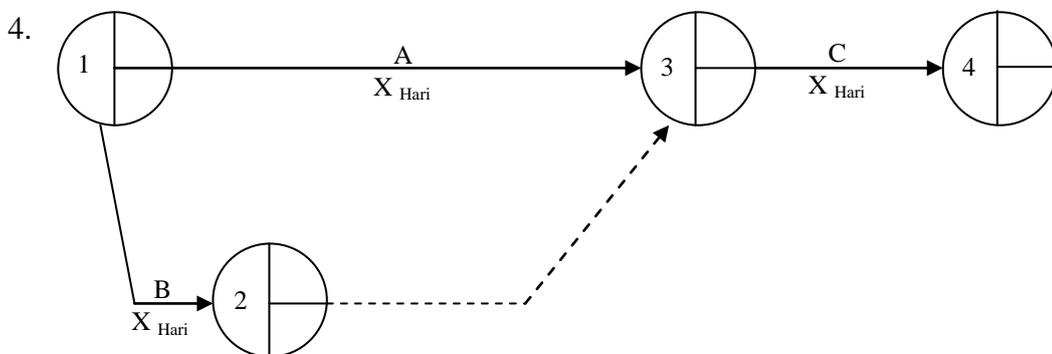
Penjelasan:

- Pekerjaan D dapat dimulai bila pekerjaan A dan C selesai,
- Atau setelah pekerjaan A dan C dilanjutkan dengan pekerjaan D,
- Nilai X adalah waktu pelaksanaan.



Penjelasan:

- Setelah pekerjaan A dan C dilanjutkan pekerjaan D,
- Setelah pekerjaan B dilanjutkan dengan pekerjaan C dan E,
- Nilai X adalah waktu pelaksanaan.



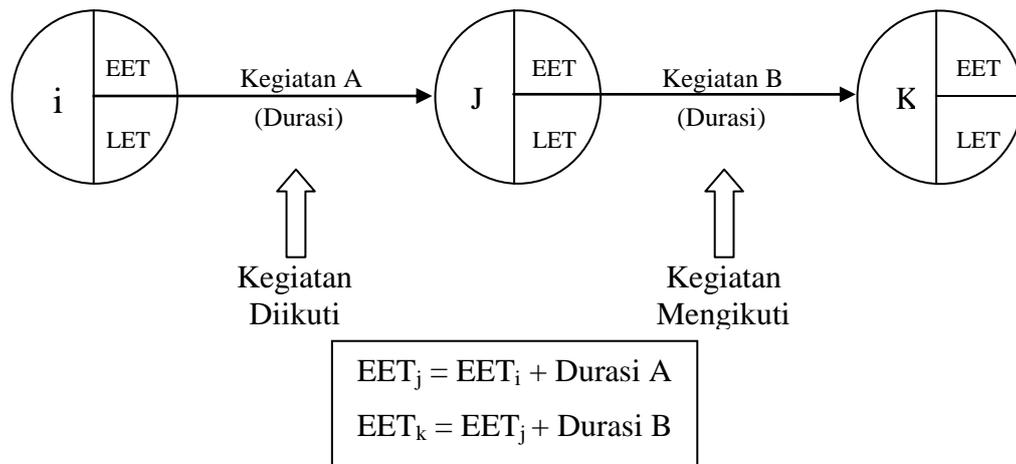
Jika dalam satu lingkaran kejadian terdapat 2 aktivitas/pekerjaan maka penulisannya seperti di atas.

Aktivitas A → Lingkaran (1-3)

Aktivitas B → Lingkaran (1-2)

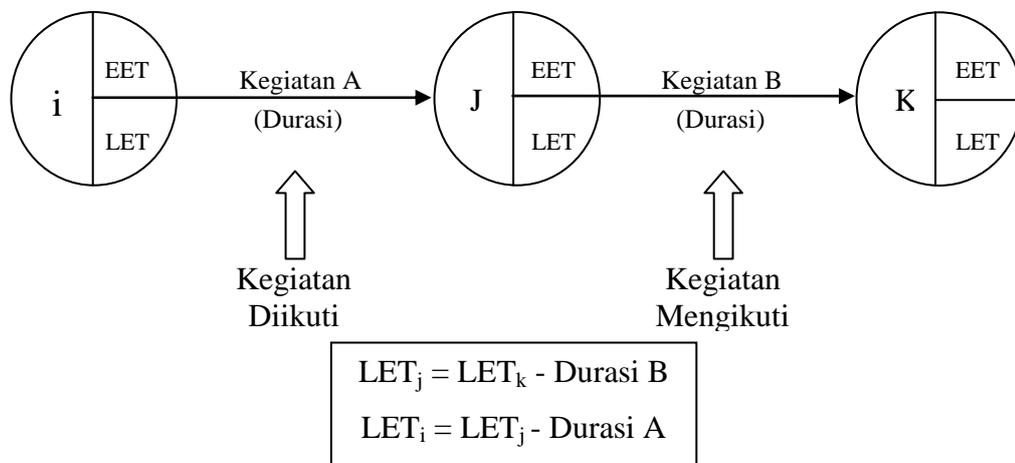
2.19.1.2 Perhitungan *Earliest Event Time* (EET)

Untuk menghitung besarnya nilai EET, digunakan perhitungan ke depan (*forward analysis*), dimulai dari kegiatan paling awal dan dilanjutkan dengan kegiatan berikutnya (Erviyanto, 2005:236). Perhitungannya adalah sebagai berikut



2.19.1.3 Perhitungan *Latest Event Time* (LET)

Untuk menghitung besarnya nilai LET, digunakan perhitungan ke belakang (*backward analysis*), dimulai dari kegiatan paling akhir dan dilanjutkan dengan kegiatan sebelumnya (Ervianto, 2005:237).



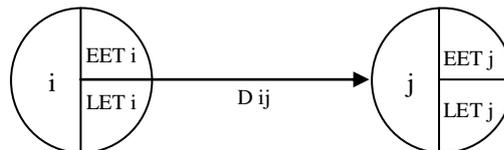
2.19.1.4 Perhitungan Waktu Mengambang

Waktu mengambang (*float*) dari suatu pekerjaan adalah, waktu dimana pekerjaan tersebut boleh terlambat atau boleh diperlambat.

Ada 2 cara untuk menghitung waktu mengambang yang bisa digunakan, yaitu:

1. Total *float* (waktu keterlambatan total)

Waktu keterlambatan total adalah pekerjaan boleh terlambat untuk beberapa hari, tapi tidak boleh mengganggu atau selesainya proyek secara keseluruhan.

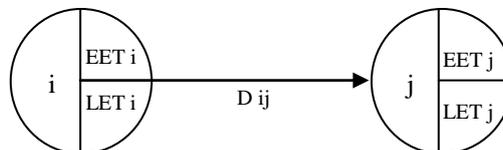


Rumus:

$$\mathbf{TF\ i-j = LET\ j - EET\ i - D\ ij} \dots\dots\dots (2.29)$$

2. *Free float* (waktu mengambang bebas)

Waktu mengambang bebas adalah dimana pekerjaan tersebut boleh terlambat, tapi tidak boleh mengganggu dimulainya kegiatan/pekerjaan yang mengikutinya



Rumus:

$$\mathbf{FF\ i-j = EET\ j - EET\ i - D\ ij} \dots\dots\dots (2.30)$$

2.19.2 Diagram Batang (*Barchart*)

Dalam dunia konstruksi, teknik penjadwalan yang paling sering digunakan adalah *barchart* atau diagram batang atau bagan balok. *Barchart* adalah sekumpulan aktivitas yang ditempatkan dalam kolom vertikal, sementara waktu ditempatkan dalam baris horizontal. Waktu mulai dan selesai setiap kegiatan beserta durasinya ditunjukkan dengan menempatkan balok horizontal di bagian sebelah kanan dari setiap aktivitas. Perkiraan waktu mulai dan selesai dapat ditentukan dari skala waktu horizontal pada bagian atas bagan. Panjang dari balok menunjukkan durasi dari aktivitas dan biasanya aktivitas-aktivitas tersebut

disusun berdasarkan kronologi pekerjaannya (Widiasanti dan Lenggogeni dalam Callahan, 2013:77).

2.19.3 Kurva S

Kurva S adalah hasil plot dari *barchart*, bertujuan untuk mempermudah melihat kegiatan-kegiatan yang masuk dalam suatu jangka pengamatan proses pelaksanaan proyek (Widiasanti dan Lenggogeni dalam Callahan, 2013:125). Definisi lain kurva S adalah grafik yang dibuat dengan sumbu vertikal sebagai nilai kumulatif biaya atau penyelesaian (*progres*) kegiatan dan sumbu horizontal sebagai waktu (Widiasanti dan Lenggogeni dalam Soeharto, 2013:125). Kurva S dapat menunjukkan kemampuan proyek berdasarkan kegiatan, waktu dan bobot pekerjaan yang direpresentasikan sebagai persentase kumulatif dari seluruh kegiatan proyek. Visualisasi kurva S memberikan informasi mengenai kemajuan proyek dengan membandingkan terhadap jadwal rencana (Widiasanti dan Lenggogeni dalam Husen, 2013:126).

Dari beberapa definisi di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa kegunaan dari kurva S adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kemajuan/progres suatu proyek secara keseluruhan,
2. Untuk mengetahui pengeluaran dan kebutuhan biaya pelaksanaan proyek.
3. Untuk mengontrol penyimpangan yang terjadi pada proyek dengan membandingkan kurva S rencana dengan kurva S aktual.