

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Air bersih adalah salah satu jenis sumber daya berbasis air yang bermutu baik dan bisa dimanfaatkan oleh manusia untuk dikonsumsi atau dalam melakukan aktivitas mereka sehari-hari termasuk diantaranya adalah sanitasi. Untuk konsumsi air minum menurut departemen kesehatan, syarat-syarat air minum adalah tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mengandung logam berat. Walaupun air dari sumber alam dapat diminum oleh manusia, terdapat risiko bahwa air ini telah tercemar oleh bakteri (misalnya *Escherichia coli*) atau zat-zat berbahaya. Walaupun bakteri dapat dibunuh dengan memasak air hingga 100 °C, banyak zat berbahaya, terutama logam, tidak dapat dihilangkan dengan cara ini. Ada beberapa sumber air bersih yang bisa dimanfaatkan antara lain yaitu sungai. Sungai rata-rata lebih dari 40.000 kilometer kubik air segar diperoleh dari sungai-sungai di dunia. Karena pentingnya kebutuhan akan air bersih, maka adalah hal yang wajar jika sektor air bersih mendapatkan prioritas penanganan utama karena menyangkut kehidupan orang banyak.

Penanganan akan pemenuhan kebutuhan air bersih dapat dilakukan dengan berbagai cara, disesuaikan dengan sarana dan prasarana yang ada. Di daerah perkotaan, sistem penyediaan air bersih dilakukan dengan sistem perpipaan dan non perpipaan. Sistem perpipaan dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan sistem non perpipaan di kelola oleh masyarakat baik secara individu maupun kelompok. Kehadiran PDAM dimungkinkan melalui Undang-

undang No.5 tahun 1962 sebagai kesatuan usaha milik Pemda yang memberikan jasa pelayanan dan menyelenggarakan kemanfaatan umum di bidang air minum. Undang-undang No.5 tahun 1962 sangat berkaitan dengan Undang-undang No.7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air yang meliputi Bab I : Ketentuan Umum, Bab II : Wewenang dan Tanggung Jawab, Bab III : Konversi sumber Daya Air, Bab IV : Pendayagunaan Sumber Daya Air, Bab V : Pengendalian Daya Rusak Air, Bab VI : Perencanaan, Bab VII : Pelaksanaan Konstruksi, Operasi dan Pemeliharaan, Bab XI : Pemberdayaan dan Pengawasan.

PDAM dibutuhkan masyarakat perkotaan untuk mencukupi kebutuhan air bersih yang layak dikonsumsi. Karena air tanah di perkotaan pada umumnya telah tercemar. Penggunaan air tanah secara berlebihan telah menurunkan permukaan air tanah dan intrusi air laut, yang mengakibatkan menurunnya kualitas air tanah. Masyarakat sering mengeluh air yang disalurkan PDAM sering macet dan keruh. Masyarakat di beberapa wilayah pelayanan akhirnya hanya menggunakan air PAM untuk mandi dan mencuci. Sedangkan untuk minum dan memasak mereka mengeluarkan uang ekstra untuk membeli AMDK (Air Minum Dalam Kemasan).

Sehingga saat ini perlu dikembangkan sistem distribusi air bersih yang tepat. Sistem distribusi air bersih dibuat untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk suatu kota atau suatu komunitas. Sumber air baku dapat berasal dari mata air, danau, sungai atau air tanah dalam. Air tersebut kemudian diolah pada instalasi pengolahan air supaya memenuhi standar air bersih yang dikeluarkan oleh Menteri Kesehatan dan kemudian didistribusikan pada

konsumen. Pengkajian terhadap pelayanan jaringan air bersih PDAM di suatu wilayah perkotaan masih kurang mendapat perhatian yang layak dari pihak pengelola. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan berdasarkan atas pemikiran bahwa sistem pengoperasian distribusi pipa air bersih di Kota Padang Sidempuan belum menghasilkan tingkat pelayanan yang diharapkan.

Suatu penyediaan air bersih yang mampu menyediakan air yang dapat diminum dalam jumlah yang cukup merupakan hal penting bagi suatu kota besar yang modern. Unsur-unsur yang membentuk suatu sistem penyediaan air yang modern meliputi :

1. Sumber-sumber penyediaan
2. Sarana-sarana penampungan
3. Sarana-sarana penyaluran
4. Sarana-sarana pengolahan
5. Sarana-sarana penyaluran (dari pengolahan) tampungan sementara
6. Sarana-sarana distribusi

Dalam hal ini pembahasan lebih dipusatkan pada hal sistem distribusi pipa air bersih. Sistem distribusi yang ekstensif diperlukan untuk menyalurkan air ke masing- masing pelanggan dengan jumlah tekanan yang dibutuhkan. Sistem distribusi seringkali merupakan investasi utama dalam jaringan air kota. Suatu sistem distribusi seperti pohon dengan banyak titik-titik ujung yang mati tidaklah baik, karena air dapat berhenti di ujung-ujung sistem itu. Lebih dari itu bila diperlukan perbaikan, suatu daerah yang luas harus ditutup penyaluran airnya. Akhirnya dengan kebutuhan lokal yang besar pada waktu

terjadinya kebakaran, kehilangan tinggi tekanan dapat besar sekali, kecuali jika pipanya cukup besar.

Suatu sistem pipa tunggal adalah sistem dengan sebuah pipa yang melayani kedua sisi suatu jalan. Suatu sistem pipa rangkap mempunyai sebuah pada masing- masing sisi jalan. Keuntungan utama dari sistem dua pipa ini adalah bahwa perbaikan dapat dikerjakan tanpa mengganggu lalu lintas dan tanpa merusak lapis penutup jalan. Dalam perencanaan sistem jaringan distribusi pipa air bersih kebutuhan tekanan haruslah dipertimbangkan. Berdasarkan *American Water Works Association*, menyarankan tekanan keran sebesar 5 psi (35 kN/m²) cukup untuk kebanyakan kebutuhan rumah tangga. Bila dianggap ada kehilangan tekanan maksimum sebesar 5 psi (35 kN/m²) di dalam meteran, kira-kira 20 psi (140 kN/m²) di pipa dan saluran pelayanan dalam rumah, sedangkan pipanya terletak kira-kira 5 ft (1,5 m) di bawah permukaan tanah, maka tekanan keseluruhan sebesar kira-kira 35 psi (240 kN/m²) di dalam pipa akan cukup untuk daerah-daerah tempat tinggal dengan rumah tak bertingkat atau bertingkat dua. Bila ditambahkan kira-kira 5 psi (35 kN/m²) untuk setiap tingkat tambahan, maka tekanan sebesar 75 psi (520 kN/m²) akan cukup untuk bangunan-bangunan bertingkat sepuluh.

Perencanaan suatu sistem jaringan pendistribusian air bersih menuntut adanya peta detail dari kota yang bersangkutan, yang memuat garis-garis kontur (atau semua elevasi yang menentukan) serta jalan-jalan dan petak-petak yang ada sekarang maupun yang ada dibangun di masa depan. Setelah menelaah kondisi topografi dan menetapkan sumber air bersih untuk distribusi, kota itu

dapat dibagi atas daerah- daerah yang masing-masing harus dilayani oleh sistem distribusi yang terpisah. Pipa - pipa penyalur haruslah cukup besar mengalirkan kebutuhan yang diperkirakan dengan tekanan yang memadai.

Pengaruh aliran dalam pipa-pipa pelengkap pada awalnya diabaikan, tetapi dapat dihitung kemudian. Aliran didalam jaringan pipa penyalur dianalisis untuk memenuhi kebutuhan di berbagai wilayah yang berbeda. Dalam memilih pipa-pipa penyalur, kebutuhan kapasitas masa depan haruslah di pertimbangkan. Akan lebih bijaksana memperkirakan kebutuhan masa depan daripada menggantikan pipa-pipa yang bersangkutan dengan yang lebih besar di waktu yang akan datang. Setelah jaringan pipa penyalur ditetapkan, pipa-pipa distribusi ditambahkan ke sistem yang bersangkutan. Perhitungan hidrolis hanyalah akan merupakan perkiraan, karena semua faktor yang mempengaruhi aliran barangkali tidak dapat di perhitungkan.

2.2. Defenisi dan Persyaratan Air Bersih

2.2.1. Definisi Air Bersih

Air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan akan menjadi air minum setelah dimasak terlebih dahulu. Sebagai batasannya, air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan bagi sistem penyediaan air minum. Adapun persyaratan yang dimaksud adalah persyaratan dari segi kualitas air yang meliputi kualitas fisik, kimia, biologi dan radiologis, sehingga apabila dikonsumsi tidak menimbulkan efek samping.

2.2.2. Persyaratan dalam Penyediaan Air Bersih

2.2.2.1. Persyaratan Kualitas

Persyaratan kualitas menggambarkan mutu dari air baku air bersih.

Persyaratan kualitas air bersih adalah sebagai berikut :

1. Persyaratan fisik

Secara fisik air bersih harus jernih, tidak berbau dan tidak berasa. Selain itu juga suhu air bersih sebaiknya sama dengan suhu udara atau kurang lebih 25°C , dan apabila terjadi perbedaan maka batas yang diperbolehkan adalah $25^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$.

2. Persyaratan kimiawi

Air bersih tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa persyaratan kimia antara lain adalah : pH, total solid, zat organik, CO_2 agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chlorida (Cl), nitrit, flourida (F), serta logam.

3. Persyaratan bakteriologis

Air bersih tidak boleh mengandung kuman pathogen dan parasitic yang mengganggu kesehatan. Persyaratan bakteriologis ini ditandai dengan tidak adanya bakteri *E. coli* atau *fecal coli* dalam air.

4. Persyaratan radioaktifitas

Persyaratan radioaktifitas mensyaratkan bahwa air bersih tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan yang mengandung radioaktif, seperti sinar alfa, beta dan gamma.

2.2.2.2. Persyaratan Kuantitas (Debit)

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. Kebutuhan air bersih masyarakat bervariasi, tergantung pada letak geografis, kebudayaan, tingkat ekonomi, dan skala perkotaan tempat tinggalnya.

2.2.2.3. Persyaratan Kontinuitas

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 hampir tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia, sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktifitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air. Prioritas pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam per hari, yaitu pada jam-jam aktifitas kehidupan, yaitu pada pukul 06.00 – 18.00.

Kontinuitas aliran sangat penting ditinjau dari dua aspek. Pertama adalah kebutuhan konsumen. Sebagian besar konsumen memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaannya, dalam jumlah yang tidak ditentukan. Karena itu,

diperlukan pada waktu yang tidak ditentukan. Karena itu, diperlukan *reservoir* pelayanan dan fasilitas energi yang siap setiap saat.

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

2.2.2.4. Persyaratan Tekanan Air

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

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 (satu atm = 10 m), dan paling tinggi adalah 22 mka (setara dengan gedung 6 lantai).

Menurut standar dari DPU, air yang dialirkan ke konsumen melalui pipa transmisi dan pipa distribusi, dirancang untuk dapat melayani konsumen hingga yang terjauh, dengan tekanan air minimum sebesar 10mka atau 1atm. Angka

tekanan ini harus dijaga, idealnya merata pada setiap pipa distribusi. Jika tekanan terlalu tinggi akan menyebabkan pecahnya pipa, serta merusak alat-alat plambing (kloset, *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.

2.3. Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air dapat didefinisikan sebagai jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan rumah tangga, industri, pengelolaan kota dan lain – lain. Prioritas kebutuhan air meliputi kebutuhan air domestik, kebutuhan air untuk mengganti kebocoran. Kebutuhan air bersih berbeda antara kota yang satu dengan kota yang lainnya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan air bersih adalah :

1. Iklim

Di daerah panas pemakaian air rerata per orang akan lebih banyak daripada di daerah dingin.

2. Karakteristik Penduduk

Tinggi rendah taraf kehidupan penduduk serta kebiasaan hidup sehari-hari sangat mempengaruhi pula pemakaian air.

3. Keberadaan Industri

Keberadaan industri dapat mempengaruhi banyaknya kebutuhan air per kapita dari suatu kota.

4. Kualitas air

Makin baik kualitas air maka akan semakin meningkat pemakaiannya dan demikian pula sebaliknya. Air yang kurang baik kualitasnya, akan menimbulkan keengganan orang untuk memakainya sehingga pemakaian rerata per orang per hari juga akan menurun.

5. Harga Air

Makin tinggi harga air, makin berhemat orang menggunakannya, sehingga pemakaian rata-rata tiap orang per hari juga akan menurun, walaupun pada umumnya hal ini tidak terlalu besar pengaruhnya.

Untuk memproyeksi jumlah kebutuhan air bersih dapat dilakukan berdasarkan perkiraan kebutuhan air untuk berbagai macam tujuan ditambah perkiraan kehilangan air. Adapun kebutuhan air untuk berbagai macam tujuan pada umumnya dapat dibagi dalam :

a. Kebutuhan domestik

- sambungan rumah
- sambungan kran umum

b. Kebutuhan non domestik

- Fasilitas sosial (Masjid, panti asuhan, rumah sakit dan sebagainya)
- Fasilitas perdagangan/industri
- Fasilitas perkantoran dan lain-lainnya

Sedangkan kehilangan air dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu :

- a. Kehilangan air akibat faktor teknis, misalnya kebocoran dari pipa distribusi
- b. Kehilangan air akibat faktor non teknis, antara lain sambungan tidak terdaftar. Kerusakan meteran air, untuk kebakaran dan lain-lainnya.

2.3.1. Kebutuhan domestik

Merupakan kebutuhan air bersih untuk rumah tangga dan sambungan kran umum. Jumlah kebutuhan didasarkan pada banyaknya penduduk, persentase yang diberi air dan cara pembagian air yaitu dengan sambungan rumah atau melalui kran umum. Jumlah sambungan rumah dihitung dari jumlah pelanggan baru, yaitu 5 orang per sambungan, sedangkan jumlah kran umumnya didasarkan atas 100 orang per kran umum.

Kebutuhan air per orang per hari disesuaikan dengan standar yang biasa digunakan serta kriteria pelayanan berdasarkan pada kategori kotanya. Di dalamnya setiap kategori tertentu kebutuhan air per orang per hari berbeda-beda.

Tabel 2.1 Standar Kebutuhan Air Bersih

Kategori kota	Kebutuhan air bersih (liter/orang/hari)
Kota Metropolitan	190
Kota Besar Kota	170
Sedang Kota Kecil	150
Desa	130

Sumber: DPU Cipta Karya

2.3.2. Kebutuhan non domestik

Kebutuhan non domestik adalah kebutuhan air bersih selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran umum, seperti penyediaan air bersih untuk perkantoran, perdagangan serta fasilitas sosial seperti tempat-tempat ibadah, sekolah, hotel, puskesmas, militer serta pelayanan jasa umum lainnya

Tabel 2.2 Rata-rata Kebutuhan Air Per Orang Per Hari

No.	Jenis Gedung	Pemakaian air rata-rata per hari (liter)	Jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari (jam)	Perbandingan luas lantai efektif/total (%)	Keterangan
1	Perumahan mewah	250	8-10	42-45	Setiap penghuni
2	Rumah biasa	160-250	8-10	50-53	Setiap penghuni
3	Apartemen	200-250	8-10	45-50	Mewah: 250 liter Menengah: 180 ltr Sendiri: 120 ltr
4	Asrama	120	8	45-48	Sendiri
5	Rumah sakit	1000	8-10	50-55	(setiap tempat tidur pasien) Pasien luar: 500 ltr Staf/pegawai: 120 ltr Kelg.pasien: 160 ltr
6	SD	40	5	58	Guru: 100 liter
7	SLTP	50	6	58	Guru: 100 liter
8	SLTA dan lebih tinggi	80	6	-	Guru/Dosen: 100 liter
9	Rumah-toko	100-200	8	-	Penghuninya: 160 ltr

10	Gedung kantor	100	8	60-70	Setiap pegawai
11	Toko serba ada <i>departement store</i>	3	7	55-60	-
12	Pabrik/industri	Buruh pria: 60 wanita: 100	8	-	Per orang, setiap giliran (kalau kerja lebih dari 8 jam/hari)
13	Stasiun/terminal	3	15	-	Setiap penumpang (yang tiba maupun berangkat)
14	Restoran	30	5	-	Untuk penghuni 160 ltr
15	Restoran umum	15	7	-	Untuk penghuni: 160 ltr, pelayan: 100 ltr 70% dari jumlah tamu perlu 15 ltr/org untuk kakus, cuci tangan dsb.
16	Gedung pertunjukan	30	5	53-55	Kalau digunakan siang dan malam, pemakaian air dihitung per penonton, jam pemakaian air dalam tabel adalah untuk satu kali pertunjukan
17	Gedung bioskop	10	7	-	-
18	Toko pengecer	40	6	-	Pedangan besar: 30 liter/tamu, 10 liter/staff atau, 5 liter per hari setiap m2 luas lantai

19	Hotel/penginapan	250-300	10	-	Untuk setiap tamu, untuk staf 120-150 liter; penginapan 200 liter
20	Gedung peribadatan	10	2	-	Didasarkan jumlah jemaah per hari
21	Perpustakaan	25	6	-	Untuk setiap pembaca yang tinggal
22	Bar	30	6	-	Setiap tamu
23	Perkumpulan social	30	-	-	Setiap tamu
24	Kelab malam	120-350	-	-	Setiap tempat duduk
25	Gedung perkumpulan	150-200	-	-	Setiap tamu
26	Laboratorium	100-200	8	-	setiap staff

Sumber: (Soufyan Moh. Noerbambang & Takeo Morimura, 2005)

2.3.3. Kehilangan air

Kehilangan air pada PDAM diasumsikan sekitar 20 % - 30 %. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu :

1. Kebocoran pada pipa distribusi akibat bencana alam ataupun akibat aktifitas manusia, misalnya : proyek perbaikan jalan dan lain sebagainya.
2. Pencurian pada beberapa tempat sering kali tidak dapat dihindari.
3. Kerusakan pada peralatan instalasi misalnya : kerusakan pintu air, kerusakan pipa besi akibat korosi dan lain sebagainya.

2.3.4. Fluktuasi kebutuhan air

Kebutuhan air tidak selalu sama untuk setiap saat tetapi akan berfluktuasi. Fluktuasi yang terjadi tergantung pada suatu aktivitas penggunaan air dalam keseharian oleh masyarakat. Pada umumnya kebutuhan air dibagi dalam tiga kelompok:

1. Kebutuhan rerata
2. Kebutuhan harian maksimum
3. Kebutuhan pada jam puncak

Kebutuhan harian maksimum dan jam puncak sangat diperlukan dalam perhitungan besarnya kebutuhan air baku, karena hal ini menyangkut kebutuhan pada hari-hari tertentu dan pada jam puncak pelayanan. Sehingga penting mempertimbangkan suatu nilai koefisien untuk keperluan tersebut. Kebutuhan air harian maksimum dan jam puncak dihitung berdasarkan kebutuhan dasar dan nilai kebocoran dengan pendekatan sebagai berikut :

1. Kebutuhan harian maksimum = $1,15 \times$ Kebutuhan air rata-rata
2. Kebutuhan pada jam puncak = $1,56 \times$ Kebutuhan harian maksimum

(Sumber : PDAM Kota Medan)

2.4. Sumber Air

Sumber air baku bagi suatu penyediaan air bersih sangat penting, karena selain kuantitas harus mencukupi juga dari segi kualitas akan berpengaruh terhadap proses pengolahan. Disamping itu letak sumber air dapat mempengaruhi bentuk jaringan transmisi, distribusi dan sebagainya.

Secara umum sumber air dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Air Hujan

Air hujan adalah uap air yang sudah mengalami kondensasi, kemudian jatuh ke bumi berbentuk air.

2. Air Permukaan

Air permukaan dapat berasal dari sungai, danau dan air tanah yang mengalir keluar dari bumi (mata air).

3. Air Tanah

Air tanah merupakan air hujan atau air permukaan yang meresap ke dalam tanah dan bergabung dalam pori-pori tanah yang terdapat pada lapisan tanah yang biasanya disebut akuifer.

Dalam menentukan sumber air baku untuk suatu sistem penyediaan air bersih diperlukan suatu pertimbangan tertentu, agar air baku yang dipilih selain memenuhi persyaratan kuantitas dan kualitas juga lebih mudah diperoleh, baik dari segi teknis maupun ekonomis.

2.5. Sistem Distribusi dan Sistem Pengaliran Air Bersih

2.5.1. Sistem Distribusi Air Bersih

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

Sistem distribusi air minum terdiri atas perpipaan, katup-katup, dan pompa yang membawa air yang telah diolah dari instalasi pengolahan menuju pemukiman, perkantoran dan industri yang mengkonsumsi air. Juga termasuk dalam sistem ini adalah fasilitas penampung air yang telah diolah (reservoir distribusi), yang digunakan saat kebutuhan air lebih besar dari suplai instalasi, meter air untuk menentukan banyak air yang digunakan, dan keran kebakaran.

Dua hal penting yang harus diperhatikan pada sistem distribusi adalah tersedianya jumlah air yang cukup dan tekanan yang memenuhi (kontinuitas pelayanan), serta menjaga keamanan kualitas air yang berasal dari instalasi pengolahan. Tugas pokok sistem distribusi air bersih adalah menghantarkan air bersih kepada para pelanggan yang akan dilayani, dengan tetap memperhatikan faktor kualitas, kuantitas dan tekanan air sesuai dengan perencanaan awal. Faktor yang didambakan oleh para pelanggan adalah ketersediaan air setiap waktu. Suplai air melalui pipa induk mempunyai dua macam sistem:

Continuous system

Dalam sistem ini air minum yang disuplai ke konsumen mengalir terus menerus selama 24 jam. Keuntungan sistem ini adalah konsumen setiap saat dapat memperoleh air bersih dari jaringan pipa distribusi di posisi pipa manapun. Sedang kerugiannya pemakaian air akan cenderung akan lebih boros dan bila terjadi sedikit kebocoran saja, maka jumlah air yang hilang akan sangat besar jumlahnya.

Intermittent system

Dalam sistem ini air bersih disuplai 2-4 jam pada pagi hari dan 2-4 jam pada sore hari. Kerugiannya adalah pelanggan air tidak bisa setiap saat mendapatkan air dan perlu menyediakan tempat penyimpanan air dan bila terjadi kebocoran maka air untuk *fire fighter* (pemadam kebakaran) akan sulit didapat. Dimensi pipa yang digunakan akan lebih besar karena kebutuhan air untuk 24 jam hanya disuplai dalam beberapa jam saja. Sedang keuntungannya adalah pemborosan air dapat dihindari dan juga sistem ini cocok untuk daerah dengan sumber air yang terbatas.

2.5.2. Sistem Pengaliran Air Bersih

Untuk mendistribusikan air minum kepada konsumen dengan kuantitas, kualitas dan tekanan yang cukup memerlukan sistem perpipaan yang baik, reservoir, pompa dan dan peralatan yang lain. Metode dari pendistribusian air tergantung pada kondisi topografi dari sumber air dan posisi para konsumen berada. Adapun sistem pengaliran yang dipakai adalah sebagai berikut;

a. Cara Gravitasi

Cara pengaliran gravitasi digunakan apabila elevasi sumber air mempunyai perbedaan cukup besar dengan elevasi daerah pelayanan, sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan. Cara ini dianggap cukup ekonomis, karena hanya memanfaatkan beda ketinggian lokasi.

b. Cara Pemompaan

Pada cara ini pompa digunakan untuk meningkatkan tekanan yang diperlukan untuk mendistribusikan air dari reservoir distribusi ke konsumen. Sistem ini digunakan jika elevasi antara sumber air atau instalasi pengolahan dan daerah pelayanan tidak dapat memberikan tekanan yang cukup.

c. Cara Gabungan

Pada cara gabungan, reservoir digunakan untuk mempertahankan tekanan yang diperlukan selama periode pemakaian tinggi dan pada kondisi darurat, misalnya

saat terjadi kebakaran, atau tidak adanya energi. Selama periode pemakaian rendah, sisa air dipompakan dan disimpan dalam reservoir distribusi. Karena reservoir distribusi digunakan sebagai cadangan air selama periode pemakaian tinggi atau pemakaian puncak, maka pompa dapat dioperasikan pada kapasitas debit rata-rata.

2.6. Hidraulika Aliran dalam Perpipaan

2.6.1. Pipa Bertekanan

Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri dalam keadaan penuh. Pipa semacam ini seringkali lebih murah daripada saluran terbuka atau talang air, karena pada umumnya mengambil lintasan yang lebih pendek. Bila air langka didapat, pipa bertekanan dapat digunakan untuk menghindari kehilangan air akan rembesan yang terjadi pada saluran terbuka. Pipa bertekanan lebih disukai untuk pelayanan penyediaan air minum, karena kemungkinan tercemarnya lebih sedikit. Karena insinyur pengairan hampir secara eksklusif menangani masalah aliran turbulen di dalam pipa.

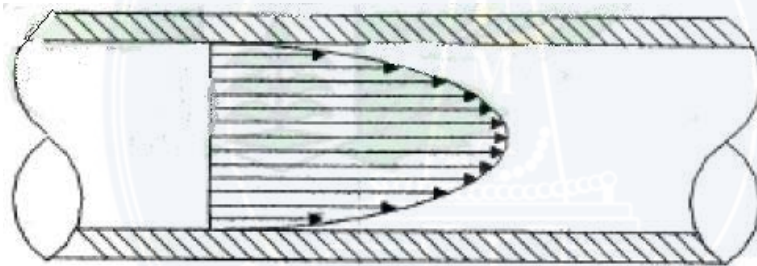
2.6.2. Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

Penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan untuk membantu dalam menentukan besarnya kapasitas aliran sehingga pengukuran kecepatan merupakan fase yang sangat penting dalam

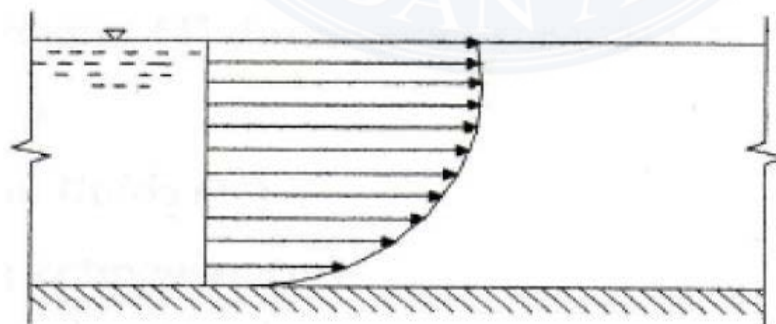
menganalisa suatu aliran fluida. Kecepatan dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap waktu yang dibutuhkan suatu partikel yang dikenali untuk bergerak sepanjang jarak yang telah ditentukan.

Besarnya kecepatan aliran fluida pada suatu pipa mendekati nol pada dinding dan mencapai maksimum pada tengah-tengah pipa. Kecepatan biasanya sudah cukup untuk menempatkan kekeliruan yang tidak serius dalam masalah aliran fluida sehingga penggunaan kecepatan sesungguhnya adalah pada penampang aliran.

Bentuk kecepatan yang digunakan pada aliran fluida umumnya menunjukkan kecepatan yang sebenarnya jika tidak ada keterangan lain yang disebutkan.



Gambar 2.1 Profil kecepatan aliran fluida pada saluran tertutup



Gambar 2.2 Profil kecepatan aliran fluida pada saluran terbuka

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran mungkin dinyatakan sebagai volume, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m^3/s), laju aliran berat (N/s) dan laju aliran massa (kg/s).

Kapasitas aliran (Q) untuk fluida yang incompressible yaitu :

$$Q = A.V \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : Q = Laju aliran volume (m^3/s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

Laju aliran berat fluida (W) dirumuskan sebagai berikut :

$$W = \gamma.A.V \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : W = Laju aliran berat fluida (N/s)

γ = Berat jenis fluida (N/m^3)

Laju aliran fluida massa (M) dirumuskan sebagai berikut :

$$M = \rho.A.V \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : M = Laju aliran massa fluida (kg/s)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

2.6.2. Aliran Laminar dan Turbulen

Aliran fluida yang mengalir di dalam pipa dapat di klasifikasikan ke dalam dua tipe aliran yaitu “laminar” dan “turbulen”. Aliran dikatakan laminar jika partikel- partikel fluida yang bergerak mengikuti garis lurus yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan sama. Aliran dikatakan turbulen jika tiap

partikel fluida bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-ratanya saja yang mengikuti sumbu pipa.

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa gesekan untuk pipa silindris merupakan fungsi dari bilangan Reynold (Re). dalam menganalisa aliran didalam saluran tertutup, sangatlah penting untuk mengetahui tipe aliran yang mengalir dalam pipa tersebut. Untuk itu harus dihitung besarnya bilangan Reynold dengan mengetahui parameter-parameter yang diketahui besarnya. Besarnya Reynold (Re) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{\rho d V}{\mu} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : μ = viskositas dinamik (Pa.dtk)

d = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran dalam fluida (m/dtk)

ρ = rapat massa (kg/m^3) Re = Reynold number

Aliran akan laminar jika bilangan Reynold kurang dari 2100 dan akan turbulen jika bilangan Reynold lebih besar dari 3000. Jika bilangan Reynold terletak antara 2100-3000 maka aliran disebut aliran transisi.

2.6.3. Kehilangan tinggi tekan

Headloss atau kehilangan tekanan karena gesekan antara cairan dan dinding pipa dihitung dengan menggunakan rumus Darcy-Weisbach atau Hazen William. Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri air dalam keadaan penuh, pipa bertekanan dapat digunakan untuk menghindari kehilangan air

sikat rembesan dan penguapan yang terjadi pada saluran terbuka. Pipa bertekanan lebih disukai untuk pelayanan air minum, karena lebih sedikit kemungkinan tercemar (Ray K. Linsey, Joseph B. Franzini 1985). Pada tiap jaringan pipa terdapat 2 syarat yang harus dipenuhi:

1. Jumlah aljabar dari penurunan tekanan di keliling setiap putaran tertutup haruslah sama dengan 0.
2. Aliran yang memasuki suatu titik pertemuan harus sama besar dengan yang meninggalkan titik tersebut.

Syarat yang pertama menyatakan tidak boleh terjadi tekanan yang tidak berkesinambungan, berarti bahwa turunnya tekanan pada jalur manapun antara 2 (dua) buah titik pertemuan haruslah sama besar. Syarat kedua adalah pernyataan tentang hukum kontinuitas.

Masalah jaringan pipa dipecahkan dengan metode pendekatan yang berturut-turut, karena setiap penyelesaian analisis akan membutuhkan penggunaan berbagai persamaan sekaligus, yang beberapa di antaranya tidak linear. Suatu prosedur yang disarankan oleh Hardy Cross (*Analysis of flow in Networks of conduits or Conductors*) menuntut bahwa aliran di dalam tiap-tiap pipa dianggap sedemikian rupa, sehingga asas-asas kontinuitas dipenuhi pada masing-masing titik simpul. Suatu koreksi terhadap besar aliran yang diandalkan haruslah dihitung berturut-turut untuk setiap putaran pipa di dalam jaringan yang bersangkutan, sehingga koreksinya berkurang hingga suatu besaran yang dapat diterima.

Air didistribusikan ke konsumen dengan beberapa cara, tergantung kepada kondisi tempat atau pertimbangan-pertimbangan tertentu, metode tersebut antara lain:

1. Sistem gravitasi
2. Sistem pompa dengan bak penampung
3. Sistem pompa tanpa bak penampung

Sistem pendistribusian dalam pipa antara lain:

1. Sistem pendistribusian adalah sistem pohon atau ujung tertutup (*tree or deadend system*)
2. Sistem lingkaran atau cincin
3. Sistem *grid iron*
4. Sistem radial

Table 2.3. Rumus pada saluran bertekanan

No	Nama Persamaan	Rumus
1	Kontinuitas	$A_1.V_1 = A_2.V_2 = \text{Konstan}$ $Q_1 = Q_2$
2	Bernoulli	$v_1^2/2g + p_1/\rho g + Z_1$ $= v_2^2/2g + p_2/\rho g + Z_2 + H_{\text{loss}}$
3	Darcy-Weisbach	$H_{\text{loss}} = f.L/D.v^2/2g$
4	Hazen William	$Q = 0.2785.C.D^{2.63}.S^{0.54}$
5	Bilangan Reynold	$N_{re} = v.D/\nu$
6	Minor losses	$H_m = k.v^2/2g$

2.6.3.1. Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan minor dalam pipa diakibatkan oleh perubahan-perubahan mendadak dari geometri aliran karena perubahan ukuran pipa, belokan-belokan, katup-katup serta berbagai jenis sambungan. Pada pipa-pipa yang panjang, kehilangan minor ini sering diabaikan tanpa kesalahan yang berarti, tetapi menjadi cukup penting pada pipa yang pendek.

Kehilangan minor pada umumnya lebih besar bila aliran mengalami perlambatan daripada bila terjadi peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa. Kehilangan minor didalam aliran turbulen bervariasi kira-kira sebanding dengan dua kali kecepatannya dan biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari tinggi kecepatan (Tabel terlampir). Harulah diingat bahwa tinggi kecepatan akan berkurang pada debit yang terbenam (suatu kasus dari pelebaran mendadak). Kehilangan tinggi tekanan pada debit yang terbenam dapat diperkecil dengan memasang suatu bagian pipa yang cembung untuk mengurangi kecepatan aliran.

$$\text{Rumus umum : } h_e = K \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana : h_e = Head losses minor

K = koefisien kerugian

V = kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/dtk).

Tabel 2.4. Kehilangan minor dalam pipa akibat pelebaran

Nilai-nilai K_L dalam $h_{lm} = K_L \left(\frac{v_1 - v_2}{2g} \right)^2$		
θ	$\frac{D_2}{D_1}$	K_L
		1,5
10	0,17	0,17
20	0,40	0,40
45	0,86	1,06
60	1,02	1,21
90	1,06	1,14
120	1,04	1,07
180	1,00	1,00

Tabel 2.5. Kehilangan minor di jaringan pipa akibat penyempitan mendadak

Rumus $h_{lm} = K_L \frac{v^2}{2g}$	
$\frac{D_2}{D_1}$	K_L
0	0,5
0,4	0,4
0,6	0,3
0,8	0,1
1,0	0

Tabel 2.6. Kehilangan minor di jaringan pipa akibat belokan

Jari-jari belokan	Sudut belokan		
	Garis tengah	90°	45°
1	0,50	0,37	0,25
2	0,30	0,22	0,15
4	0,25	0,19	0,12
6	0,15	0,11	0,08
8	0,15	0,11	0,08

Tabel 2.7. kehilangan minor di jaringan pipa akibat katup dan sambungan

Rumus $h_{lm} = K \frac{v^2}{2g}$	
Katup bola (terbuka lebar)	10
Katup pengatur ayunan (terbuka lebar)	2,5
Katup pintu (terbuka lebar)	0,2
Katup pintu (terbuka separuh)	5,6
Tikungan balik	2,2
T-baku	1,8
Siku-siku 90° baku	0,9

Untuk kehilangan minor di jaringan pipa akibat mulut pipa dari waduk

$$\text{Mulut lonceng } h_l = 0,04 \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Tepi siku-siku } h_l = 0,5 \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.6.3.2. Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran fluida (kerugian kecil).

Kerugian head akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari dua rumus berikut yaitu ;

1. Persamaan Darcy-Weisbach :

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : hf = kehilangan head akibat gesekan (m)

f = faktor gesekan

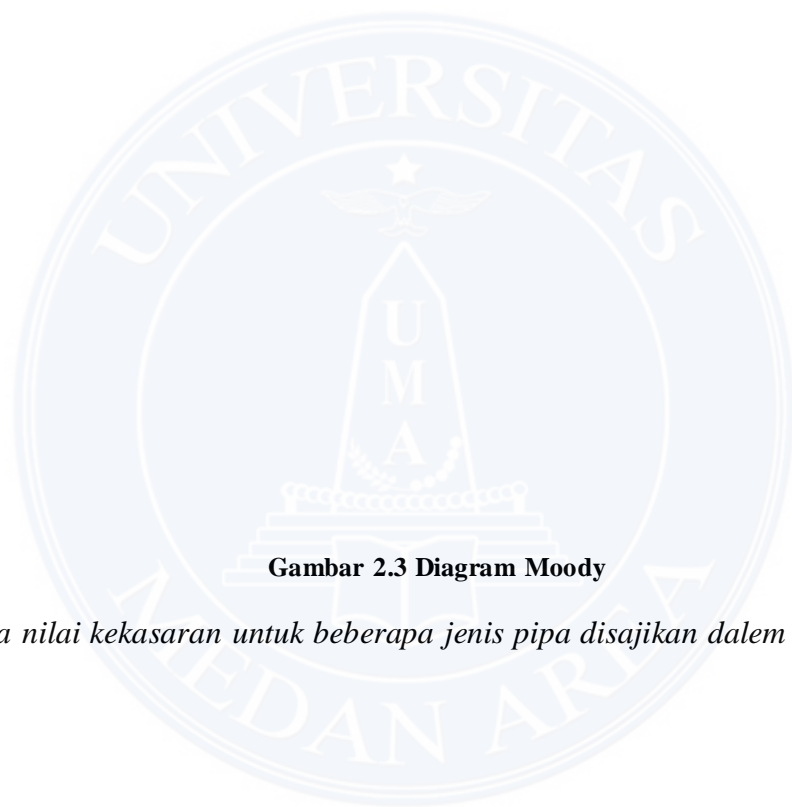
d = diameter dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/dtk)

g = percepatan gravitasi (m/dtk²)

dimana faktor gesekan (f) dapat dicari dengan menggunakan diagram *Moody*.



Gambar 2.3 Diagram Moody

Dimana nilai kekasaran untuk beberapa jenis pipa disajikan dalam tabel 2.8

Tabel 2.8 Nilai kekerasan dinding untuk berbagai pipa komersil

Bahan	Kekasaran	
	Ft	M
Riveted Steel	0.003 – 0.3	0.0009 – 0.009
Concrete	0.001 – 0.1	0.0003 – 0.003
Wood Stave	0.0006 – 0.003	0.0002 – 0.009
Cast Iron	0.00085	0.00026
Galvanized Iron	0.0005	0.00015
Asphalted Cast Iron	0.0004	0.0001
Commercial Steel or Wrought Iron	0.00015	0.000046
Drawn Brass or Copper Tubing	0.000005	0.0000015
Glass and Plastic	“smooth”	“smooth”

Sumber : Jack B. Evett, Cheng Liu. Fundamentals of Fluids Mechanics. McGraw Hill. New York. 1987.

2. Persamaan Hazen – Williams

Rumus ini pada umumnya dipakai untuk menghitung kerugian head dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa air minum.

Bentuk umum persamaan Hazen – Williams yaitu :

$$hf = \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85} d^{4,85}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000, maka hubungan antara bilangan Reynold, faktor gesekan dan kekasaran relatif menjadi lebih kompleks. Faktor gesekan untuk aliran turbulen dalam pipa didapatkan dari hasil eksperimen antara lain :

1. Untuk daerah complete roughness, rough pipes yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0 \log \left(\frac{3,7}{\varepsilon/d} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

2. Untuk pipa sangat halus seperti glass dan plastic, hubungan antara bilangan Reynold dan faktor gesekan yaitu :

- a. Blasius : $f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$, untuk $Re = 3000 - 100.000$ (2.11)

- b. Von Karman : $\frac{1}{f} = 2,0 \log \left[\frac{Re \sqrt{f}}{2,51} \right] \dots\dots\dots(2.12)$
 $= 2,0 \log (Re \sqrt{f}) - 0,8$, Untuk Re sampai dengan $3,10^6$

3. Untuk pipa kasar, yaitu :

Von Karman : $\frac{1}{f} = 2,0 \log \frac{d}{\varepsilon} + 1,74 \dots\dots\dots(2.13)$

Dimana harga f tidak tergantung pada bilangan Reynold.

4. Untuk pipa antara kasar dan halus atau dikenal dengan daerah transisi yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left[\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Corelbrook – white :(2.14)

2.7. Persamaan Empiris Untuk Aliran Di Dalam Pipa

Seperti yang diuraikan sebelumnya bahwa permasalahan aliran fluida dalam pipa dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan Darcy-Weisbach dan Diagram Moody. Penggunaan rumus empiris juga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran. Dalam hal ini digunakan dua model rumus yaitu persamaan Hazen Williams dan persamaan Manning.

1. Persamaan Hazen-Williams dengan menggunakan satuan international yaitu:

$$V = 0,8492 C R^{0,63} s^{0,54} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana : v = kecepatan aliran (m/s)

C = koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

R = jari-jari hidrolis ; $d/4$ untuk pipa bundar

s = slope dari gradient energi (H_l/L)

Tabel 2.9. Koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

Jenis pipa	C
Extremely smooth and straight pipes	140
New Steel or Cast Iron	130
Wood;concrete	120

New Riveted Steel; vitrified 110

Old Cast Iron 100

Very Old and Corroded Cast Iron 80

Sumber : Jack B. Evett, Cheng Liu. *Fundamentals of Fluids Mechanics*. McGraw Hill. New York. 1987.

2. Persamaan Manning dengan satuan international yaitu

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana : n = koefisien kekasaran pipa Manning

Persamaan Hazen-Williams umumnya digunakan untuk menghitung *headloss* dalam pipa yang sangat panjang seperti jalur pipa penyedia air minum. Persamaan ini tidak dapat digunakan untuk zat cair lain selain air dan digunakan khusus untuk aliran yang bersifat turbulen. Persamaan Darcy-Weisbach secara teoritis tepat digunakan untuk semua rezim aliran dan semua jenis zat cair. Persamaan Manning biasanya digunakan untuk saluran terbuka (*open channel flow*).

2.8. Mekanisme Aliran Dalam Pipa

Sistem perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ketempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di keduatempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena adanya pompa. Beberapa contoh sistem perpipaan adalah pipa pembawa dan pipa pesat dari waduk ke turbin pembangkit listrik tenaga air, jaringan air minum diperkotaan, dan sebagainya.

2.8.1. Pipa Hubungan Seri

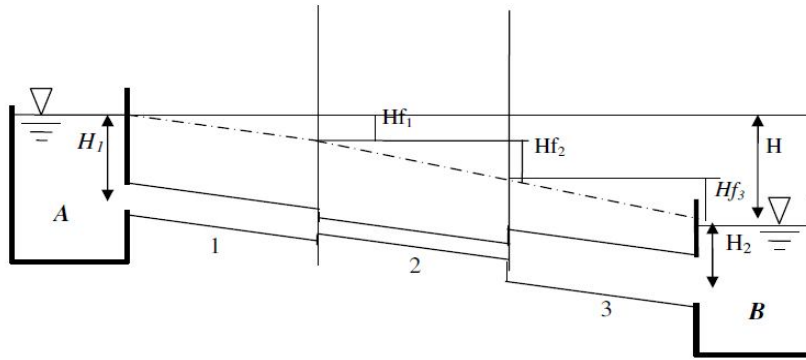
Jika dua buah pipa atau lebih dihubungkan secara seri maka semua pipa akan dialiri oleh aliran yang sama. Total kerugian *head* pada seluruh sistem adalah jumlah kerugian pada setiap pipa dan perlengkapan pipa yang dirumuskan sebagai :

$$Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Q_0 = A_1V_1 = A_2V_2 = A_3V_3 \dots\dots\dots(2.18)$$

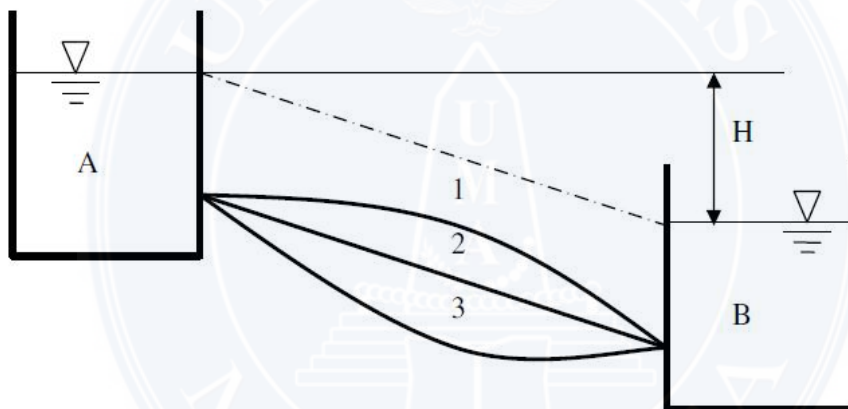
$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} \dots\dots\dots(2.19)$$

Persoalan yang menyangkut pipa seri sering dapat diselesaikan dengan menggunakan pipa ekuivalen, yaitu dengan menggantikan pipa seri dengan diameter yang berbeda-beda dengan satu pipa ekuivalen tunggal. Dalam hal ini, pipa tunggal tersebut memiliki kerugian *head* yang sama dengan system yang akan digantikannya untuk laju yang spesifik.



Gambar 2.4 Pipa yang dihubungkan seri

2.8.2. Pipa Hubungan Pararel



Gambar 2.5 Pipa hubungan pararel

Jika ada dua buah pipa atau lebih yang dihubungkan secara pararel, total laju aliran sama dengan jumlah laju aliran yang melalui setiap cabang dan rugi *head* pada sebuah cabang sama dengan yang lain yang dirumuskan sebagai :

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

$$Q_0 = A_1V_1 + A_2V_2 + A_3V_3 \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

$$h_{l1} = h_{l2} = h_{l3} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa persentase aliran yang melalui setiap cabang adalah sama tanpa memperhitungkan kerugian head pada cabang tersebut.

Rugi *head* pada setiap cabang boleh dianggap sepenuhnya terjadi akibat gesekan atau akibat katup dan perlengkapan pipa, diekspresikan menurut panjang pipa atau koefisien losses di kali *head* kecepatan dalam pipa yang dirumuskan

sebagai :

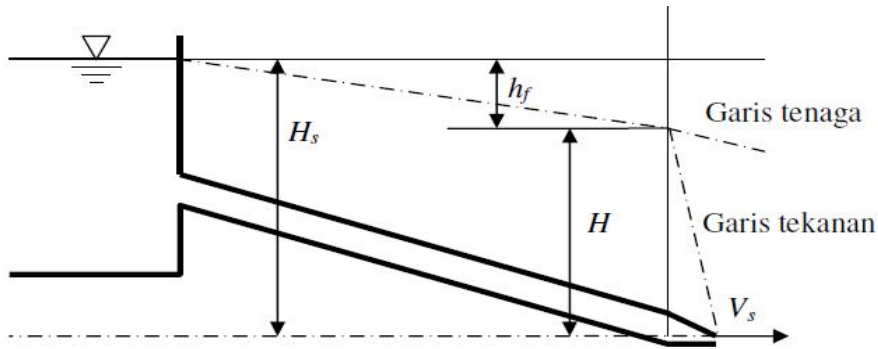
$$\left[f_1 \frac{L_1}{d_1} + \sum K_{L1} \right] \frac{V_1^2}{2g} = \left[f_2 \frac{L_2}{d_2} + \sum K_{L2} \right] \frac{V_2^2}{2g} = \left[f_3 \frac{L_3}{d_3} + \sum K_{L3} \right] \frac{V_3^2}{2g} = \dots (2.23)$$

Diperoleh hubungan kecepatan :

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{[f_1 \frac{L_1}{d_1}] + \sum K_{L1}}{[f_2 \frac{L_2}{d_2}] + \sum K_{L2}}}$$

2.8.3. Pipa Dengan Turbin

Di dalam pembangkit tenaga listrik, tenaga air digunakan untuk memutar turbin. Untuk mendapatkan kecepatan yang besar guna memutar turbin, pada ujung pipa diberi curat. Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.4 dengan menganggap kehilangan tenaga sekunder kecil maka disepanjang pipa garis tenaga berimpit dengan garis tekanan. Garis tenaga turun secara teratur (perlahanlahan), karena adanya kehilangan tenaga akibat gesekan. Di bagian curat, garis tenaga turun dengan tajam menuju ujung hilir curat dimana tekanan adalah atmosfer.



Gambar 2.6 Pipa dengan curat

Dengan menganggap kehilangan tenaga sekunder diabaikan, tinggi tekanan efektif \$H\$ adalah sama dengan tinggi statis \$H_s\$ dikurangi kehilangan tenaga akibat gesekan \$h_f\$.

$$H = H_s - h_f \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

Kehilangan tenaga \$h_f\$ diberikan oleh persamaan Darcy-Weisbach :

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8 f L Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

Mengingat \$V = Q / A = Q / \frac{1}{4} \pi D^2\$(2.26)

Dengan demikian tinggi tekanan efektif adalah :

$$H = H_s - \frac{8 f L Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

Daya yang tersedia pada curat :

$$D = Q H g \text{ (kgf m/dtk)} \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan:

- \$Q\$ = debit aliran (m³/dtk)
- \$H\$ = tinggi tekanan efektif (m)
- \$G\$ = berat jenis zat cair (kgf/m³)

Apabila dikehendaki satuan dalam hp (*horse power*, daya kuda) maka:

$$D \quad (\text{hp}) \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

Apabila efisiensi turbin adalah η maka daya yang diberikan oleh turbin adalah:

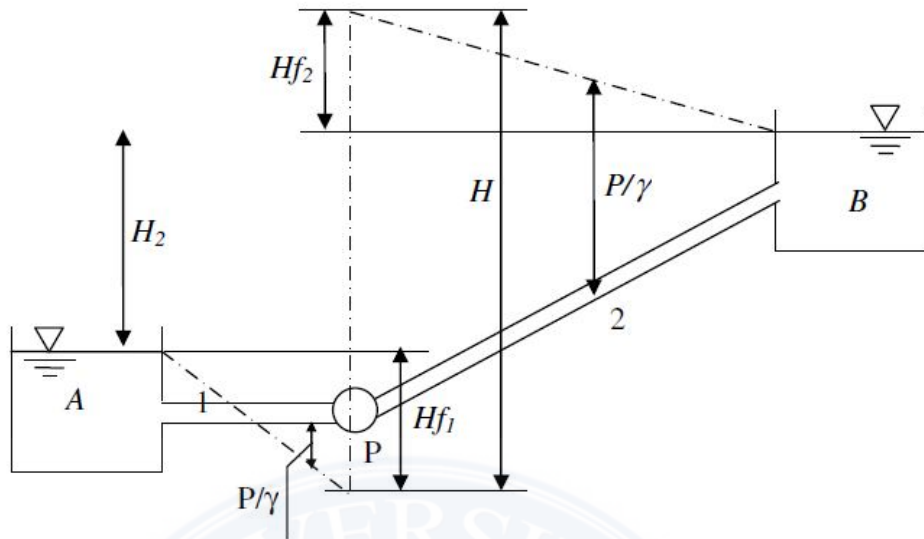
$$D \quad (\text{hp}) \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

Substitusi dari persamaan (2.28) ke dalam persamaan (2.29) maka :

$$D = \frac{QH\gamma\eta}{75} \left[H_s - \frac{8fLQ^2}{g\pi^2 D^5} \right] \dots\dots\dots(2.31)$$

2.8.4. Pipa Dengan Pompa

Jika pompa menaikkan zat cair dari kolam satu ke kolam lain dengan selisih elevasi muka air H_2 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7 maka daya yang digunakan oleh pompa untuk menaikkan zat cair setinggi H_s adalah sama dengan tinggi H_2 ditambah dengan kehilangan tenaga selama pengaliran dalam pipa tersebut. Kehilangan tenaga adalah ekuivalen dengan penambahan tinggi elevasi, sehingga efeknya sama dengan jika pompa menaikkan zat cair setinggi $H = H_2 + \sum hf$. Dalam gambar tersebut tinggi kecepatan diabaikan sehingga garis tenaga berimpit dengan garis tekanan.



Gambar 2.7 Pipa dengan pompa

Kehilangan tenaga terjadi pada pengaliran pipa 1 dan 2 yaitu sebesar hf_1 dan hf_2 . Pada pipa 1 yang merupakan pipa isap, garis tenaga (dan tekanan) menurun sampai dibawah pipa. Bagian pipa dimana garis tekanan di bawah sumbu pipa mempunyai tekanan negatif. Sedang pipa 2 merupakan pipa tekan. Daya yang diperlukan pompa untuk menaikkan zat cair :

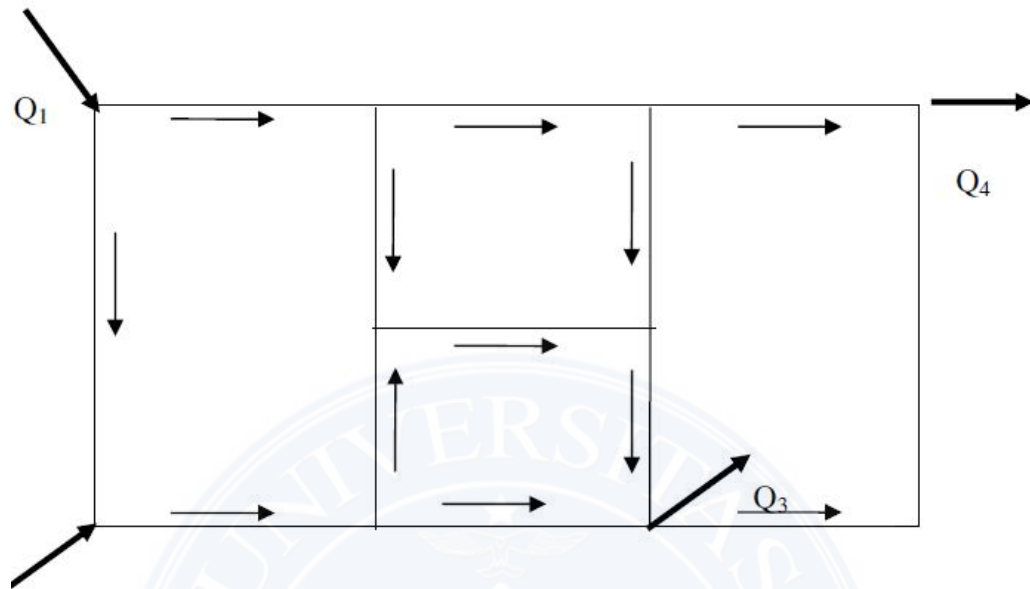
$$(kgf m/dtk) \dots\dots\dots(2.32)$$

atau

$$\dots\dots\dots(2.33)$$

dengan h adalah efisiensi pompa. Pada pemakaian pompa, efisiensi pompa digunakan sebagai pembagi dalam rumus daya pompa.

2.9. Sistem Jaringan Pipa



Gambar 2.8 Contoh suatu sistem 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 zaman Belanda. Hal demikian menimbulkan beberapa kemungkinan terjadinya permasalahan-permasalahan seperti:

- kebocoran
 - lebih sering terjadi kerusakan pipa atau komponen lainnya
 - besarnya tinggi energi yang hilang
 - penurunan tingkat layanan penyediaan air bersih untuk konsumen
- permasalahan-permasalahan diatas diperparah lagi dengan meningkatnya sambungan-sambungan baru untuk daerah-daerah permukiman

tanpa memperhatikan kemampuan ketersediaan air dan kemampuan sistem jaringan air minum tersebut.

Jaringan pipa pengangkut air kompleks dapat dianalisis dengan cepat menggunakan persamaan Hazen-Williams atau rumus gesekan lainnya yang sesuai. Perhitungan distribusi aliran pada suatu jaringan biasanya rumit karena harus memecahkan serangkaian persamaan hambatan yang tidak linear melalui prosedur yang iteratif. Kesulitan lainnya adalah kenyataan bahwa kebanyakan jaringan, arah aliran pipa tidak diketahui sehingga *losses* antara dua titik menjadi sukar untuk ditentukan. Dalam perancangan sebuah jaringan, aliran dan tekanan diberbagai titik menjadi persyaratan utama untuk menentukan ukuran pipa, sehingga harus diselesaikan dengan cara berurutan dan iterasi.

Sebuah jaringan yang terdiri dari sejumlah pipa mungkin membentuk sebuah *loop*, dimana pipa yang sama dipakai oleh dua *loop* yang berbeda, seperti terlihat pada gambar diatas. Ada dua syarat yang harus diperhatikan agar aliran dalam jaringan tersebut setimbang, yaitu :

1. Aliran netto ke sebuah titik harus sama dengan nol. Ini berarti bahwa laju aliran ke sebuah titik pertemuan harus dengan laju aliran dari titik pertemuan yang sama.
2. *Head losses* netto diseputar sebuah *loop* harus sama dengan nol. Jika sebuah *loop* ditelusuri ke arah manapun, sambil mengamati perubahan akibat gesekan atau *losses* yang lain, kita harus mendapatkan aliran yang setimbang ketika kembali ke kondisi semula (head dan tekanan) pada kondisi awal.

Prosedur untuk menentukan distribusi distribusi aliran dalam suatu jaringan meliputi penentuan aliran pada setiap sehingga kontinuitas pada setiap pertemuan terpenuhi (syarat 1). Selanjutnya *Head losses* dari setiap *loop* dihitung dan jika tidak sama dengan nol maka aliran yang telah ditetapkan harus dikoreksi kembali dengan perkiraan dan metode iterasi yang disebut metode *Hardy Cross*.

Untuk sebuah *loop* tertentu dalam suatu jaringan misalkan Q adalah laju aliran sesungguhnya atau laju aliran setimbang dan Q0 adalah laju aliran yang diandaikan sehingga $Q = Q_0 + \Delta Q$. Dari persamaan Hazen – Williams $h_l = N Q^x$, maka fungsi Q dapat dikembangkan dalam deret Taylor sebagai :

$$(Q + \Delta Q) = f(Q) +$$

Jika hanya orde pertama yang digunakan, kemudian ΔQ dihitung dengan

$$f(Q) = \sum h_l$$

$$\text{maka : } \Delta Q = - \frac{\sum h_l}{\frac{d \sum h_l}{dQ}} = - \frac{\sum n Q_0^x}{\sum n Q_0^{x-1}} = \frac{\sum h_l}{1.85 \sum d h_l / Q_0}$$

.....(2.35)

$$\frac{1}{0.54} =$$

Harga x adalah eksponen dalam persamaan Hazen – Williams bila digunakan untuk menghitung h_l dan besarnya adalah **1.85** dan n menyatakan suku-suku yang terdapat dalam persamaan yang menggunakan satuan British, yaitu :

.....(2.36)

Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan persamaan Darcy – Weisbach

dengan $x = 2$ dan $\frac{8fL}{g\pi^2 d^5}$ hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa faktor gesekan selalu berubah untuk setiap iterasi.

Prosedur pengerjaannya sebagai berikut :

1. Andaikan distribusi aliran yang paling wajar, baik besar maupun arahnya dalam setiap pipa sehingga total aliran ke setiap titik pertemuan mempunyai jumlah aljabar nol. Ini harus ditunjukkan dari diagram jaringan pipa yang bersangkutan.
2. Buat sebuah tabel untuk menganalisa setiap *loop* tertutup dalam jaringan yang semi-independen.
3. Hitung *head losses* pada setiap pipa.
4. Untuk tiap *loop*, anggap bahwa laju aliran Q_0 dan *head losses* (hl) positif untuk tiap aliran yang searah jarum jam dan negatif untuk aliran yang berlawanan arah jarum jam.
5. Hitung jumlah aljabar *head losses* ($\sum hl$) dalam setiap pipa.
6. Hitung total *head losses* persatuan laju aliran untuk tiap pipa.

Tentukan jumlah besaran $\sum \left[\frac{hl}{Q_0} \right]$ dari defenisi tentang *head*.

7. *Losses* dan arah aliran, setiap suku dalam penjumlahan ini harus bernilai positif.

8. Tentukan koreksi aliran dari tiap *loop*, dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Q = \frac{-\sum hl}{n \sum hl / Q_0} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana : ΔQ = koreksi laju aliran untuk *loop*

$\sum hl$ = jumlah aljabar kerugian head untuk semua pipa dalam *loop*

n = harga yang bergantung pada persamaan yang digunakan untuk menghitung laju aliran.

$n = 1.85$ bila digunakan persamaan Hazen – Williams

. $n = 2$ bila digunakan persamaan Darcy – Weisbach.

Koreksi diberikan untuk setiap pipa dalam *loop*. Sesuai dengan kesepakatan, jika ΔQ bernilai positif ditambahkan ke aliran yang searah jarum jam dan dikurangkan jika berlawanan arah jarum jam. Untuk pipa yang digunakan secara bersama dengan *loop* lain, maka koreksi aliran untuk pipa tersebut adalah harga netto dari koreksi untuk kedua *loop*.

9. Tuliskan aliran yang telah dikoreksi pada diagram jaringan pipa seperti pada langkah 1. Untuk memeriksa koreksi pada langkah 7 perhatikan kontinuitas pada setiap pertemuan pipa.

10. Ulangi langkah 1 sampai 8 hingga koreksi aliran = 0

2.10. Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Pipa

Pipa haruslah dirancang untuk dapat menahan tegangan-tegangan yang ditimbulkan oleh tekanan-tekanan dari dalam maupun luar pipa, perubahan momentum aliran air, beban-beban luar, dan perubahan suhu, serta juga untuk memenuhi tuntutan-tuntutan hidrolis dari pengerjaan pipa.

2.10.1. Tekanan dari Dalam

Tekanan dari dalam pada suatu pipa ditimbulkan oleh tekanan statik dan pukulan air (*water hammer*). Tekanan dalam mengakibatkan terjadinya tarikan keliling di dalam dinding pipa yang kira-kira dapat dihitung dengan

$$\sigma = \frac{p r}{t} \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana σ adalah tegangan tarik, p adalah tekanan (statik ditambah pukulan air), r adalah jari-jari dalam pipa, dan t adalah tebal dinding.

2.10.2. Pukulan Air

Bila air yang sedang mengalir di dalam suatu pipa tiba-tiba dihentikan oleh penutupan suatu katup, maka energi dinamikanya akan berubah menjadi energi elastik, sehingga serangkaian gelombang tekanan positif dan negatif akan bergerak maju mundur di dalam pipa sampai terhenti oleh gesekan. Gejala ini dikenal dengan *pukulan air*. Pada saat katup yang terlihat pada gambar 2.8 ditutup, maka unsur air x1 yang tepat di hulu katup akan dimampatkan oleh air yang mengalir ke arahnya. Hal ini akan mengakibatkan kenaikan tekanan yang akan menyebabkan meregangnya bagian pipa yang mengelilingi unsur

air itu. Pada saat berikutnya, gerakan unsur x_2 ke arah depan terhenti dan unsur ini pun dimampatkan oleh sisa air di dalam pipa yang masih mempunyai daya gerak ke depan. Proses ini diulangi pada unsure-unsur yang berurutan sehingga dalam waktu yang relatif singkat, gelombang tekanan telah mundur kembali ke waduk dan seluruh air di dalam pipa berada dalam ketenangan. Tekanan yang melebihi hidrostatik tidak dapat dipertahankan pada pertemuan antara

pipa dengan waduk, sehingga tekanan di C turun ke normal pada waktu sejumlah air mengalir balik ke dalam waduk.

Pada saat penurunan tekanan bergerak kembali ke hilir pipa ke arah katup, pipa akan mengkerut dan air mengembang sampai tekanan normal terjadi di seluruh pipa. Kelembaban air yang mengalir ke dalam waduk akan menghasilkan aliran air yang lebih banyak daripada kelebihan yang semula tertampung di dalam pipa. Hal ini menimbulkan tekanan negatif, kemudian gelombang yang lebih halus akan bergerak kembali ke hulu pipa dari katup ke arah waduk. Karena tekanan yang lebih kecil daripada hidrostatik tidak dapat dipertahankan di C, maka suatu tekanan normal akan bergerak kembali ke hilir pipa pada waktu air mengalir dari waduk ke dalam pipa. Hal ini mengakibatkan ulangan keadaan yang mengawali pukulan air, kemudian prosesnya diulangi sehingga habis oleh gesekan.

2.10.3. Gaya-gaya Pada Belokan dan Perubahan Penampang Melintang

Suatu perubahan arah atau besarnya kecepatan aliran akan di iringi oleh perubahan momentum zat cair. Gaya yang di butuhkan untuk menimbulkan ini berasal dari variasi tekanan di dalam zat cair dan dari gaya-gaya yang di rambatkan ke zat cair tersebut dari dinding-dinding pipa.

2.10.4. Beban Luar Pada Pipa yang Terbenam

Pipa-pipa sering di letakkan di dalam suatu parit galian yang kemudian di urug kembali, atau di letakkan di atas permukaan lahan dan di timbun tanah. Dalam kedua hal tersebut, suatu beban tegak lurus akan bekerja terhadap pipa. Bila suatu beban di letakkan di atas suatu urugan, sebagian darinya akan di teruskan ke pipa yang terbenam itu. Besarnya beban yang di timbulkan dengan cara demikian tergantung pada kekakuan pipa, hamparan bantalan, serta sifat bahan urugan.

2.11. Dasar Pemilihan Pompa

Dalam pemilihan pompa untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan head tertentu diperlukan beberapa syarat utama yaitu :

1. Kapasitas

Kapasitas pompa adalah jumlah fluida yang dialirkan oleh pompa per satuan waktu. Kapasitas pompa ini tergantung pada kebutuhan yang harus dipenuhi sesuai dengan fungsi pompa yang dipakai.

2. Head Pompa

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

a. Head Potensial

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

b. Head kecepatan

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

$$\dots\dots\dots(2.39)$$

c. Head tekanan

Head tekanan adalah energi yang dikandung fluida akibat tekanannya dan dinyatakan dengan $\dots\dots\dots(2.40)$

Head total dari pompa diperoleh dengan menjumlahkan head yang disebut diatas dengan kerugian-kerugian yang timbul dalam instalasi pompa (head mayor dan head minor).

3. Sifat zat cair

Sifat-sifat fluida sangat penting diketahui sebelum pemilihan pompa. Pada perencanaan ini, temperatur air sangat dianggap sama dengan temperatur kamar.

Persamaan Bernoulli

Untuk mencari head pompa dapat digunakan persamaan Bernoulli. Yaitu :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p - \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - H_L \dots\dots\dots(2.41)$$

atau :

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + H_L \dots\dots\dots(2.42)$$

dimana : $\frac{P_2 - P_1}{\gamma}$ adalah perbedaan head tekanan.

$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$ adalah perbedaan head kecepatan

$Z_2 - Z_1$ adalah perbedaan head statis

H_L adalah head losses total

Dalam pemilihan jenis pompa yang digunakan untuk mendistribusikan air bersih ini perlu dipertimbangkan faktor teknis dan ekonomisnya. Pompa yang digunakan dalam pendistribusia air bersih ini jenis pompa sentrifugal dengan pertimbangan :

- Kapasitas pompa besar
- Aliran fluida yang dipompakan kontiniu

- Konstruksi kecil dan sederhana sehingga mudah dalam pemeliharaan dan dapat digabungkan dengan unit penggerak pompa sebagai satu kesatuan
- Dapat beroperasi pada putaran tinggi
- Getaran yang terjadi pada saat pengoperasiannya relatif kecil
- Untuk melayani kebutuhan yang sama, harga awal dan perawatan lebih kecil
- Head pompa yang sesuai dengan yang dibutuhkan.

