

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Air adalah suatu kebutuhan utama dalam kehidupan Manusia, hewan, dan tumbuhan memerlukan air untuk keberlangsungan kehidupannya. Air juga dapat digunakan sebagai pelarut, pembersih dan keperluan lain seperti rumah tangga, industry maupun usaha – usaha lainnya. Disamping itu air juga berfungsi untuk usaha – usaha pertanian, perikanan, olah raga, rekreasi pemadam kebakaran dan lain sebagainya. Penyediaan air bersih untuk masyarakat mempunyai peranan yang sangat penting dalam meningkatkan kesehatan lingkungan atau masyarakat yakni mempunyai peranan dalam menurunkan angka penderita penyakit, khususnya yang berhubungan dengan air, dan berperan dalam meningkatkan standar atau taraf/kualitas hidup masyarakat.

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/menkes/sk/xi/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan industri pengertian mengenai Air Bersih yaitu air yang digunakan untuk keperluan sehari – hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku dan dapat diminimum apabila dimasak. Saat ini masalah penyediaan air bersih menjadi perhatian khususnya baik bagi negara – negara maju maupun negara yang sedang berkembang. Indonesia sebagai halnya pula negara berkembang lainnya, tidak luput dari permasalahan penyediaan air bersih bagi masyarakatnya. Salah satu masalah pokok yang dihadapi adalah kurang tersedianya sumber air bersih yang

bersih, belum meratanya pelayanan penyediaan air bersih terutama pada daerah perdesaan dan sumber air bersih yang ada belum dapat dimanfaatkan secara maksimal. Bahkan pada beberapa tempat di kota – kota besar, sumber air bersih yang telah dimanfaatkan oleh PDAM telah tercemari oleh limbah industri dan domestic, sehingga beban dalam segi pengolahan air bersihnya semakin meningkat. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan berdasarkan atas pemikiran bahwa sistem pengoperasian distribusi pipa air bersih di Kecamatan Tapian Dolok belum menghasikan tingkat pelayanan yg diharapkan. 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, distribusi.

Dalam hal ini pembahasan lebih dipusatkan pada hal sistem distribusi pipa air bersih. Sistem distribusi yang ekstensif diperlukan untuk mnyalurkan air ke masing – masing pelanggan dengan jumlah tekanan yang dibutuhkan. Sistem distribusi sering kali merupakan investasi utama dalam jaringan air kota. Bertitik tolak dari hal tersebut, maka dalam rangka penyediaan kebutuhan air bersih yang memenuhi syarat kesehatan, Pemerintah RI mencanangkan program penigkatan penyediaan air bersih pada daerah perkotaan dan daerah perdesaan melalui pipanisasi dan pemanfaatan sumber air yang ada secara optimal. Merupakan tantangan bagi kita semua bagaimana memperlakukan air agar diperoleh daya dguna yang sebesar – besarnya dan menekan kerusakan pada sumber daya air

sekecil kecilnya. Dengan demikian maka akan tercapai pemenuhan penyediaan air bersih yang memenuhi syarat kualitas, kuantitas, dan harga yang terjangkau oleh masyarakat.

2.2. Defenisi 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 tidak menimbulkan efek samping.

(Ketentuan Umum Permenkes No.416/Menkes/PER/IX/1990).

2.3. Persyaratan dalam Penyediaan air Bersih

2.3.1. Persyaratan kualitatif

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 25⁰C, dan apabila terjadi perbedaan maka batas yang diperbolehkan adalah 25⁰C ± 30⁰C.

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, CO₂ agresif, kesadahan, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), chloride (Cl), nitrit, flourida (F), serta logam.

3. Persyaratan Bakteriologis

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

4. Persyaratan radioktifitas

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

2.3.2. Persyaratan Kuantitatif

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih dalah 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 ekonoi, dan skala kecamatan tempat tinggalnya.

2.3.3. 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 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 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.

2.4. Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air dapat didefinisikan sebagai jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan rumah tangga, industry, pengelolaan kecamatan dan lain-lain. Prioritas kebutuhan air meliputi kebutuhan air domestik, kebutuhan air untuk mengganti kebocoran. Kebutuhan air bersih berbeda antara kecamatan yang satu dengan kecamatan yang lainnya.

Tabel 2.1 Standar Kebutuhan Air Bersih

Jumlah Penduduk	Jenis Kota	Jumlah Kebutuhan Air (liter/orang/hari)
> 2.000.000	Metropolitan	> 210
1.000.000 - 2.000.000	Metropolitan	150 - 210
500.000 - 1.000.000	Besar	120 - 150
100.000 - 500.000	Besar	100 - 150
20.000 - 100.000	Sedang	90 -100
3.000 - 20.000	Kecil	60 - 100

Sumber : DPU Cipta Karya

2.4.1. 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

2.5. 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 air dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Air hujan

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

2. Air permukaan

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

3. Air Tanah

Air tanah merupakan air hujan atau air permukaan yang meresap kedalam tanah dan bergabung dalam pori-pori tanah yang biasanya disebut aquifer.

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.

2.6. Sistem Distribusi dan Sistem Pengaliran Air Bersih

2.6.1. Sistem Distribusi Air Bersih

Sistem distribusi adalah yang langsung berhubungan dengan konsumen, yang mempunyai fungsi pokok mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat keseluruhan 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 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. Suplai air melalui pipa induk mempunyai dua macam sistem:

2.6.2. 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 peralatan yang lain. Metode dari pendistribusian air air tergantung pada kondisi topografi dari sumber air dan posisi para 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 antar 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 rata-rata.

2.7. Hidraulika Aliran dalam Perpipaan

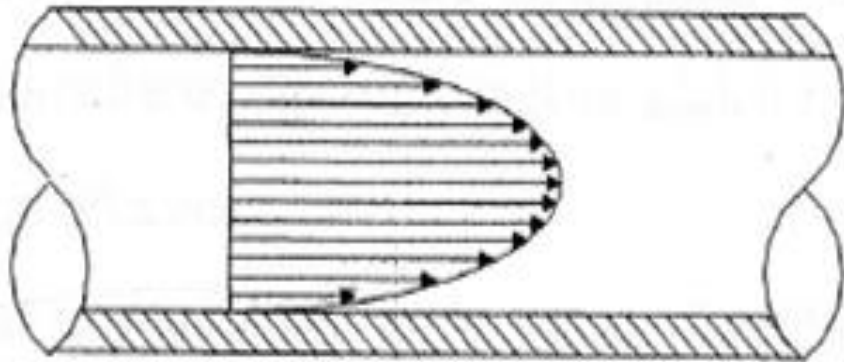
2.7.1. Pipa Bertekanan

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 tekanan rembesan yang terjadi pada saluran terbuka. Pipa bertekanan lebih disukai untuk pelayanan penyediaan air minum, karena kemungkinan tercemarnya lebih sedikit. Karena insiyur pengairan hampir secara eksklusif menangani masalah aliran turbulen di dalam pipa.

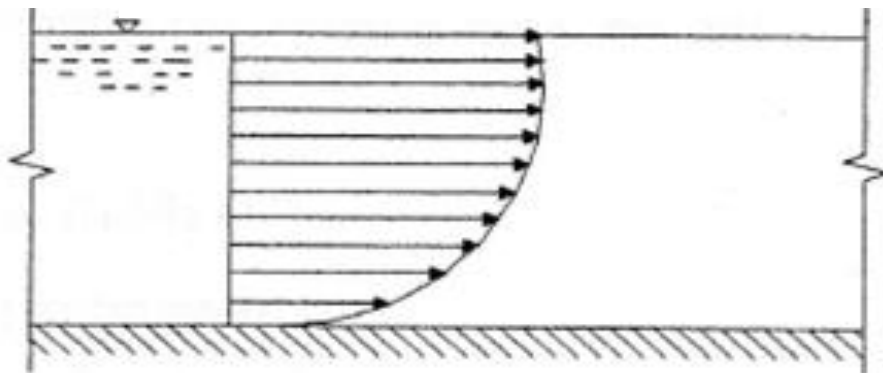
2.7.2. Kecepatan dan Kapasitas Aliran Fluida

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 pada saluran tertutup.



Gambar 2.1 Profil kecepatan pada saluran terbuka.

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam satu pipa. Jumlah 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 massal (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 : $M =$ Laju aliran massa fluida (N/S)

$\gamma =$ 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)

$P =$ Massa jenis fluida (kg/s)

2.7.3. 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 di dalam 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 menggunakan persamaan :

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

Dimana : μ = viskositas dinamik (Pa.dtk)

d = diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran dalam fluida (m/dtk)

P = 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.

2.7.4. Kehilangan tinggi tekanan

Headloss atau kehilangan tekanan gesekan antara cairan dan dinding pipa dihitung dengan menggunakan rumus Darcy-Weisbach atau Hezen William. Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri 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 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 diantaranya 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.

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 adalah sistem dalam pipa antara lain :

1. Sistem pendistribusian adalah sistem pohon atau ujung tertutup (*tree or deadend system*).

2. Sistem lingkaran atau cincin
3. Sistem gird iron
4. Sistem radial

2.7.4.1 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 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). Harusnya di ingat 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.

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

Dimana : h_e = Head losses minor

K = koefisien kerugian

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

Tabel 2.2. Kehilangan minor dalam pipa akibat pelebaran

Nilai - nilai KL dalam hlm = KL	$\frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$	
	$\frac{D_2}{D_1} = 3$	$\frac{D_2}{D_1} = 1,5$
ϕ^*		
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

Sumber : Ray K. Linsley Joseph B. Franzini, Djoko Sasongko. 1994.

Tabel 2.3. Kehilangan minor di jaringan pipa akibat penyempitan mendadak

Rumus hlm = KL	$\frac{V_2^2}{2g}$
$\frac{D_2}{D_A}$	KL
0	0.5
0.4	0.4
0.6	0.3
0.8	0.1
1	0

Sumber : Ray K. Linsley Joseph B. Franzini, Djoko Sasongko. 1994.

Tabel 2.4. Kehilangan minor di jaringan pipa akibat belokan

Jari - jari Belokan	Sudut belokan		
	90 ⁰	45 ⁰	22.5 ⁰
Garis tengah			
1	0.5	0.37	0.25
2	0.3	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

Sumber : Ray K. Linsley Joseph B. Franzini, Djoko Sasongko. 1994

Untuk kehilangan minor di jaringan pipa akibat mulut pipa dari waduk

$$\text{Mulut lonceng } h_1 = 0,01 \frac{D^2}{2Q} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Tepi siku-siku } h_1 = 0,5 \frac{D^2}{2Q} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.7.3.2 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 dua rumus berikut yaitu ;

1. Persamaan Darcy-Weisbach :

$$H_f = f \frac{L D^2}{d 2Q} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : h_f = kehilangan head akibat gesekan (m)

F = faktor gesekan

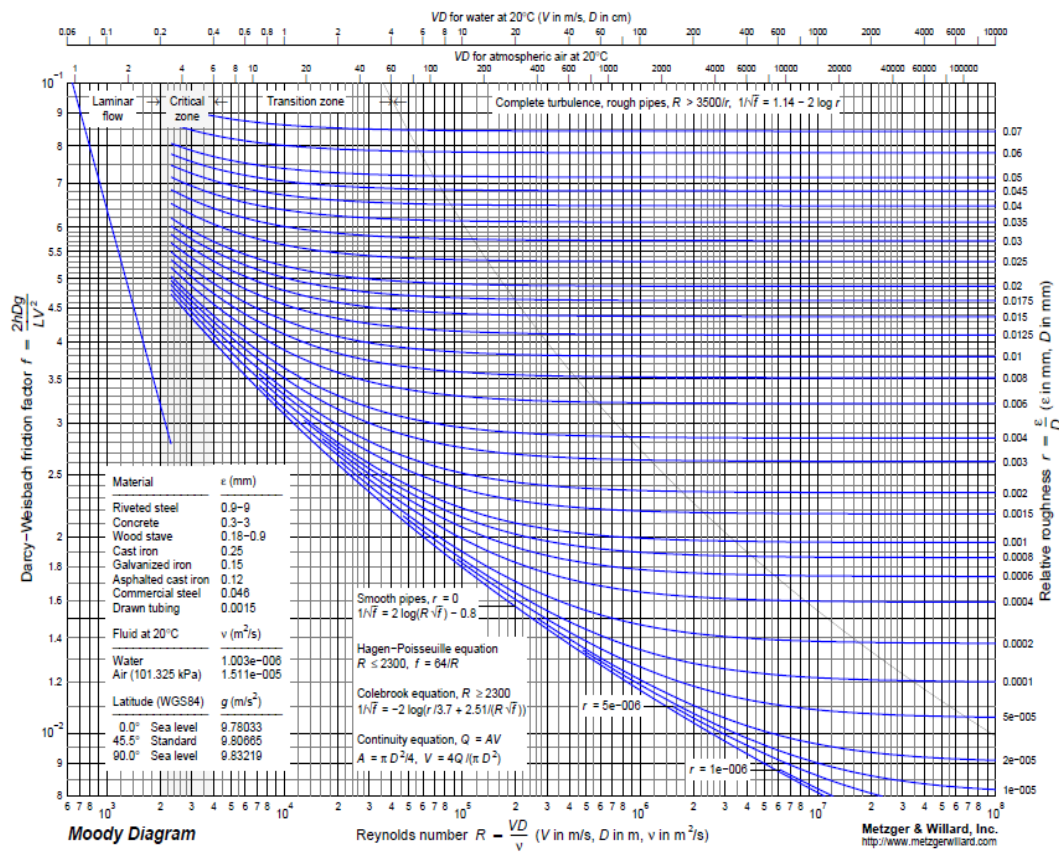
d = diameter dalam pipa (m)

L = Panjang pipa (m)

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

G = Percepatan gravitasi (m/dtk)

Dimana faktor gesekan (f) dapat dicari dengan menggunakan diagram *moody*.



Gambar 2.2 Diagram Moody

2. Persamaan Hazen – Williams

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

Bentuk umum persamaan Hazen – Williams yaitu :

$$hf = \frac{10,666Q^{1,95}}{L^{1,95}D^{4,95}} L \dots\dots\dots(2.9)$$

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

1. Untuk daerah complete roughness,crough pipes yaitu :

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

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

- a. Blasius : $f = \frac{0,216}{Re^{2,75}}$, untuk $Re = 3000 - 100.000 ..$ (2.11)

- b. Von karman : $\frac{1}{f} = 2,0 \log \left\{ \frac{Re\sqrt{f}}{2,01} \right\} \dots\dots\dots (2.12)$
 $= 2,0 \log (Re\sqrt{f}) - 0,8$, untuk Re sampai dengan 3,10

3. Untuk pipa kasar, yaitu :

Von karman : $\frac{2}{f} = 2,0 \log \frac{d}{\epsilon} - 1,74 \dots\dots\dots (2.13)$

Dimana harga f tidak tergantung pada bilangan Reynold.

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

transisi yaitu : $\frac{1}{f} = - 2,0 \log \left[\frac{\epsilon/d}{3,7} \quad \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right]$

Corelbrook – white : $\dots\dots\dots(2.14)$

2.8. Persamaan Emperis Untuk Alira 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 :

$$V = 0,8 + 0,2 C R^{0,23} S^{0,34} \dots\dots\dots (2.15)$$

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 energy (H1/L)

Persamaan manning dengan satuan international yaitu :

$$V = \frac{2,0}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana n = koefisien kekasaran pipa Manning

Persamaan Hezen – 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 teoritas tepat digunakan untuk semua rezim aliran san semua jenis zat cair. Persamaan Manning biasanya digunakan untuk saluran terbuka (*open channel flow*).

2.9. Mekanisme Aliran Dalam Pipa

Sistem perpipaan berfungsi untuk mengalirkan zat cair satu tempat ketempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau kerendahannya 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.

2.9.1 Pipa Hubungan Seri

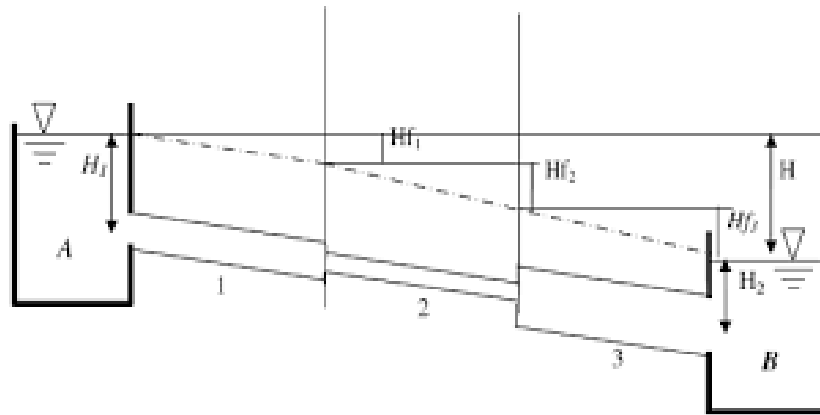
Jika dua buah pipa atau lebih dihubungkan secara seri maka semua pipa akan dialiri oleh aliran yang sama. Total kerugian *head* pada seluruh sistem adalah jumlah kerugian pada setiap pipa dan perlengkapan pipa yang dirumuskan sebagai :

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

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

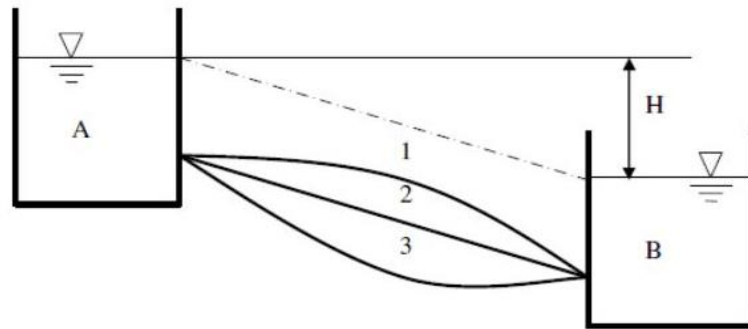
$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} \dots\dots\dots (2.19)$$

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 2.3 Pipa yang dihungkan seri

2.9.2 Pipa Hubungan Paralel



Gambar 2.4 Pipa yang dihungkan parallel

Jika ada dua buah pipa atau lebih yang dihubungkan secara paralel, 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 :

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

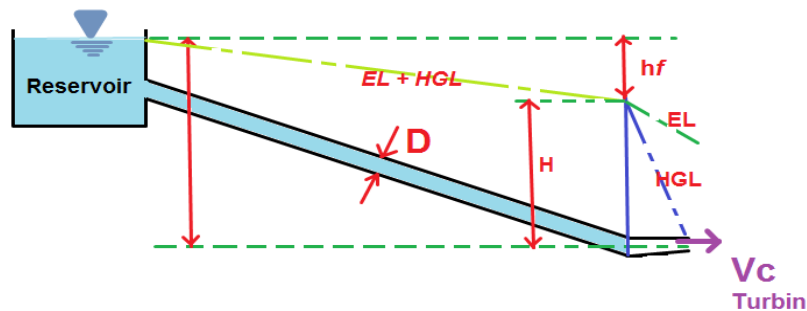
$$Q_0 = A_1V_1 = A_2V_2 = A_3V_3 \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

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

2.9.3 Pipa Dengan Turbin

Didalam 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 2.5 dengan menganggap kehilangan tenaga sekunder kecil maka disepanjang garis pipa garis tenaga berimpit dengan garis tekanan. Garis tenaga turun secara teratur (perlahan-lahan), karena adanya kehilangan tenaga akibat gesekan. Dibagian curat, garis tenaga turun dengan tajam menuju ujung hilir curat dimana tekanan adalah atmosfer.



Gambar 2.5 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 .

$$H = H_s - h_f \dots\dots\dots(2.23)$$

Kehilangan tenaga hf diberikan oleh persamaan Darcy – Weisbach :

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2s} = \frac{8 f L Q^2}{8 \pi^2 L^5} \dots\dots\dots (2.24)$$

Mengingat $V = Q/A = Q / \frac{1}{4} \pi D^2$ (2.25)

Dengan demikian tinggi tekanan efektif adalah :

$$K = Q^2 - \frac{A f L Q^2}{g \pi^2 D^2} \dots\dots\dots(2.26)$$

Daya yang tersedia pada curat :

$$D = Q H g (\text{Kgf m/dtk}) \dots\dots\dots (2.27)$$

Dengan :

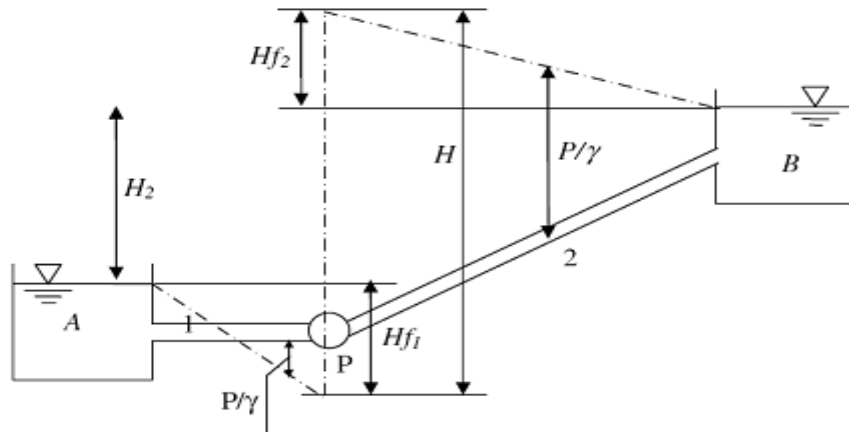
Q = Debit Aliran (m³/dtk)

H = tinggi tekanan efektif (m)

G = berat jenis zat cair (kgf/m³)

2.9.4 Pipa Dengan Pompa

Jika pompa menaikkan zat cair dari kolam satu ke kolam lain dengan selisih elevasi muka air H_2 seperti yang ditunjukkan damabar 2.6 maka daya yang digunakan oleh pompa untuk menaikkan zat cair stinggi H_s adalah sama dengan tinggi H_2 ditambah dengan kehilangan tenaga sealama pengalihan dalam pipa tersebut. Kehilangan tenaga adalah akivalen dengan penambahan elevasi, sehingga efeknya sama dengan jika pompa menaikan zat cair setinggi $H = H_2 \sum hf$. Dalam gambar tersebut tinggi kecepatan diabaikan sehingga garis tenaga berimpit dengan garis tekanan.



Gambar 2.6 Pipa dengan pompa

Daya yang diperlukan pompa untuk menaikkan zat cair :

$$D = \frac{Q H \gamma}{h} \text{ (kgf m/dtk) } \dots\dots\dots (2.28)$$

atau

$$D = \frac{Q H \gamma}{v=q} \dots\dots\dots (2.29)$$

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

2.10 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 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 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 linier 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, sehingga 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 kea rah manapun, sambil mengamati perubahan akibat gesekan atau losses yang lain, kita harus mendapatkan aliran yang setimbang ketika kembali ke kondisi semyla (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*.

2.11. Gaya – gaya Yang Bekerja Pada Pipa

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

2.11.1. Tekanan dari Dalam

Tekanan dari dalam dirancang 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

$$\sigma = \frac{\rho t}{\pi} \dots\dots\dots (2.30)$$

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

2.11.2. 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 elastic, sehingga serangkaian gelombang tekanan positif dan negatif akan bergerak maju mundur di dalam pipa sampai terhenti oleh gesekan. Gejala ini dikenal dengan pukulan air. 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 unsur – unsur yang berurutan sehingga dalam waktu yang relative singkat, gelombang tekanan telah mundur kembali ke waduk dan seluruh air di dalam pipa berada dalam ketenangan. Tekanan yang melebihi hidrostatis tidak dapat dipertahankan pada pertemuan antara pipa dengan waduk, sehingga di turunkan ke normal pada waktu sejumlah air mengalir balik ke dalam waduk.

2.11.3. 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 dibutuhkan untuk menimbulkan ini berasal dari variasi tekanan di dalam zat cair dan dari gaya-gaya yang dirambatkan ke zat cair tersebut dari dinding-dinding pipa.

2.11.4 Beban Luar Pada Pipa yang Terbenam

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