

BAB V

KRITERIA TEKNIS PERENCANAAN

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AIR MINUM

5.1 UMUM

Sistem distribusi merupakan suatu sarana fisik yang bertujuan untuk menyalurkan air bersih atau air minum dari reservoir menuju konsumen di daerah pelayanan. Sistem jaringan distribusi merupakan sistem yang paling penting dalam penyediaan air minum dan merupakan bagian dari pelayanan air bersih kepada masyarakat untuk mencapai target kualitas, kuantitas, dan kontinuitas. Hal ini dikarenakan baik – buruknya sistem penyediaan air minum dinilai dari sistem distribusinya. Masyarakat atau konsumen hanya menilai sistem penyediaan air minum berdasarkan sistem distribusi, karena mereka hanya mengetahui kualitas dan kuantitas air yang diterimanya. Selain itu, investasi terbesar pada sistem penyediaan air minum merupakan investasi dari sistem distribusi

Agar tercipta pelayanan yang baik maka suatu jaringan distribusi perlu memperhatikan faktor – faktor berikut :

- Kualitas air yang sampai ke konsumen harus memenuhi syarat
- Kuantitas air mencukupi kebutuhan
- Tersedia secara kontinu dari waktu ke waktu
- Antisipasi terjadinya kehilangan air yang tiba – tiba yang bersifat insidensial, seperti kebocoran pada pipa dan pencurian air
- Tekanan pengaliran harus dapat menjangkau daerah pelayanan yang paling kritis, sehingga seluruh daerah pelayanan dapat tercukupi kebutuhannya dengan sistem distribusi yang telah dirancang

Sistem distribusi ini meliputi jaringan perpipaan primer dan sekunder, valve, hidran, reservoir, meter air, dan perlengkapan lainnya yang terhubung dari mulai air meninggalkan reservoir distribusi atau pompa utama sampai ke konsumen. Sistem distribusi ini dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu reservoir distribusi (*storage tank*) dan pipa distribusi (*piping system*). Sistem

perpipaan distribusi merupakan sistem yang mampu mendistribusikan air kepada setiap konsumen dengan berbagai cara, baik melalui sumbangan langsung (*house connection*) maupun melalui keran umum (*public tap*).

5.2 METODE PENGALIRAN

Metode pengaliran air bermacam – macam. Air dapat didistribusikan dengan cara gravitasi, pompa, atau gabungan antara pompa dengan gravitasi baik dengan atau tanpa reservoir distribusi.

- Sistem Gravitasi

Dilakukan hanya jika sumber terletak di atas daerah pelayanan. Dalam pengaliran secara gravitasi, reservoir yang digunakan adalah ground reservoir atau dapat ditambah dengan *elevated reservoir* untuk menambah tekanan saat melayani pemakaian maksimum di daerah pelayanan terjauh yang tidak mendapat air. Besar *elevated reservoir* disesuaikan dengan jumlah kebutuhan air di daerah yang harus dilayani pada saat kebutuhan maksimum. Sedangkan besar *ground reservoir* adalah total volume reservoir yang disediakan dikurangi dengan *elevated reservoir*. Sistem ini merupakan sistem yang paling ekonomis.

- Sistem Pemompaan

Sistem pemompaan tanpa reservoir distribusi adalah cara lain pengaliran air. Sistem ini jarang digunakan karena tidak ekonomis, dimana pompa berjalan terus – menerus mengikuti fluktuasi pemakaian air tanpa adanya penyimpanan air (*storage*). Cara pemompaan ini selain mahal daripada sistem gravitasi, juga akan bermasalah apabila terjadi gangguan tenaga listrik.

- Sistem Kombinasi (*Dual System*)

Sistem kombinasi ini merupakan kombinasi antara sistem gravitasi dan sistem pemompaan. Kelebihan air akibat pemakaian air yang kurang, dapat ditampung di reservoir yang nantinya akan digunakan untuk menyuplai air pada saat pemakaian air akan banyak. Pompa suplai dirancang untuk menggunakan

debit pemakaian rata-rata. *Dual system* ini paling banyak digunakan karena dapat memenuhi kebutuhan air lebih tepat dan juga ekonomis.

5.3 SISTEM PERPIPAAN DISTRIBUSI

Sistem distribusi dalam pendistribusian terdiri dari 2 bagian yaitu :

1. Sistem Makro

Sistem makro berfungsi sebagai penghantar jaringan pipa. Jaringan penghantar ini tidak boleh langsung mengalir ke konsumen, karena dapat mengakibatkan penurunan energi yang sangat besar. Sistem ini disebut juga sistem jaringan pipa hantar atau *feeder*, yang terdiri dari :

- *primary feeder*
- *secondary feeder*

2. Sistem Mikro

Berfungsi sebagai pipa pelayanan ke rumah-rumah. Jadi sistem mikro dapat membentuk jaringan pelayanan. Sistem ini adalah sistem jaringan pipa pelayanan, yang terdiri dari :

- *small distribution mains* (pipa pelayanan utama)
- *servis line dan servis pipa* (house connection)

5.4 KLASIFIKASI JARINGAN PERPIPAAN DISTRIBUSI

Jaringan perpipaan dalam sistem distribusi dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu pipa *primary*, *secondary*, dan *tertiary*. Tujuan dari pengklasifikasian jaringan perpipaan dalam distribusi air adalah untuk kemudahan operasi sesuai debit, mempermudah perbaikan, meratakan sisa tekan dan mempermudah pengembangan jaringan distribusi.

a) Pipa *Primary*

Pipa *primary* atau pipa induk merupakan pipa distribusi utama yang mempunyai jangkauan pelayanan terluas. Pipa *primary* membawa air dari reservoir atau sumber air sampai daerah pelayanan tertentu. Pipa tersebut melayani dan menghubungkan blok – blok pelayanan dalam kota. Setiap blok pelayanan dilayani oleh titik penyadapan (*tap*) yang dihubungkan dengan pipa

sekunder (cabang). Jarak pipa ini biasanya tidak lebih dari 1 km. Pipa *primary* harus dilengkapi dengan *blow off* pada bagian yang rendah dan air valve pada bagian yang tinggi.

Batasan - batasan untuk pipa induk antara lain :

- Dimensinya direncanakan sanggup mengalirkan air sampai dengan akhir tahap perencanaan tertentu
- Jenis pipa yang dipilih adalah yang memiliki ketahanan tinggi
- Tidak melayani penyadapan langsung ke rumah – rumah

b) Pipa *Secondary*

Pipa *secondary* atau pipa sekunder merupakan kelanjutan dari pipa *primary* dan juga menghubungkan pipa *primary* satu dengan yang lainnya dalam satu daerah pelayanan. Air yang dialirkan oleh pipa sekunder ini disadap dari pipa *primary*. Pipa sekunder ini berhubungan dengan pipa servis.

Batasan – batasan untuk pipa sekunder ini antara lain :

- Jaringan direncanakan dengan sistem terbuka atau tertutup
- Dimensi pipa dihitung berdasarkan banyaknya sambungan ke konsumen
- Kualitas pipa yang digunakan sama atau lebih rendah dari pipa induk
- Jenis pipa yang digunakan adalah PVC atau DCIP, tergantung medan yang dilalui jalur pipa

c) Pipa *Tertiary*

Pipa tertiary atau pipa servis (pelayanan) adalah pipa yang menyadap air dari pipa sekunder dan langsung melayani konsumen. Pipa ini juga menghubungkan pipa *secondary* dengan *hydrant* kebakaran. Jenis pipa yang dipakai disesuaikan dengan medan yang dilewati. Diameter yang dipakai lebih kecil dari 50 mm (2 inchi) tergantung besarnya pemakaian konsumen.

Berikut ini akan dijelaskan kriteria klasifikasi ketiga pipa distribusi tersebut.

Pipa Induk

Kriteria desain yang biasa dipakai untuk pipa induk adalah :

1. Diameter pipa minimum adalah 150 mm (6").
2. Kecepatan aliran minimum di dalam pipa adalah 0,3 m/detik sedangkan kecepatan aliran maksimum berkisar antara 3 - 5 m/detik tergantung dari jenis pipa yang digunakan.
3. Tekanan pada sistem harus dapat menjangkau titik kritis dengan sisa tekanan tidak kurang dari 10 m.
4. Tekanan statis yang tersedia tidak lebih dari 80 m.
5. Pipa tidak melayani penyadapan langsung ke konsumen.
6. Pipa ini dapat mengalirkan air sampai akhir tahap perencanaan dengan debit puncak.

Pipa Sekunder atau Cabang

Sedangkan kriteria desain yang dapat diperhatikan untuk pipa jenis ini adalah:

1. Kecepatan aliran minimum di dalam pipa adalah 0,3 m/detik sedangkan kecepatan aliran maksimum berkisar antara 3 - 5 m/detik tergantung dari jenis pipa yang digunakan.
2. Sisa tekanan tidak kurang dari 10 m.
3. Diameter pipa dihitung dari banyaknya sambungan yang melayani konsumen.
4. Bahan pipa memiliki kualitas yang sama atau lebih rendah dari pipa induk.

Pipa Pelayanan

Kriteria desain yang biasa dipakai untuk pipa pelayanan adalah :

1. Diameter pipa tidak lebih dari 50 mm (2").
2. Kecepatan aliran minimum di dalam pipa adalah 0,3 m/detik sedangkan kecepatan aliran maksimum berkisar antara 3 - 5 m/detik tergantung dari jenis pipa yang digunakan.
3. Sisa tekanan tidak kurang dari 6 m.
4. Penyadapan dilakukan dengan *scamp saddle*, dengan diameter 1" pada posisi vertikal dan diameter 2" untuk horizontal.

5.5 PERENCANAAN POLA JARINGAN PERPIPAAN DISTRIBUSI

Dalam sistem perpipaan pada jaringan distribusi, pipa dibedakan menjadi dua, yaitu *feeder system* dan *small distribution main*. *Feeder system* merupakan sistem pipa induk yang terdiri dari pipa induk utama (*main feeder*) dan pipa induk kedua (*secondary feeder*). *Feeder system* masih dapat dibagi menjadi sistem lingkaran (*ring/closed system*), sistem cabang (*branch*) dan sistem kombinasi. Sedangkan *small distribution main* merupakan sistem pipa pelayanan yang terdiri dari pipa pelayanan utama (*primary small distribution main*), pipa pelayanan kedua (*service line*) dan sambungan rumah (*house connection*).

5.5.1 Pola Cabang

Sistem cabang terdiri dari *tree system* dan *branch system*, yang keduanya merupakan sistem terbuka. Pada sistem ini pipa induk disambung dengan beberapa pipa sekunder dan dari pipa sekunder disambung ke beberapa pipa sub induk (*small distribution main*) yang akan mengalami pipa servis. Dalam sistem ini air mengalir satu arah.

Keuntungan :

- Lebih ekonomis karena jalurnya pendek sehingga tidak membutuhkan banyak pipa
- Perubahan ukuran pipa terlihat jelas (makin ke ujung makin kecil)
- Mudah dalam perhitungan dimensi
- Perkembangan sistem dapat disesuaikan dengan pengembangan kota
- Baik diterapkan pada daerah yang menurun
- Tekanan air cukup tinggi sehingga dapat digunakan untuk pengaliran air
- Mudah pengoperasiannya karena adanya titik mati, kotoran yang terbawa selama pengaliran dapat langsung terbuang pada akhir pipa cabang

Kekurangan :

- Timbulnya rasa, bau, dan lainnya yang dapat berakibat pada kesehatan karena adanya air yang diam pada ujung – ujung pipa cabang. Untuk itu diadakan pengurasan tiap waktu tertentu, karena itu diperlukan katup penguras dan mengakibatkan adanya kehilangan air yang cukup besar
- Jika terjadi kerusakan, maka akan terdapat daerah pelayanan yang tidak akan mendapat air karena tidak adanya sirkulasi aliran air
- Bila ada permintaan berlebih (misalnya kebakaran) biasanya terjadi gangguan pada bagian yang lain (tersedot) dan suplai air pada *fire hydrant* lebih sedikit, karena aliran hanya satu arah
- Keadaan peak untuk tiap cabang berbeda – beda untuk tiap situasi
- Mempunyai banyak *dead end* sehingga membutuhkan banyak peralatan
- Jika suatu daerah terjadi pemincakan kebutuhan maka sistem lain akan terpengaruh

Sistem dengan pola cabang ini digunakan untuk daerah pelayanan dengan sifat :

- Bentuk dan arah perluasan memanjang dan terpisah
- Jalur jalannya tidak berhubungan satu dengan yang lainnya
- Elevasi permukaan tanahnya mempunyai perbedaan tinggi yang cukup besar dan menurun secara teratur
- Luas daerah pelayanan yang relatif kecil

5.5.2 Pola Ring

Sistem lingkaran ini terdiri dari *loop system* dan *belt system* yang merupakan sistem tertutup. Pada sistem ini, pipa induk dan pipa sekunder merupakan pembungkus kerangka utama yang saling berhubungan secara makro sistem. Pipa – pipa ini hanya memberi air ke titik – titik pembagi (*junction*) dan arah aliran secara bolak – balik.

Keuntungan :

- Jika terjadi kerusakan, maka dapat dilokalisir sehingga tidak mempengaruhi aliran ke seluruh sistem
- Perhitungannya mudah

- Dapat melayani banyak tempat dan kemungkinan akan terjadi pengembangan bila ada pelanggan bertambah
- Distribusi air merata karena tidak terjadi pengendapan kotoran
- Jika ada pemakaian puncak, aliran air dari daerah lain dapat menutupi kebutuhan tersebut

Kerugian :

- Gradasi diameter pipa tidak beraturan
- Aliran belum tentu satu arah, bisa bolak-balik pada waktu tertentu, tetapi pada saat dimensionering dihitung searah
- Biaya perpipaan akan lebih mahal karena pipa yang dibutuhkan banyak dan jalurnya melingkar
- Tekanan dalam pipa cukup rendah sehingga bila ada kebakaran, air tidak dapat dialirkan secara serentak

Sistem dengan pola ini digunakan untuk daerah pelayanan dengan sifat :

- Bentuk dan perluasannya menyebar ke semua arah
- Jaringan jalannya berhubungan satu dengan yang lainnya
- Elevasi tanah relatif datar

Ada 2 jenis perencanaan dalam sistem lingkaran :

1. *Outer line*

Dipasang dari garis luar dengan pengembangan ke dalam. Sistem ini sangat baik untuk kota yang berkembang , karena fleksibel.

2. *Inner line*

Dipasang pada bagian dalam garis . Sistem ini untuk kota yang dianggap tidak akan terlalu mengalami perkembangan lagi.

5.5.3 Kombinasi

Sistem ini merupakan penggabungan sistem cabang dengan sistem lingkaran.

Keuntungan :

- Resiko beban maksimum diluar perhitungan lebih kecil
- Pelayanan lebih cepat terjadi karena bila terjadi peningkatan pemakaian secara mendadak, aliran dari daerah lain dapat langsung menutupi
- Biaya perencanaan lebih kecil karena tidak memerlukan banyak pipa

Kerugian :

- Kurang ekonomis
- Bila *tapping* yang dibuat terlalu banyak maka jumlah potongan pipa akan bertambah sehingga biaya akan bertambah

Sistem pelayanan yang menggunakan pola gabungan biasanya digunakan untuk daerah pelayanan dengan sifat :

- Kota sedang berkembang
- Bentuk perluasan kota yang tidak teratur, begitu juga jaringan jalannya tidak berhubungan satu sama lainnya pada bagian tertentu
- Terdapat daerah pelayanan yang terpencil
- Elevasi muka tanah yang bervariasi

5.6 PERENCANAAN JALUR PIPA DISTRIBUSI

Perencanaan jalur perpipaian distribusi yang dibuat untuk melayani suatu daerah tertentu harus direncanakan sedapat mungkin mendekati kondisi yang optimum dimana diharapkan :

- a. Pemakaian energi yang seminimal mungkin di dalam pengoperasian
- b. Mudah dalam pemasangan, pemeliharaan dan pengoperasiannya (secara teknis, semua mudah dikerjakan)
- c. Biaya yang sekecil-kecilnya , dalam hal jumlah pipa dan diameter pipa (diusahakan jalur terpendek)
- d. Memenuhi syarat-syarat hidrolis untuk mendapat keuntungan

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan supaya diperoleh kondisi optimum seperti yang diinginkan. Dan ini meliputi teknis dalam perencanaan jalur pipa induk, yaitu :

1. Menghindari belokan tajam (horizontal dan vertikal) dan syphon pada aliran air di atas garis hidrolik
2. Diusahakan untuk menghindari melintasi sungai, rel kereta api, jalan raya untuk memudahkan di dalam pengerjaan
3. Menghindari tempat-tempat yang memungkinkan terjadinya kontaminasi selama pengaliran
4. Jalur pipa sebaiknya ditempatkan pada tanah milik pemerintah atau dipinggir-pinggir jalan umum

Menghindari tempat-tempat yang kurang stabil (mungkin sering longsor) yang dapat menyebabkan perubahan tekanan dari luar terhadap pipa, agar pipa tidak cepat rusak atau mungkin pecah

Pada penempatan pipa distribusi yang harus diperhatikan adalah peletakan lokasi pipa, topografi dan penyebaran penduduk, ketersediaan energi gravitasi, dan jumlah loop yang diperlukan. Hal ini berguna untuk mempermudah pengoperasian dan pengontrolannya serta pemerataan pipa dan pelayanannya. Pemerataan pelayanan yang dimaksud adalah membuat sistem perpipaan sedemikian rupa sehingga seluruh kota dapat dialiri dengan baik.

5.7 PERENCANAAN JENIS DAN PERLENGKAPAN PIPA

5.7.1 Pemilihan Jenis Pipa

Pemilihan jenis pipa didasarkan oleh faktor-faktor diantaranya adalah :

1. Kemampuan pipa dalam mengalirkan air.
2. Lamanya periode perencanaan.
3. Fleksibilitasnya terhadap kondisi tanah terutama menyangkut ketahanan terhadap korosi.
4. Kekuatan dan daya tahan pipa terhadap tekanan dari dalam seperti tekanan statis dan *water hammer*, dan tekanan dari luar seperti tekanan geologis tanah, tekanan air tanah, dan tekanan lalu lintas.
5. Daya tahan terhadap kualitas air yang dialirkan.
6. Ketersediaan diameter maksimum dan minimum di pasaran.

7. Kemudahan pengadaan, pengangkutan, dan pemasangan pada daerah pelayanan.
8. Harga pipa dan biaya pemeliharaan.

Jenis pipa induk dan pipa cabang yang biasanya digunakan pada perencanaan sistem perpipaan distribusi diantaranya adalah :

1. *Asbestos Cement Pipe (ACP)*

Jenis ini terbuat dari bahan asbes dengan permukaan bagian dalam yang halus meskipun telah berusia lama, tahan terhadap korosi, bersifat isolator, ringan, pemasangannya mudah, penyambungannya sederhana dengan menggunakan *coupling*, *ring tittle*, dan *mechanical joint*. Tetapi pipa ini tidak elastis dan tidak tahan terhadap benturan dan beban berat. Tersedia dalam ukuran 50 - 600 mm.

2. *Cast Iron Pipe (CIP)* dan *Ductile Cast Iron Pipe (DCIP)*

Terbuat dari bahan besi tuang dengan sifat tahan terhadap tekanan yang besar, daya mekanis lebih baik, mampu menahan getaran, berat, dan tahan lama. CIP mudah terkena korosi terutama pada bagian permukaan dan sambungan, oleh karenanya ada jenis tertentu yang diberi lapisan anti korosif seperti pada jenis DCIP. DCIP mudah dalam pemasangan, penyambungan dapat dilakukan dengan *flanged*, *bell* dan *spigot*, dan *mechanical joint*. Tersedia dalam ukuran 75 - 1500 mm.

3. *Galvanized Iron Pipe (GIP)*

Terbuat dari baja campuran atau besi tempa dengan sifat tahan terhadap tekanan dari dalam pipa dan kesadahan yang tinggi, pengangkutan dan pemasangan mudah, tetapi kurang tahan terhadap korosi dan harganya relatif mahal. Tersedia dalam ukuran 75 - 1500 mm.

4. *Steel Pipe*

Terbuat dari baja dengan sifat tidak tahan terhadap korosi elektris dan tekanan atau benturan, tipis dan ringan, pembuatannya mudah, tetapi sulit dalam

pemasangan karena membutuhkan waktu yang banyak, serta penyambungan dapat dilakukan dengan pengelasan dan mahal. Tersedia dalam ukuran 75 - 1500 mm.

5. *Prestressed Concrete Pipe (PCP)*

Terbuat dari beton atau tanah liat dengan sifat tahan terhadap korosi, tidak mengalami perubahan kekasaran di dinding pipa untuk waktu yang lama, tetapi cukup berat dan sukar dalam pemasangan. Biasanya diperuntukkan dalam kondisi khusus. Tersedia dengan diameter 500 - 2000 mm.

6. *Polyvinyl Chloride Pipe (PVC)*

Terbuat dari serat fiber dengan sifat tahan terhadap korosikan tanah yang agresif, isolator, menghambat pertumbuhan bakteri, tidak merubah sifat air, ringan, pemasangannya mudah yaitu dengan sistem *rubbering*, dan umumnya mudah didapat serta banyak tersedia di pasaran. Dengan sistem pemasangan dengan menggunakan *rubbering* ini, pipa tidak perlu lagi dilem dan sambungan antar pipa akan fleksibel terhadap gerakan pipa. Tetapi kekuatan mekanisnya rendah, koefisien muai panasnya besar, dan tidak tahan terhadap sinar matahari. Tersedia dengan diameter 50 - 350 mm.

Sedangkan jenis pipa pelayanan yang biasa dipergunakan untuk pipa pelayanan adalah GIP, *Steel Pipe*, dan PVC. Selain berdasarkan jenis bahan, pipa juga dapat dibedakan dari daya tahan pipa terhadap tekanan. Disini pipa dibedakan menjadi beberapa kelas, diantaranya :

- Kelas A, untuk pipa dengan daya tahan terhadap tekanan hingga 10 atm.
- Kelas B, untuk pipa dengan daya tahan hingga 20 atm.
- Kelas C, untuk pipa dengan daya tahan hingga 30 atm.

5.7.2 Perlengkapan Sistem Perpipaan

Setelah menentukan jalur perpipaan distribusi dan jenis pipa yang akan digunakan, selanjutnya dapat ditentukan perlengkapan pipa yang dibutuhkan dalam jalur perpipaan distribusi tersebut. Perlengkapan-perengkapan pipa yang

mungkin terdapat dalam perencanaan suatu sistem perpipaan distribusi akan dijelaskan berikut ini.

5.7.2.1 Sambungan (Fitting)

Fungsi dan peralatan sambungan antara lain :

1. Menyambung dua atau lebih pipa yang berukuran dan jenis yang sama, seperti *mechanical joint*, *coupling joint*, dan kadang-kadang dipakai *flexible joint*.
2. Untuk menyambung dua atau lebih pipa yang berlainan diameter, dengan menggunakan *reducer* atau *increaser*.
3. Untuk merubah dan membagi aliran, menggunakan *elbow* atau *bend* dan *tee* atau *cross*.
4. Untuk menghentikan aliran (*dead ends*), dengan *caps*, *plug*, dan *blind flange*.

5.7.2.2 Katup Isolasi (Gate Valve)

Fungs katup ini adalah untuk membuka atau menutup aliran serta mengatur aliran terutama saat satu bagian jalar pipa akan diuji, diperiksa, dibersihkan, atau diperbaiki. Perlengkapan ini diperlukan untuk memisahkan statu blok pelayanan atau jalur pipa. Katup ini biasanya diletakkan pada tempat tertentu, seperti pada :

1. Inlet dan outlet reservoir distribusi.
2. Setiap jarak lebih kurang 3000 m.
3. Titik pengurasan.
4. Kedua sisi jembatan pipa induk.
5. Setiap titik penyadapan yang dipasang sesuai arah aliran.

5.7.2.3 Blok Penahan (*Thrust Block*) dan Jangkar (*Anker*)

Berguna untuk mencegah tidak Bergeraknya fitting atau sambungan jika beban tekanan air dialirkan melaluinya. Blok penahan ini biasanya diletakkan pada :

1. Belokan (*elbow*)

$$W = 2PA \sin\left(\frac{1}{2}\right)\theta \dots\dots\dots(5.1)$$

Dimana,

W = resultan gaya (dyne)

P = tekanan air dalam pipa (kg/cm^2)

A = luas penampang basah pipa (cm^2)

θ = sudut belokan

2. *Reducer (tapper konsentris)*

$$W = P (A_1 - A_2) \dots \dots \dots (5.2)$$

Dimana,

W = resultan gaya (dyne)

P = tekanan air dalam pipa (kg/cm^2)

A_1 = luas penampang basah pipa yang besar (cm^2)

A_2 = luas penampang basah pipa yang kecil (cm^2)

3. *Tee atau dead ends*

$$W = PA \dots \dots \dots (5.3)$$

Dimana,

W = resultan gaya (dyne)

P = tekanan air dalam pipa (kg/cm^2)

A = luas penampang basah pipa (cm^2)

5.7.2.4 Jembatan Pipa

Perlengkapan ini digunakan jika pipa distribusi menyeberangi lembah atau sungai dengan panjang bentangan lebih dari 4 m. Pipa dapat berada di atas jembatan dan pipa juga dapat berfungsi sebagai jembatan.

5.7.2.5 Pipa Penguras (*Blow Off*)

Berfungsi untuk mengeluarkan endapan yang terendapkan dalam pipa-pipa distribusi serta diperlukan dalam keadaan darurat misalnya pada saat ada pipa yang terputus. *Blow off* ditempatkan pada lokasi terendah dimana lumpur kemungkinan terakumulasi dan akan dilengkapi dengan saluran pembawa. Saluran

pembawa ini akan diletakkan sedemikian rupa sehingga mampu membawa air berikut lumpurnya ke tempat pembuangan akhir. Katup penguras biasanya diletakkan setiap 1 - 1,5 km pada jalan yang datar.

5.7.2.6 Pipa Udara (*Air Valve*)

Pada titik tertinggi dari satu jalur perpipaan perlu dipasang katup udara yang berfungsi mengeluarkan udara yang terperangkap dan memasukkan udara saat diperlukan untuk mengurangi terjadinya udara vakum (negatif) pada saat aliran berhenti tiba-tiba atau saat pengosongan pipa. Udara yang terjebak dalam pipa dapat disebabkan dari perhitungan sistem yang kurang baik, turbulensi aliran, dan kemiringan yang terlalu tinggi. Hal ini dapat mengurangi penampang efektif pipa sehingga mengurangi debit air yang dapat mengalir dalam pipa. Katup diletakkan setiap jarak 3 km pada jalur pipa yang menurun atau menaik.

5.7.2.7 Ekspansi Joint dan Flexible Joint

Jalur pipa yang diletakkan di atas permukaan tanah memerlukan *ekspansi joint* untuk mengatasi kemungkinan pergerakan pipa akibat pemuaian atau penyusutan pipa karena perubahan temperatur. Sedangkan *flexible joint* biasanya dipasang diantara dua pipa yang diragukan kestabilan posisinya satu sama lain.

5.7.2.8 Manhole

Manhole merupakan sarana yang dapat dimasuki manusia untuk dapat memeriksa dan memperbaiki peralatan pembantu distribusi yang ditempatkan didalamnya.

5.7.2.9 Meter Air

Air yang keluar mengalir dapat diketahui jumlahnya dengan cara memasang meter air. Peralatan ini selain ditempatkan pada reservoir untuk mengetahui pola pemakaian air penduduk dan jumlah kebocoran yang terjadi, tetapi juga ditempatkan pada rumah konsumen dan ran umum untuk mengetahui jumlah pemakaiannya setiap bulan.

5.7.3 Lokasi dan Kedalaman Pipa

Jaringan pipa distribusi air minum harus diletakkan tertanam dalam tanah dengan maksud melindungi pipa dari gangguan fisik dan bahaya pembebanan secara langsung, kecuali untuk bagian jaringan yang merupakan penyeberangan sungai (jembatan pipa). Untuk bagian ini pemasangannya tidak dapat ditanam di dalam tanah.

Penanaman jaringan pipa sedapat mungkin ditempatkan di luar jalur jalan (di sisi jalan), kecuali pada bagian jaringan yang terpaksa bersilangan dengan jalan. Pipa distribusi sedapat mungkin diletakkan dekat dengan pusat jalan dan cabang-cabang dari pipa utama berada di sisi jalan atau di bawah trotoar jalan seperti pada jalan-jalan yang lebar. Sedangkan untuk jalan yang sempit maka perlu menghindari jaringan pipa yang langsung diletakkan di bawah jalur roda kendaraan untuk mencegah kerusakan pipa.

Batas kedalaman penanaman pipa :

- Untuk parit galian yang normal di luar jalur jalan, bagian atas pipa diletakkan sedalam 450 mm di bawah permukaan tanah.
- Untuk parit galian di bawah jalur jalan, bagian atas pipa diletakkan sedalam 600 mm di bawah permukaan tanah.
- Bila dipasang melintasi jaringan atau struktur lain dalam tanah, maka perlu disediakan jarak pemisah lebih dari 30 cm.
- Untuk peletakkan pipa air bersih terhadap pipa air buangan, sebaiknya adalah 3 m secara horizontal dan 45 cm untuk jarak vertikal.

Kedalaman galian dipengaruhi oleh ketebalan pasir yang dipadatkan di bawah pipa. Ketebalan pasir di bawah pipa untuk bermacam-macam dasar galian dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Ketebalan Pasir untuk Tiap Jenis Dasar Galian

No	Jenis Dasar Galian	Tebal Pasir di Bawah Pipa (mm)
1	Dasar galian rata, tidak berbatu-batu	0-50
2	Dasar galian tidak rata, tidak berbatu-batu	100
3	Dasar galian berbatu-batu	100-500

Sumber: *Hardie's Textbook of Pipeline Design*, 1978

Kedalaman total galian parit dapat ditentukan dengan **Persamaan (5.4)** (*Hardie's Textbook of Pipeline Design*, 1978):

$$T = A + D + B \dots \dots \dots (5.4)$$

T = kedalaman parit total (mm)

A = kedalaman parit sampai bagian atas pipa (mm)

D = diameter pipa (mm)

B = tebal pasir di bawah pipa (mm)

5.8 PENYADAPAN (*TAPPING*)

Penyadapan (*tapping*) direncanakan dilakukan pada dua bagian, yaitu pada pipa induk untuk mensuplai pipa cabang dan kemudian dilakukan juga pada pipa cabang untuk kemudian melayani sambungan ke konsumen atau pipa pelayanan.

5.8.1 Penyadapan pada Pipa Induk

Penyadapan ini dilakukan dengan menggunakan sebuah *fitting* yaitu *tee* yang di ujung pengeluarannya dihubungkan dengan sebuah *reducer* dan katup (*valve*). *Valve* ini dipergunakan untuk mengatur debit yang akan disalurkan atau disadap dari pipa induk ke pipa cabang.

5.8.2 Penyadapan pada Pipa Cabang

Penyadapan ini dilakukan dengan dengan sebuah alat yang disebut *clamp saddle*. Kemudian dari keluaran alat ini, penyaluran ke konsumen akan dilanjutkan melalui *reducer* menggunakan pipa berdiameter kecil. Pemasangan sambungan ke konsumen ini juga akan dilengkapi dengan meter air dan katup.

5.8.3 Sambungan Langsung

Fasilitas sambungan langsung diberikan pada daerah yang telah mampu untuk memperoleh air bersih secara langsung dengan masing-masing memasang sambungan rumah. Untuk sambungan langsung, pipa yang akan digunakan adalah pipa dengan diameter $\frac{3}{4}$ " atau $\frac{1}{2}$ " dan direncanakan sampai ke dalam rumah.

5.8.4 Kran Umum

Sedangkan penyediaan fasilitas kran umum dimaksudkan untuk melayani penduduk yang masih belum mampu memasang sambungan rumah dengan biaya sendiri dan daerah pelayanan yang merupakan daerah pemukiman di daerah yang padat sehingga rawan air bersih.

5.9 SISTEM PEMADAM KEBAKARAN

Dalam merencanakan sistem penyediaan air bersih, harus disediakan pula air untuk pemadam kebakaran di samping air untuk kebutuhan domestik dan non domestik. Unit pemadam kebakaran perlu disediakan sebagai sarana dalam penyediaan air yang diperlukan pada saat terjadi kebakaran. Sistem pemadam kebakaran seperti unit hidran, umumnya diletakkan pada lokasi-lokasi yang padat kegiatan dan pusat keramaian penduduk, seperti area komersial (pasar, pertokoan), perumahan penduduk, sekolah, dll. Kebutuhan air untuk sistem pemadam kebakaran tidak dimasukkan dalam perhitungan dimensi perpipaan distribusi. Kebakaran tidak terjadi setiap hari. Oleh karena itu, kebutuhan air untuk sistem pemadam kebakaran menggunakan satuan bulanan, sehingga bila dimasukkan dalam perhitungan dimensi perpipaan distribusi tidak ekonomis karena membutuhkan dimensi pipa yang sangat besar. Kebutuhan air untuk

fasilitas ini hanya digunakan untuk menghitung dimensi reservoir yang dibutuhkan, dimana perhitungan volume reservoir harus menyertakan faktor cadangan air apabila sewaktu-waktu terjadi kebakaran.

Jumlah kebutuhan air untuk hidran bergantung pada beberapa faktor, yaitu:

- Frekuensi kebakaran
- Lamanya kebakaran terjadi
- Jumlah sarana pemadam kebakaran yang tersedia.

Kriteria sistem pemadam kebakaran adalah (Al Layla, 1978 dan Sukarmadijaya, 1978):

1. Unit hidran dipasang pada interval jarak 300 m, atau bergantung pada kondisi maupun peruntukan, dan kepadatan daerah setempat.
2. Hidran sebaiknya berada dekat dengan jalan dan persimpangan.
3. Jenis hidran halaman yang dapat digunakan terdiri atas dua tipe, yaitu:
 - Tipe *single nozzle* dengan diameter sadap minimum 150 mm.
 - Tipe *double nozzle* dengan diameter sadap minimum 300 mm.
4. Debit pemakaian air yang direncanakan untuk sebuah hidran halaman adalah sebesar 9-12 L/dtk dengan waktu pemadaman berkisar antara 5-10 jam.

Sedangkan berdasarkan kapasitas pengalirannya terdiri dari empat kelas, yaitu :

- Kelas AA memiliki kapasitas pengaliran lebih dari 1500 gpm dan ditandai dengan warna biru terang.
- Kelas A memiliki kapasitas pengaliran antara 1000 - 1499 gpm dan ditandai dengan warna hijau.
- Kelas B memiliki kapasitas pengaliran antara 500 - 999 gpm dan ditandai dengan warna oranye.
- Kelas C memiliki kapasitas pengaliran kurang dari 500 gpm dan ditandai dengan warna merah.

Berikutnya adalah perletakkan hidran pada kota, sebagai sarana pengambilan air saat kebakaran. Kriteria-kriteria tersebut adalah sebagai berikut :

1. Hidran halaman diletakkan pada lokasi yang strategis dan pada daerah yang memiliki kepadatan tinggi serta di pusat-pusat kota yang menjadi pusat keramaian atau kegiatan, dengan jarak pemasangan adalah sekitar 100 - 200 m. Sedangkan untuk daerah lainnya akan disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi setempat.
2. Lokasi hidran harus dekat dengan jalan besar atau persimpangan agar lebih mudah dicapai.
3. Hidran kebakaran ini juga dapat berfungsi sebagai unit penguras, sehingga hidran n perlu diletakkan di tempat terendah.

Bila dilihat dari segi kualitas, maka air untuk memadamkan kebakaran dapat memiliki kualitas yang sama dengan air bersih yang digunakan untuk memenuhi kebersihan air kota. Namun air tersebut juga dapat diperoleh dari sumber lain dengan kualitas air yang lebih rendah yaitu air yang tidak dapat langsung digunakan sebagai air minum hingga air yang telah terpolusi seperti air laut maupun air sungai yang telah terpolusi. Yang perlu diperhatikan pada pemakaian air berkualitas rendah ini adalah jangan sampai air pemadam kebakaran yang berkualitas rendah mengganggu kualitas lingkungan saat atau setelah pemadaman terjadi, ataupun terjadi kebocoran pada jaringan distribusi pemadam kebakaran sehingga mencemari air bersih pada jaringan distribusi kota.

5.10 RESERVOIR DISTRIBUSI

Reservoir distribusi mempunyai fungsi penting bagi sistem penyediaan air bersih di suatu kota. Perbedaan kapasitas pada jaringan transmisi yang menggunakan kebutuhan maksimum per hari dengan kebutuhan pada jam puncak untuk sistem distribusi, menyebabkan dibutuhkan reservoir distribusi. Saat pemakaian air berada di bawah rata-rata, reservoir akan menampung kelebihan air untuk digunakan saat pemakaian air maksimum. Beberapa fungsi reservoir yang lain diantaranya yaitu:

1. Mengumpulkan air bersih.
2. Menyimpan air untuk mengatasi fluktuasi pemakaian air yang berubah tiap jam.

3. Meratakan aliran dan tekanan air bila pemakaian air daerah pelayanan bervariasi.
4. Mendistribusikan air ke daerah pelayanan.
5. Menyimpan cadangan air untuk pemadam kebakaran.

5.10.1 Kapasitas Reservoir

Kapasitas reservoir ditentukan dari grafik fluktuasi pemakaian air selama sehari penuh (24 jam) dengan mengambil jumlah persentase dari surplus maksimum dan defisit minimum. Ditambah dengan sejumlah cadangan untuk keperluan mendadak yang nantinya dapat dipakai untuk mengatasi bahaya kebakaran. Kapasitas reservoir ini juga harus mampu mengatasi kebutuhan air di saat puncak. Besarnya suplai ke reservoir merupakan debit rata-rata yaitu sebesar 4,17 %, sehingga disaat pemakaian berada di bawah rata-rata reservoir akan menampung kelebihan air untuk digunakan saat pemakaian maksimum.

Namun bila data fluktuasi pemakaian air tidak tersedia, maka perhitungan kapasitas reservoir dapat langsung dihitung dengan memperkirakannya sebesar 15 - 30 % (Steel, Ernest W., 1985) atau 15 - 20 % (Hammer, Mark J., 1975) dari debit rata-rata. Kapasitas reservoir dihitung sebesar :

$$\text{Volume} = (15-30 \%) \times Q_{\text{rata-rata}} \times 1 \text{ hari} \dots \dots \dots (5.10)$$

5.10.2 Kriteria Teknis

Peletakan reservoir distribusi perlu diperhatikan dalam suatu sistem jaringan distribusi. Reservoir distribusi dapat ditempatkan di lokasi yang relatif tinggi pada daerah perencanaan dan sedapat mungkin terletak di pusat atau di lokasi yang terdekat dengan daerah pelayanan. Jika sistem distribusi air tidak dapat dilakukan secara gravitasi akibat tidak adanya lokasi yang tidak cukup memadai, maka tipe reservoir yang dipilih dapat merupakan kombinasi antara reservoir yang ditempatkan di dalam tanah (*ground reservoir*) dengan menara air (*elevated reservoir*) yang terletak di permukaan tanah dengan ketinggian tertentu.

Beberapa kriteria perencanaan untuk reservoir distribusi seperti yang direncanakan oleh Sukarmadijaya, H., et. all, diantaranya adalah :

1. Ambang Bebas dan Dasar Bak

- Diperlukan ambang bebas minimum 30 cm di atas permukaan air tertinggi.
- Dasar bak minimum 15 cm dari muka air terendah.
- Kemiringan dasar bak sebaiknya antara 1/100 hingga 1/500 ke arah pipa pengurasan.

2. Inlet dan Outlet

- Posisi dan jumlah pipa inlet ditentukan berdasarkan pertimbangan bentuk dan struktur tangki sehingga tidak ada daerah aliran yang mati.
- Pipa outlet dilengkapi dengan saringan (*screen*) dan diletakkan minimal 10 cm di atas lantai atau pada muka air terendah.
- Perlu diperhatikan penempatan pipa yang melalui dinding reservoir, karena harus dapat dipastikan dindingnya kedap air dan diberi *flexible joint*.
- Pipa inlet dan outlet dilengkapi dengan *gate valve*.
- Pipa peluap dan penguras memiliki diameter yang mampu mengalirkan debit air maksimum secara gravitasi dan saluran outlet harus terjaga dari kontaminasi dari luar.

3. Ventilasi dan *Manhole*

- Reservoir harus dilengkapi dengan ventilasi, *manhole*, dan alat ukur tinggi muka air.
- Tinggi ventilasi lebih kurang 50 cm dari tiap atap bagian dalam.
- Ukuran *manhole* harus cukup besar agar mudah dimasuki petugas dan konstruksinya harus kedap air agar tidak terjadi rembesan air dari luar.
- Ventilasi harus mampu memberikan sirkulasi udara yang cukup ke dalam reservoir sesuai dengan volumenya.

4. Kapasitas Standar

- Reservoir bawah (*ground reservoir*) memiliki kapasitas standar diantaranya sebesar 100, 300, 500, 750, dan 1000 m³.
- Reservoir atas (*elevated reservoir*) memiliki kapasitas standar diantaranya sebesar 300, 500, dan 750 m³ dengan muka air maksimum sekitar 20 - 25 m dari permukaan tanah.

5.11 PERENCANAAN HIDROLIS JARINGAN PERPIPAAN

Perhitungan hidrolis jaringan perpipaan distribusi air bersih dilakukan berdasarkan aliran air pada saat jam puncak dan perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Jarak sumber dengan daerah pelayanan
- Tekanan yang tersedia pada sumber
- Tekanan yang harus disediakan di setiap blok pelayanan
- Besar diameter pipa yang digunakan
- Kehilangan tekanan akibat friksi dalam pipa
- Kehilangan tekanan akibat perlengkapan pipa (*fittings*).

5.11.1 Metode Perhitungan Hidrolis

Perhitungan hidrolis jaringan perpipaan pada sistem jaringan distribusi air bersih dilakukan dengan menggunakan program komputer yaitu EPANET. EPANET adalah program komputer yang dapat menampilkan simulasi hidrolis dalam jaringan pipa bertekanan. Jaringan tersebut terdiri atas pipa, *node* (*junction* pipa), pompa, *valve*, dan tangki penampungan (*reservoir*). EPANET dapat mengidentifikasi aliran air dalam setiap pipa, tekanan pada setiap *node*, dan ketinggian air pada masing-masing tangki.

EPANET didesain untuk membantu analisis sistem distribusi air bersih, sehingga sering digunakan untuk hal-hal berikut ini:

- Pemilihan sumber pada sistem
- Pemilihan pompa beserta jadwal kerjanya
- Penentuan pipa yang perlu dibersihkan atau diganti.

Hasil *running* EPANET dapat berupa peta jaringan dengan kode warna, tabel data, grafik *time-series*, serta kontur plot.

5.11.2 Kemampuan Pemodelan Hidrolik

Kemampuan pemodelan hidrolik EPANET adalah sebagai berikut:

- Memiliki jaringan yang seluas mungkin, tanpa batasan-batasan tertentu.
- Menghitung *friction headloss* dengan menggunakan persamaan Hazen Williams, Darcy-Weisbach, atau Chezy-Manning.
- Menghitung *minor losses* untuk *bend*, *fitting*, dll.
- Menghitung energi pompa.
- Memodelkan berbagai jenis *valve*.
- Memungkinkan tangki penampungan dalam segala bentuk.
- Memperhitungkan berbagai kategori *demand* pada setiap *node* dengan *pattern* dan variasi waktu masing-masing.

5.11.3 Komponen- Komponen Fisik Dalam EPANET

EPANET memodelkan sistem distribusi air sebagai kumpulan dari *link* yang dihubungkan oleh *node*. Yang dimaksud dengan *link* adalah pipa, pompa, dan *valve*. Sedangkan *node* mewakili *junction*, tangki, dan reservoir.

5.11.4 Junction

Junction adalah titik-titik dalam jaringan tempat terjadinya pertemuan antar *link*, dimana air memasuki atau meninggalkan jaringan. Input data utama yang dibutuhkan adalah elevasi dan *demand* air. Output yang dihasilkan adalah head hidrolik dan tekanan pada *junction*. Input data pelengkap pada *junction* adalah:

1. *Demand* air yang bervariasi terhadap waktu
2. Kategori dari *demand* air
3. *Demand* negatif, yang menunjukkan bahwa air memasuki jaringan.

5.11.5 Reservoir

Reservoir adalah *node* yang mewakili sumber eksternal atau sumber air yang masuk ke dalam jaringan. Reservoir biasa digunakan untuk memodelkan danau, sungai, akifer air tanah, dll. Input utama untuk reservoir adalah head hidrolik (sebanding dengan elevasi permukaan air, apabila reservoir tidak memiliki tekanan). Reservoir tidak mempunyai *properties* untuk output, akan tetapi headnya dapat berubah terhadap waktu sesuai dengan *time pattern* yang dijadikan acuan.

5.11.6 Tank

Tank adalah *node* yang memiliki kapasitas penyimpanan, dimana volume air yang tersimpan bervariasi terhadap waktu selama simulasi. Input data yang dibutuhkan adalah:

1. Elevasi dasar, dimana level air adalah 0
2. Diameter atau bentuk tangki bila non silindris
3. *Initial*, minimum, dan level maksimum dari tangki.

Outputnya adalah head hidrolik, yang menunjukkan ketinggian muka air. EPANET akan menghentikan *outflow* bila tangki berada pada level air minimum, dan sebaliknya *inflow* akan dihentikan bila air berada pada level maksimum.

5.11.7 Valve

Valve adalah *link* yang membatasi tekanan atau aliran pada nilai tertentu dalam sebuah jaringan. Output dari *valve* adalah *flow rate* dan headloss. Sedangkan input yang penting adalah:

- *Node* awal dan akhir
- Diameter
- *Setting*
- Status

5.11.8 Pipa

Pipa adalah *link* yang mengalirkan air dari satu titik ke titik lainnya pada suatu jaringan. EPANET mengasumsikan bahwa pipa terisi penuh setiap saat. Arah aliran adalah dari titik yang memiliki head hidrolik lebih besar. Output dari pipa adalah *flow rate*, kecepatan aliran, dan headloss. Beberapa parameter yang digunakan sebagai input data untuk pipa adalah sebagai berikut:

1. Titik awal dan titik akhir *node*
2. Diameter
3. Panjang pipa
4. Koefisien kekasaran untuk menghitung headloss
5. Status (terbuka, tertutup, atau *check valve*). Check valve digunakan bila arah aliran satu arah.

5.11.9 Model Simulasi Hidrolik

Model simulasi hidrolik EPANET akan menghitung head pada *junction* dan *flow* dalam *link* pada level reservoir, tangki, dan *water demand* yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu. Setiap waktunya, level air dalam reservoir dan *water demand* diperbaharui dengan adanya *time pattern*. Head dan *flow* pada setiap waktunya merupakan hasil perhitungan dari persamaan aliran untuk setiap *junction*. Proses ini dikenal sebagai “*hydraulically balancing*” jaringan menggunakan teknik *iterative*.

5.11.10 Kehilangan Tekan Pada Jaringan Perpipaan

Dalam alirannya, air dalam pipa akan mengalami tekanan. Kehilangan tekanan pada jaringan perpipaan air bersih terdiri atas:

1. *Major losses*

Yaitu kehilangan tekan akibat gesekan dengan dinding pipa. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kehilangan tekanan pada pipa induk, pipa cabang, maupun pipa pelayanan adalah menggunakan rumus Hazen Williams (Fair, Geyer, and Okun, 1958). Pada **Tabel 5.2** diperlihatkan nilai koefisien Hazen Williams yang dapat digunakan untuk berbagai jenis pipa.

$$H_f = \left[\frac{Q_{jam\ puncak}}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1/0,54} \times L_{ekivalen} \dots\dots\dots(5.11)$$

Q = debit aliran (m³/s)

C = koefisien Hazen Williams (tergantung jenis pipa)

D = diameter pipa (mm)

L = panjang pipa (m)

Tabel 5.2 Harga Koefisien C untuk Beberapa Jenis Pipa

Jenis Pipa	Harga C	Keterangan
ACP	140	Baru
	130	Perencanaan
Besi dengan Las	140	Baru
	100	Perencanaan
Beton	140	Baru
	130	Perencanaan
CIP, coated	120	Baru
	100	Perencanaan
Plastik dan PVC	140	Baru
	130	Perencanaan

Sumber: Fair, Geyer, and Okun, 1958

2. Minor Losses

Yaitu kehilangan tekan akibat perubahan kecepatan aliran tiba-tiba, ataupun karena adanya perlengkapan pipa. Pada kenyataannya, *minor losses* dapat diabaikan karena nilainya yang relatif kecil bila panjang pipa lebih besar dari 500 kali diameter pipa. Persamaan untuk menghitung kehilangan tekan ini

adalah dengan menggunakan rumus Darcy-Weisbach (Fair, Geyer, and Okun, 1958). Pada **Tabel 5.3** dapat dilihat nilai K yang dapat digunakan untuk berbagai jenis perlengkapan pipa.

$$H_f = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(5.12)$$

Dimana:

K = koefisien kehilangan tekanan

V = kecepatan aliran

Metode lain yang juga dapat digunakan dalam menentukan besarnya *minor losses* adalah dengan prinsip ekivalensi terhadap panjang pipa. Dalam aplikasinya, akan didasarkan pada persamaan *Darcy-Weisbach* (Fair, Geyer, and Okun, 1958).

$$f \left(\frac{L_{eq}}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) = K \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(5.13)$$

maka
$$L_{eq} = \left(\frac{K \cdot D}{f} \right) \dots\dots\dots(5.14)$$

Tabel 5.3 Harga K untuk Beberapa Jenis Perlengkapan Pipa

Jenis Perlengkapan Pipa	Harga K
Gate Valve kondisi:	
• Terbuka penuh	0,2
• ¼ terbuka	1,2
• ½ terbuka	5,6
• ¾ terbuka	2,4
Angle Valve kondisi terbuka penuh	2,5
Butterfly Valve kondisi:	
• Sudut bukaan 10°	1
• Sudut bukaan 40°	10
• Sudut bukaan 70°	920

Jenis Perlengkapan Pipa	Harga K
90° elbow dengan:	
• Regular flange	0,21-0,3
• Long radius flange	0,14-0,23
• Short radius screwed	0,9
• Medium radius screwed	0,75
• Long radius screwed	0,6
Sudden Contraction:	
• $d/D = \frac{1}{4}$	0,42
• $d/D = \frac{1}{2}$	0,33
• $d/D = \frac{3}{4}$	0,19
Sudden Enlargement:	
• $d/D = \frac{1}{4}$	0,92
• $d/D = \frac{1}{2}$	0,56
• $d/D = \frac{3}{4}$	0,19

Sumber: *Hardie's Textbook of Pipeline Design, 1978*

5.11.11 Sisa Tekan

Besarnya sisa tekan pada pipa akan tergantung pada klasifikasi jaringan perpipaan, daerah perencanaan, dan jenis pipa yang dipergunakan.

Berdasarkan perencanaan pada *Draught Guidelines for Design and Construction of Public and Water Supply Sistem in Indonesia*, sisa tekan minimum yang harus disediakan adalah 6 m untuk pipa pelayanan di daerah dengan mayoritas bangunan tidak bertingkat dan 12 m untuk daerah dengan mayoritas bangunan bertingkat.

5.11.12 Kecepatan Perpipa

Selain menghitung kehilangan tekanan, maka dalam perencanaan hidrolis perpipa akan dipakai rumus tertentu dalam menghitung kecepatan aliran rata-rata dalam pipa. Hukum kontinuitas dapat digunakan untuk menghitung kecepatan aliran rata-rata dalam pipa.

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \dots\dots\dots(5.15)$$

Dimana,

v = kecepatan aliran (m/detik)

Q = debit aliran (m³/detik)

D = diameter pipa (m)

Rumus ini berlaku untuk pipa induk, cabang maupun pipa pelayanan.

5.11.13 Palu Air (*Water Hammer*)

Perubahan kecepatan dalam pipa yang terjadi secara tiba-tiba dapat menghasilkan perubahan tekanan yang besar. Jika tekanan tersebut telah melebihi tekanan kerja yang diijinkan, maka akan mengakibatkan pengaruh yang negatif pada sistem seperti rusaknya perlengkapan perpipaan, pipa pecah, kesukaran beroperasi, dan berkurangnya kapasitas pipa. Tekanan yang membesar ini sering disebut sebagai palu air (*Water Hammer*) karena menimbulkan bunyi seperti ketukan palu yang seolah terjadi pada bagian dalam pipa.

Palu air ini dapat disebabkan oleh terlalu dekat atau terlalu cepatnya penutupan katup pada suatu jaringan atau oleh peralatan pemutus aliran yang dilakukan oleh petugas atau operator secara cepat atau tiba-tiba. Kenaikan tekanan ini dapat dikurangi dengan menggunakan peralatan seperti *air valve*, *relief valve*, *surge valve*, dan sebagainya hingga tekanan menjadi hanya 10 - 40 %.

$$P = \left(\frac{4,665 v_w}{144 g} \right) \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{K}{E} \right) \left(\frac{d}{t} \right)} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(5.16)$$

$$v_w = 4,665 \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{K}{E} \right) \left(\frac{d}{t} \right)} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(5.17)$$

$$T_c = \frac{2L}{v_w} \dots\dots\dots(5.18)$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \dots\dots\dots(5.19)$$

$$T_a P_a = T_c P \dots\dots\dots(5.20)$$

Dimana,

P = penambahan tekanan akibat palu air (psi)

v = kecepatan aliran (fps)

E = modulus elastis (psi)

K = bulk modulus elastis (psi)

K/E = 0.001 - 0,2; nilainya ditentukan untuk berbagai material pipa

v_w = kecepatan aliran balik (fps)

d = diameter pipa (inch)

T = tebal pipa (inch)

L = panjang pipa (ft)

T_c = waktu kritis yang menyebabkan palu air (dtk)

T_a = waktu normal membuka-tutup katup (dtk)

P_a = selisih tekanan uji pipa dengan tekanan yang tersedia di titik tersebut (psi)

Tabel 5.4 Rasio K/E untuk Berbagai Jenis Material Pipa

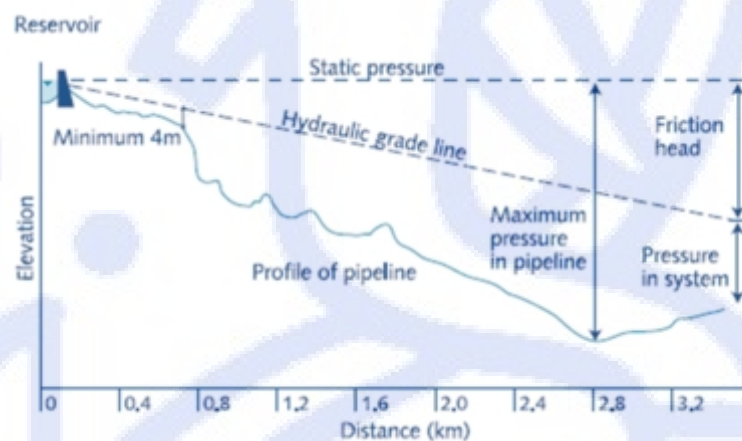
Material	K/E
Plate Steel	0,01
Cast Iron	0,020 - 0,022
Concrete	0,1
wood	0,2

Sumber : Babbit, water Supply Engineering, 1967

5.11.14 Profil Hidrolis

Profil hidrolis adalah gambar yang menunjukkan posisi ketinggian pipa dan garis hidrolisnya pada titik di suatu jalur perpipaan. Profil hidrolis

digambarkan dengan menempatkan panjang pipa sebagai sumbu absis dan tinggi perletakkan pipa atau kontur tanah serta ketinggian hidrolis pada sumbu ordinat. Profil hidrolis ditunjukkan dalam bentuk *Hydraulic Grade Line* (HGL). HGL adalah garis yang menunjukkan efek dari gesekan yang terjadi di dalam pipa, perubahan kecepatan dan perubahan energi dalam pipa tersebut, sehingga HGL merupakan garis yang jarak vertikalnya di suatu titik pada saluran tertutup proporsional terhadap tekanan pada pipa di titik tersebut, dengan satuan meter kolom air (mka). Jika tekanan di dalam pipa lebih kecil dari tekanan atmosfer, maka garis gradien hidrolis akan terletak di bawah garis jalur pipa. Hal ini akan menimbulkan terjadinya tekanan negatif.



Gambar 5.1 Profil Hidrolis