

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tangki Air

Setiap sistem proteksi kebakaran aktif berbasis air harus dilengkapi sekurang-kurangnya dengan satu jenis sistem penyediaan air berkapasitas cukup, serta dapat diandalkan setiap saat.

Air yang digunakan tidak boleh mengandung serat atau bahan lain yang dapat mengganggu bekerjanya pompa. pemakaian air asin tidak diijinkan, kecuali bila tidak ada penyediaan air lain pada waktu terjadinya kebakaran dengan syarat harus segera dibilas dengan air bersih.

Kapasitas tangki air disesuaikan dengan tingkat risiko bahaya kebakarannya, dan harus mampu melayani beroperasinya pompa kebakaran sebagai berikut :

- a. Untuk bahaya kebakaran ringan : 30 menit
- b. Untuk bahaya kebakaran sedang : 60 menit
- c. Untuk bahaya kebakaran berat : 90 menit

Apabila kebutuhan air untuk sistem proteksi kebakaran digabung dengan sistem penyediaan air bersih bangunan gedung, instalasi pemipaan harus diusahakan agar tidak terjadi air mati pada dasar tangki air tersebut.

Penentuan kapasitas pemadam kebakaran dilakukan sesuai dengan aturan SNI 03-1745-2000, sebagai berikut :

- a. Untuk setiap tangga pemadam kebakaran harus disediakan 1 (satu) buah pipa tegak pemadam kebakaran.
- b. Untuk laju aliran minimum dari pipa tegak hidraulik terjauh harus sebesar 500 GPM.
- c. Laju aliran minimum untuk pipa tegak tambahan harus sebesar 250 GPM untuk setiap pipa tegak.
- d. Jumlah total laju aliran minimum untuk pipa tegak tidak melampaui 1.250 GPM.

- e. Pengecualian, bila luas lantai lebih dari 7.432 m<sup>2</sup> (80.000 feet<sup>2</sup>), maka pipa tegak terjauh berikutnya harus dirancang untuk dapat menyalurkan 500 GPM.

Perhitungan kapasitas pemadam kebakaran sesuai dengan aturan SNI 03-1745-2000 dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V = \frac{Q(3,785)t}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

V = Volume (m<sup>3</sup>)

Q = Laju Aliran (gpm)

t = Waktu (menit)

## 2.2. Pompa

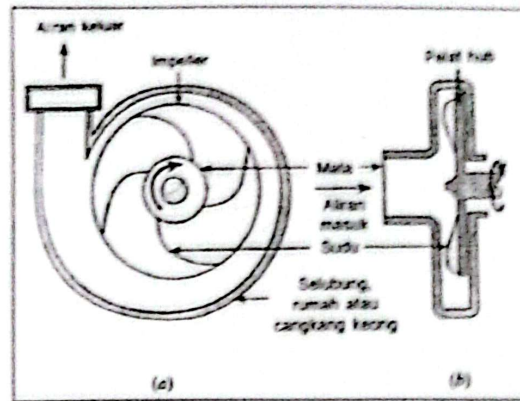
Pompa adalah alat untuk memindahkan fluida dari tempat satu ketempat lainnya yang bekerja atas dasar mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang diberikan alat tersebut digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan atau elevasi (ketinggian).

### 2.2.1. Pompa Sentrifugal

Jenis pompa ini mempunyai dua komponen utama yaitu sebuah impeller yang terpasang pada poros yang berputar, selubung diam, rumah, atau rumah keong yang menutupi impeller. Impeller terdiri dari beberapa pisau (blade) (biasanya melengkung), dan kadang-kadang disebut sudu (vanes), dipasang dengan pola yang teratur disekeliling poros. Sebuah sketsa yang memperlihatkan ciri-ciri utama sebuah pompa sentrifugal ditunjukkan pada Gambar 2.1<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> (Soewarno, 2011)

<sup>2</sup> (Sularso & Tahara, 2006)



Gambar 2.1 Elemen dasar pompa sentrifugal

Pada saat impeller berputar, fluida dihisap melalui mata (eye) pada selubung dan mengalir keluar secara radial. Energi ditambahkan kepada fluida oleh sudu yang berputar, dan baik tekanan maupun kecepatan absolut akan naik pada fluida mengalir dari mata ke keliling luar sudu. Untuk jenis pompa sentrifugal yang paling sederhana, fluida disalurkan secara langsung ke dalam selubung yang berbentuk keong. Bentuk selubung dirancang untuk menurunkan kecepatan pada saat fluida meninggalkan impeller, dan penurunan energi kinetiknya dirubah menjadi kenaikan tekanan.

### 2.2.2. Pompa Pemadam Kebakaran

Pompa yang digunakan untuk sistem proteksi kebakaran aktif berbasis air terdiri dari 3 jenis pompa, yaitu Pompa Jockey, Pompa Elektrik dan Pompa Diesel. Pada dasarnya pompa-pompa ini digunakan untuk mensuplai kebutuhan air yang diperlukan. Penjelasan dari pompa-pompa pemadam kebakaran tersebut adalah sebagai berikut :

#### 1. Pompa Jockey

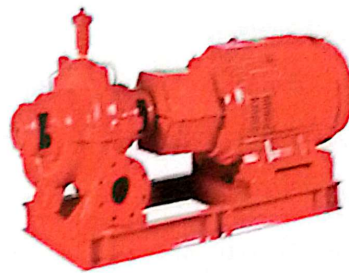
Pompa jockey berfungsi mempertahankan tekanan dalam sistem serta mencegah pompa pemadam kebakaran utama beroperasi. Head pompa jockey biasanya 5 psi sampai 10 psi lebih tinggi dari tekanan kerja (head) pompa kebakaran utama, sehingga pompa jockey akan beroperasi sebelum pompa kebakaran utama bekerja. Pompa yang digunakan biasanya berjenis pompa vertikal.



Gambar 2.2 Pompa Jockey

## 2. Pompa Elektrik

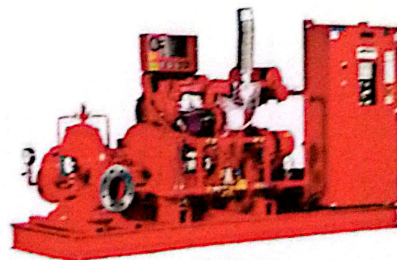
Pompa elektrik disebut juga sebagai pompa utama pemadam kebakaran yang berfungsi sebagai penyalur air bila terjadi kebakaran dan bekerja secara otomatis apabila terjadi penurunan tekanan yang drastis saat katup-katup terbuka. Pompa yang digunakan biasanya berjenis *horizontal split case pump*.



Gambar 2.3 Pompa Elektrik

## 3. Pompa Diesel

Pompa Diesel juga disebut sebagai pompa utama pemadam kebakaran yang bekerja menggantikan pompa elektrik saat terjadi kebakaran dan saat terjadi listrik padam. Pompa yang digunakan biasanya berjenis *horizontal split case pump*.

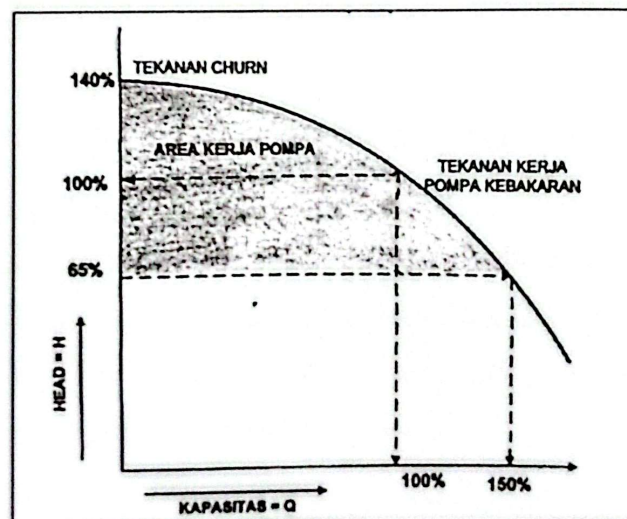


Gambar 2.4 Pompa Diesel

### 2.2.3. Pompa Kebakaran dan Penggeraknya

Pompa kebakaran bekerja di atas rentang aliran dan tekanan yang luas, agar supaya dapat menilai kinerjanya, ukuran pompa dinyatakan dengan kombinasi aliran dan tekanan. Aliran pompa dinyatakan dengan galoon per menit (GPM), seperti 25, 50, 100, 150, 200 250, 300, 400, 450, 500, 750, 1000, 1250, dan 1500. Rentang tekanannya dinyatakan dari 40 psi sampai 200 psi. Syarat-syarat pompa lainnya antara lain :

- NFPA 20 membolehkan pompa memberikan tekanan sebesar 140% dari tekanan nominalnya, yaitu pada kondisi tanpa aliran (kondisi berputar-putar = churn).
- NFPA 20 juga menyatakan bahwa pompa harus mampu menyediakan sedikitnya 65% dari tekanan nominalnya pada saat mengalirkan 150% dari aliran nominalnya.
- Titik tersebut pada 2 butir di atas, menunjukkan daerah kerja aliran dan tekanan untuk pompa kebakaran yang dibuat di pabrik. Perlu dicatat bahwa titik ini menunjukkan batas kurva pompa.
- Titik "churn" (140% dari tekanan nominal) adalah tekanan maksimum pompa yang dibolehkan dan titik lain (65% dari tekanan nominal) adalah minimum tekanan pada aliran 150% dari aliran nominal.<sup>3</sup>



Gambar 2.5 Area kerja pompa pemadam kebakaran

<sup>3</sup> (Soewarno, 2011)

#### 2.2.4. Pengaturan Tekanan Pompa Kebakaran

Sistem pompa kebakaran jika di start dengan penurunan tekanan (pressure drop), sebaiknya diatur dengan susunan sebagai berikut :

1. Titik stop pompa jockey, sebaiknya sama dengan tekanan pompa tanpa aliran (tekanan churn) pompa kebakaran, ditambah tekanan statik pasokan air minimum (bila ada, misalnya sumber air diperoleh dari PDAM yang bertekanan)
2. Titik start pompa jockey, sebaiknya minimal 10 psi (0,7 bar) lebih rendah dari titik stop pompa jockey.
3. Titik start pompa kebakaran, sebaiknya 5 psi (0,35 bar) lebih rendah dari titik start pompa jockey. Apabila digunakan lebih dari satu pompa kebakaran, gunakan 10 psi (0,7 bar) lebih tinggi untuk setiap penambahan pompa.
4. Apabila waktu kerja minimum pompa tersedia, pompa dapat terus beroperasi setelah mencapai tekanan ini. Tekanan akhir sebaiknya tidak melebihi tekanan nominal dari sistem.
5. Apabila pengoperasian dengan sakelar tekanan tidak dibolehkan dengan pengaturan ini, pengaturan sebaiknya ditentukan dengan tekanan yang ditunjukkan pada alat pengukur.<sup>4</sup>

### 2.3. Kotak Hidran (*Indoor Hydrant Box*) dan Kelengkapannya

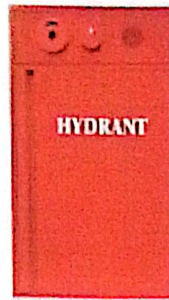
#### 2.3.1. Kotak Hidran (*Indoor Hydrant Box*)

Kotak hidran berupa lemari tertutup yang berisi slang kebakaran, harus berukuran cukup untuk pemasangan peralatan penting dan dirancang tidak saling mengganggu pada waktu sambungan slang, slang dan peralatan lain yang digunakan secara cepat pada saat terjadi kebakaran.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> (Soewarno, 2011)

<sup>5</sup> (Soewarno, 2011)



Gambar 2.6 Kotak Hidran (*Indoor Hydrant Box*)

Adapun syarat kotak hidran (*indoor hydrant box*) adalah sebagai berikut :

1. Di dalam lemari, sambungan slang dan tuas putar katup harus ditempatkan dengan jarak tidak kurang 25 mm (1 inci) dari bagian lemari, sehingga memudahkan pembukaan dan penutupan katup sambungan slang kebakaran.
2. Lemari hanya digunakan untuk menempatkan peralatan kebakaran, dan setiap lemari di cat dengan warna yang menyolok mata.
3. Apabila jenis "kaca mudah pecah" (*break glass*) sebagai tutup pelindung, harus disediakan alat pembuka, untuk memecahkan panel kaca dan diletakkan dengan aman dan tidak jauh dari area panel kaca.
4. Apabila suatu dinding tahan api ditembus oleh lemari, ketahanan api dari dinding tersebut harus dijaga sesuai yang dipersyaratkan oleh ketentuan teknis bangunan gedung lokal.
5. Kotak slang harus diberi tanda untuk menunjukkan isinya.

### 2.3.2. Slang

Setiap sambungan slang yang disediakan untuk digunakan oleh penghuni bangunan (*sistem kelas II*), harus dipasang dengan panjang yang tidak lebih dari 30 m, lurus dan dapat dilipat. Dan apabila slang berdiameter kurang dari 40 mm ( $1\frac{1}{2}$  inci) digunakan untuk kotak slang 40 mm ( $1\frac{1}{2}$  inci), harus digunakan slang yang tidak terlipat.



Gambar 2.7 Slang Kebakaran

#### 2.3.3. Rak Slang

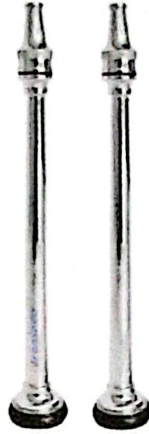
- Setiap kotak slang 40 mm ( $1\frac{1}{2}$  inci) yang disediakan dengan slang 40 mm ( $1\frac{1}{2}$  inci) harus dipasang dengan rak atau fasilitas penyimpanan lain yang disetujui.
- Setiap kotak slang 40 mm ( $1\frac{1}{2}$  inci) sesuai untuk klasifikasi pipa tegak kelas I dan kelas III, harus dipasang dengan gulungan aliran menerus yang terdaftar/teruji.



Gambar 2.8 Rak Slang Kebakaran

#### 2.3.4. Nozzle

Nozzle yang disediakan untuk pelayanan pipa tegak kelas II, harus teruji/terdaftar.



Gambar 2.9 Nozzle

### 2.3.5. Label

Masing-masing rak atau fasilitas penyimpanan untuk slang 40 mm (1½ inci) atau lebih kecil harus dibuatkan label dengan tulisan berbunyi : "SLANG KEBAKARAN", dan instruksi pemakaiannya.



Gambar 2.10 Label Instruksi Pemakaian Slang Pemadam Kebakaran

## 2.4. Automatic Sprinkler System (ASS)

Sprinkler adalah suatu alat pemancar air untuk pemadam kebakaran yang mempunyai tudung berbentuk deflector pada ujung mulut pancarnya, sehingga air dapat memancar kesemua arah secara merata. Sistem sprinkler harus dirancang untuk memadamkan kebakaran atau sekurang-kurangnya mampu mempertahankan kebakaran.

Media pemadam kebakaran untuk sistem sprinkler ada berbagai macam, yang disesuaikan menurut kebutuhan dan ruangnya, yaitu : air, air + busa, gas

halon dan CO<sub>2</sub>. Alat ini bekerja bila temperatur dalam suatu ruangan telah mencapai suhu tertentu.

Kepekaan sprinkler terhadap suhu ruangan dibedakan menurut warna cairan, sesuai dengan aturan SNI 03-3989-2000 :

Tabel 2.1 Tingkat Suhu Kepala Sprinkler

| Tingkat suhu untuk jenis glass bulb (°C) | Warna cairan dalam gelas |
|------------------------------------------|--------------------------|
| 57                                       | Jingga                   |
| 68                                       | Merah                    |
| 79                                       | Kuning                   |
| 93                                       | Hijau                    |
| 141                                      | Biru                     |
| 182                                      | Ungu                     |
| 203 / 260                                | Hitam                    |

#### 2.4.1. Jenis-jenis Kepala Sprinkler

Jenis-jenis kepala sprinkler adalah sebagai berikut :

1. Sprinkler standar menghadap keatas (upright) dan menghadap kebawah (Pendant)

Sprinkler standar menghadap keatas (upright) dan kebawah (pendant) digunakan pada semua klasifikasi bahaya kebakaran dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.11 Kepala Sprinkler menghadap keatas (upright)



Gambar 2.12 Kepala Sprinkler menghadap kebawah (Pendant)

## 2. Sprinkler dinding (Sidewall Sprinkler Head)

Sprinkler dinding hanya dipasang untuk hunian dengan risiko bahaya ringan dengan langit-langit yang halus dan datar.



Gambar 2.13 Kepala Sprinkler Dinding (Sidewall Sprinkler Head)

### 2.4.2. Jenis-jenis Sistem Sprinkler Otomatis

Jenis-jenis sistem sprinkler otomatis adalah sebagai berikut :

#### 1. Wet Pipe System

Sistem ini menggunakan kepala sprinkler otomatis yang dipasang pada jaringan pipa berisi air yang bertekanan sepanjang waktu. Jika terjadi kebakaran, sprinkler diaktifkan oleh panas yang membuka penahan orifice kepala sprinkler dan air akan segera menyembur, akibatnya tekanan air pada pipa akan berkurang dan katup kontrol akan membuka dan mengaktifkan pompa kebakaran.

#### 2. Dry Pipe System

Sistem ini menggunakan kepala sprinkler otomatis yang dipasang pada pipa berisi udara atau nitrogen yang bertekanan. Jika kepala sprinkler terbuka karena panas dari api, tekanan udara pada pipa akan berkurang dan katup kontrol dry pipe akan terbuka oleh tekanan air, sehingga pompa kebakaran akan hidup dan air mengalir mengisi jaringan pipa dan menyembur dari kepala sprinkler yang terbuka.

### 3. Preaction System

Sistem preaction adalah sistem dry pipe dengan udara bertekanan atau tanpa tekanan pada pipa. Jika terjadi kebakaran maka alat deteksi akan bekerja dan mengaktifkan pembuka katup kontrol, sehingga air mengalir mengisi pipa dan keluar dari kepala sprinkler otomatis yang terbuka akibat panas dari api.

### 4. Deluge System

Sistem ini sama dengan preaction sistem, kecuali bahwa semua kepala sprinkler dalam keadaan terbuka. Jika api mengaktifkan peralatan deteksi, maka katup kontrol sprinkler akan terbuka dan air akan mengalir disepanjang pipa dan keluar dari semua kepala sprinkler pada daerah operasi dan membanjiri daerah operasi.

Pada umumnya sistem sprinkler yang banyak digunakan di Indonesia adalah wet pipe system. Sistem wet pipe ini mempunyai keunggulan dibanding sistem lainnya terutama karena :

- Sistem yang handal, karena tidak ada sistem lain yang harus diaktifkan kepala sprinkler itu sendiri.
- Didalam pipa selalu terdapat air yang bertekanan yang siap untuk pemadaman kebakaran tahap awal.
- Merupakan sistem yang paling sederhana dan cepat.

## 2.5. Instalasi Pemipaan

Sistem pemipaan berfungsi untuk mengantarkan fluida yang akan dipindahkan sampai ke tujuan pemakaian, untuk mendukung kerja dari suatu peralatan. Agar fluida tersebut sampai tujuan maka diperlukan suatu jaringan instalasi yang terdiri dari beberapa komponen pendukung. Komponen-komponen tersebut terdiri dari :

### 2.5.1. Pipa

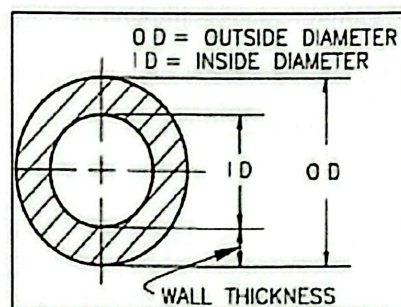
Pipa merupakan suatu media untuk mengalirkan fluida baik gas maupun cair dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan suatu tekanan dan kerugian aliran

Institut Sains Dan Teknologi Nasional

tertentu. Pada prinsipnya sistem perencanaan instalasi pipa dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Perencanaan instalasi pipa dalam gedung.
  - Instalasi plambing yang meliputi instalasi air bersih, kotor dan buangan.
  - Instalasi pipa pemadam kebakaran.
2. Perencanaan instalasi pipa diluar gedung.
  - Dalam bidang eksploitasi minyak dan gas bumi.
  - Dalam bidang industri kimia.
  - Instalasi pipa untuk PN Gas.
  - Instalasi pipa PDAM.

Pipa diidentifikasi dengan 3 (tiga) kategori, yaitu *nominal pipe size (nps)*, *outside diameter*, dan *inside diameter*. NPS menunjukkan diameter nominal bukan diameter sebenarnya. Istilah NPS hanyalah angka standar yang digunakan sebagai satuan umum.<sup>6</sup>



Gambar 2.14 Diameter pipa

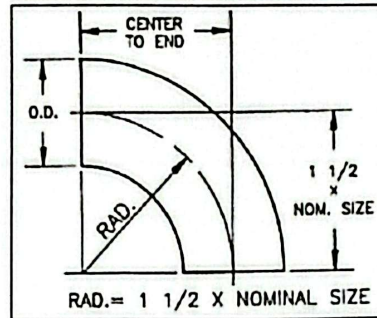
### 2.5.2. Fitting

Fitting dibuat sebagai bagian dari suatu sistem pemipaan yang berfungsi untuk merubah arah aliran (elbow), membuat percabangan (tee) atau untuk mengecilkan ukuran pipa (reducer). Berikut ini adalah jenis-jenis fitting :

<sup>6</sup> (Parisher & Rhea, 2011)

### 1. Long Radius Elbow (Weld)

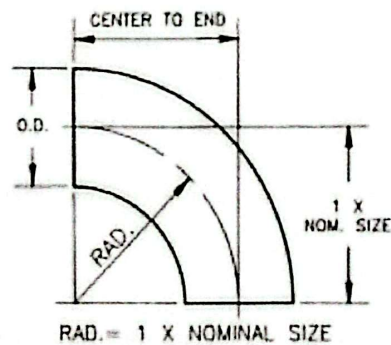
Elbow jenis ini banyak dipergunakan. Besar radiusnya adalah  $1\frac{1}{2}$  nominal dari ukurannya. Elbow jenis ini lebih *smooth* alirannya ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Long Radius Elbow

### 2. Short Radius Elbow (Weld)

Jenis *elbow* yang lain adalah *short radius elbow* yang penggunaannya sesuai dengan kebutuhan, karena khusus dan jarang dipergunakan. Kekhususan penggunaannya dikarenakan jenis *elbow* ini memiliki nilai penurunan tekanan yang lebih besar dari pada *long radius elbow*. Dan besar radiusnya adalah  $1x$  nominal ukurannya.

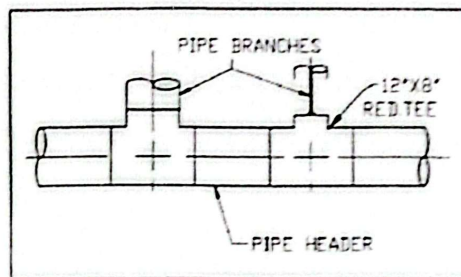


Gambar 2.16 Short Radius Elbow

### 3. Tee (Weld)

*Tee* adalah komponen pemipaan yang membuat percabangan dimana ukuran cabangnya sama dengan ukuran utamanya. Sedangkan bila

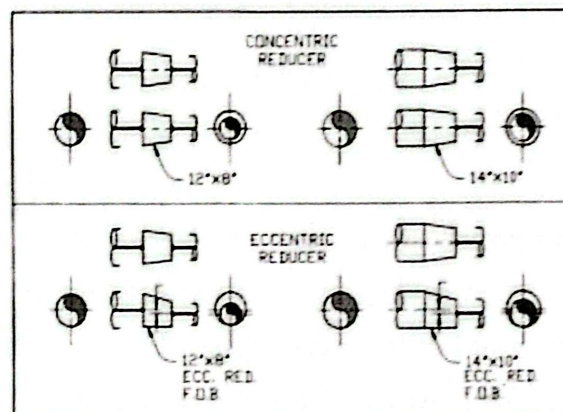
ukuran percabangannya lebih kecil disebut dengan *reducer tee*. Perbedaan *tee* dan *reducer tee* dapat dilihat pada Gambar 2.17.<sup>7</sup>



Gambar 2.17 Perbedaan Tee dan Reducer Tee

#### 4. Reducer

Bila ada sistem pemipaan dibutuhkan adanya perubahan ukura, maka dibutuhkan *reducer* ini. Ada 2 (dua) jenis *reducer* yang dipergunakan, yaitu *concentric* dan *eccentric*.



Gambar 2.18 Concentric dan Eccentric Reducer

#### 2.5.3. Valve

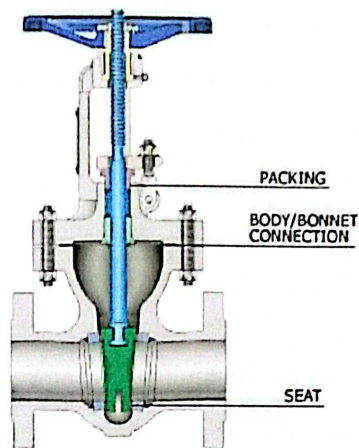
Valve atau katup adalah alat yang mengatur aliran, jumlah, volume, tekanan dan arah dari fluida. Valve termasuk bagian yang sangat esensial pada sistem pemipaan. Kegunaan dari valve pada sistem pemipaan selain untuk *block/stop* aliran juga untuk mencegah aliran balik, pengaturan aliran dan sebagainya,

<sup>7</sup> (Parisher & Rhea, 2011)

sehingga jenis dan konstruksi dan material dari valve menyesuaikan. Jenis-jenis valve sebagai berikut :

### 1. *Gate Valve* (Katup Gerbang)

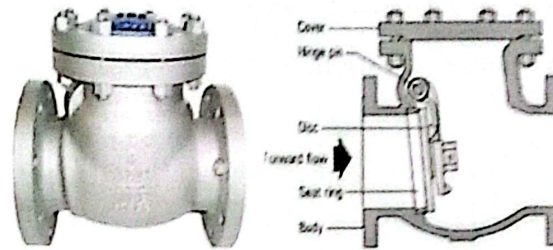
Gate valve adalah jenis katup yang digunakan untuk membuka aliran dengan cara mengangkat gerbang penutupnya yang berbentuk bulat atau persegi panjang.



Gambar 2.19 *Gate Valve*

### 2. *Check Valve*

Check valve adalah katup yang digunakan untuk mengatur fluida hanya mengalir ke satu arah saja dan mencegah aliran ke arah sebaliknya (backflow). Check valve tidak menggunakan handle untuk mengatur aliran, tapi menggunakan gravitasi dan tekanan dari aliran fluida itu sendiri. Karena fungsinya yang dapat mencegah aliran balik (backflow), check valve sering digunakan sebagai pengaman dari sebuah equipment dalam sistem pemipaan.



Gambar 2.20 Check Valve

### 3. Katup Saringan (Strainer)

Saringan (Strainer) berfungsi sebagai alat penyaring kotoran baik yang berupa pada, cair atau gas. Alat penyaring ini digunakan pada jalur pipa guna menyaring kotoran pada aliran sehingga aliran yang akan diproses atau hasil proses baik mutunya.

## 2.6. Instalasi Pipa Tegak

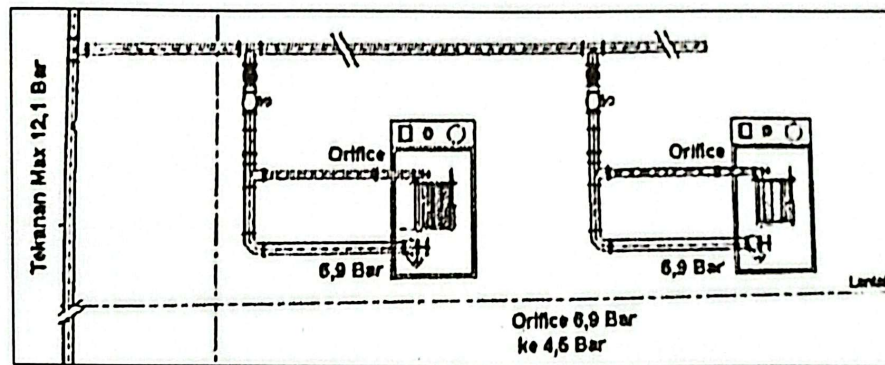
Sistem pipa tegak diartikan sebagai suatu susunan dari pemipaan, katup, sambungan slang, dan kesatuan peralatan dalam bangunan, dengan sambungan slang yang dipasangkan sedemikian rupa sehingga air dapat dipancarkan atau disemprotkan melalui slang dan nozzle, untuk keperluan memadamkan api, untuk mengamankan bangunan dan isinya, serta sebagai tambahan pengamanan penguni. Ini dapat dicapai dengan menghubungkannya ke sistem pasokan air atau dengan menggunakan pompa, tangki dan peralatan seperlunya untuk menyediakan pasokan air yang cukup ke sambungan slang.

Pipa tegak pada saf pemadam kebakaran tidak boleh tertutup dan terlindungi. Tekanan maksimum di titik manapun pada instalasi pipa tegak tidak boleh melebihi 350 psi (24 bar). Aturan tekanan pada koneksi ke tiap pipa sesuai NFPA 14 dan SNI 03-1745-2000 sebagai berikut<sup>8</sup> :

- a. Dirancang secara hidraulik untuk mendapat laju aliran air pada tekanan sisa 4,5 bar (65 psi) pada ujung kotak hidran 40 mm terjauh dihitung secara hidraulik.

<sup>8</sup> (NFPA 14 Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems, 2019) (SNI 03-1745-2000 Tata Cara Perencanaan dan Pemasangan Sistem Pipa Tegak dan Slang untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung, 2000)

- b. Tekanan kotor pada keluaran pipa 40 mm tidak boleh melebihi 6,9 bar (100 psi), alat pengatur tekanan yang sudah diuji harus disediakan untuk membatasi tekanan sisa.
- c. Tekanan statis pada sambungan pipa sebelum 40 mm tidak boleh melebihi 175 psi (12,1 bar), alat pengatur tekanan harus disediakan untuk membatasi tekanan di ujung sambungan slang 40 mm.



Gambar 2.21 Batas tekanan maksimal sambungan pipa

## 2.7. Head Fluida Cair

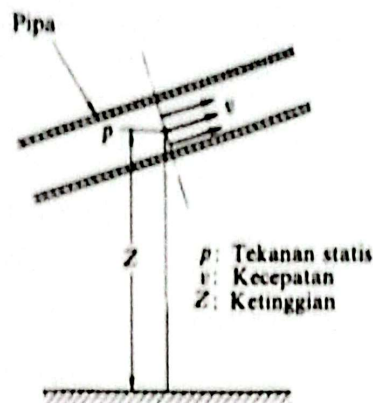
Pandanglah aliran suatu zat cair (atau fluida inkompresibel, misalnya air) melalui suatu penampang saluran seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.22. Pada penampang tersebut zat cair mempunyai tekanan statis  $p$  (dalam  $\text{kgf/m}^2$ ), kecepatan rata-rata  $v$  (dalam  $\text{m/s}$ ), dan ketinggian  $Z$  (dalam  $\text{m}$ ) diukur dari bidang referensi. Maka zat cair tersebut pada penampang yang bersangkutan dikatakan mempunyai head total  $H$  (dalam  $\text{m}$ ) yang dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z^9 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- $H$  = Head Total (m)
- $p$  = Tekanan Statis ( $\text{kgf/m}^2$ )
- $v$  = Kecepatan Rata-rata ( $\text{m/s}$ ),
- $Z$  = Ketinggian (m)
- $g$  = Percepatan Gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )
- $\gamma$  = Berat zat cair per satuan volume ( $\text{kgf/m}^3$ )

<sup>9</sup> (Sularso & Tahara, 2006)



Gambar 2.22 Aliran Melalui Pipa

Adapun masing-masing suku dari persamaan tersebut di atas, yaitu  $p/\rho$ ,  $v^2/2g$ , dan  $Z$ , berturut-turut disebut head tekanan, head kecepatan dan head potensial. Ketiga head tidak lain adalah energi mekanik yang terkandung oleh satu satuan berat (1 kgf) zat cair yang mengalir pada penampang yang bersangkutan. Satuan energi per satuan berat adalah ekuivalen dengan satuan panjang (atau tinggi). Maka head total  $H$  yang merupakan jumlahan dari head tekanan, head kecepatan dan head potensial adalah energi mekanik total per satuan berat zat cair, dan dinyatakan dengan satuan tinggi kolom zat cair dalam meter.

Dalam satuan SI (*Le Systeme International d'Unites*), head  $H$  sering kali dinyatakan sebagai energi spesifik  $Y$ , yaitu energi mekanik yang dikandung oleh aliran per satuan masa (1 kg) zat cair. Satuan  $Y$  adalah J/kg. Dengan satuan ini, energi spesifik tekanan, kecepatan dan potensial dapat dinyatakan berturut-turut sebagai  $p/\rho$ ,  $v^2/2$ , dan  $gZ$ . Maka persamaan energi spesifik total dapat ditulis pada persamaan :

$$Y = gH = \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2g} + gZ \quad (2.3)$$

Dimana  $\rho$  adalah masa zat cair per satuan volume ( $\text{kg/m}^3$ )

### 2.7.1. Head Total Pompa (H)

Seperti pada Head Fluida mengalir, head pompa juga terbagi atas 3 jenis yaitu, head tekanan, head potensial, head kecepatan. Tetapi pada suatu instalasi

<sup>10</sup> (Sularso & Tahara, 2006)

pipa, *head* total pompa dipengaruhi juga oleh penurunan *head* akibat kerugian pada perpipaan, dapat diketahui dari persamaan :

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

Dimana :

- H = Head total pompa (m)
- $h_a$  = Head statis total (m)
- $\Delta h_p$  = Perbedaan head antara 2 permukaan (m)
- $h_l$  = Kerugian head (m)
- v = Head kecepatan keluar (m)
- g = Gravitasi ( $m/s^2$ )

### 2.7.2. Kontinuitas Aliran Fluida

Teori aliran fluida memiliki 2 prinsip utama yaitu, prinsip kekekalan massa dan kekekalan energi. Prinsip kekekalan massa menyatakan bahwa dalam suatu volume zat massa selalu konstan. Sejumlah massa yang masuk sama dengan massa yang keluar dinyatakan dalam persamaan :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (2.5)$$

$$\rho Q_1 = \rho Q_2 \quad (2.6)$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.7)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.8)$$

Dimana :

- Q = Laju aliran ( $m^3/s$ )
- A = Luas penampang pipa ( $m^2$ )
- v = Kecepatan aliran (m/s)

<sup>11</sup> (Sularso & Tahara, 2006)

<sup>12</sup> (Munson, Young, & Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2015)

Prinsip kekekalan energi menyatakan bahwa total energi dalam suatu sistem selalu konstan. Pada tahun 1738, Daniel Bernoulli mengembangkan persamaan dasar energi untuk fluida yang disimpulkan dalam persamaan berikut :

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad ^{13} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- P = Tekanan (N/m<sup>2</sup>)  
 $\gamma$  = Berat jenis (N/m<sup>3</sup>)  
 V = Kecepatan (m/s)  
 g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 Z = Ketinggian (m)

### 2.7.3. Jenis Aliran

Aliran fluida dibagi menjadi tiga jenis, yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Jenis aliran dapat ditentukan dari bilangan tak berdimensi yang disebut dengan *Bilangan Reynolds*. Bilangan Reynolds ini adalah perbandingan antara efek inersia dan viskos dalam aliran. Persamaannya sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad ^{14} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

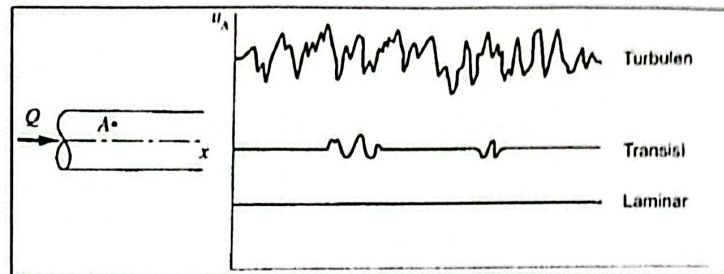
- Re = Bilangan Reynolds  
 $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)  
 V = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/s)  
 D = diameter pipa (m)  
 $\mu$  = viskositas dinamik (Ns/m<sup>2</sup>)

<sup>13</sup> (Munson, Young, & Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2015)

<sup>14</sup> (Munson, Young, & Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2015)

Klasifikasi aliran dalam pipa berdasarkan Bilangan Reynolds :

- Aliran Laminer, jika bilangan  $Re < 2100$ .
- Aliran Turbulen, jika bilangan  $Re > 4000$ .
- Aliran Transisi, jika  $2100 < \text{bilangan } Re < 4000$ .



Gambar 2.23 Grafik jenis aliran

Sifat-sifat fisik dari air dapat diketahui dari tabel 2.2.

Tabel 2.2 Properti fisika air

| Temperatur<br>(°C) | Densitas,<br>$\rho$<br>(kg/M <sup>3</sup> ) | Berat<br>Jenis <sup>b</sup> ,<br>$\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Viskositas<br>Dinamik,<br>$\mu$<br>(N · s/m <sup>2</sup> ) | Viskositas<br>Kinematik,<br>$\nu$<br>(m <sup>2</sup> /s) | Tegangan<br>Permukaan <sup>c</sup> ,<br>$\sigma$<br>(N/m) | Tekanan<br>Uap,<br>$P_v$<br>[N/m <sup>2</sup> (abs)] |
|--------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 0                  | 999,9                                       | 9,806                                                             | 1,787 E - 3                                                | 1,787 E - 6                                              | 7,56 E - 2                                                | 6,105 E + 2                                          |
| 5                  | 1000,0                                      | 9,807                                                             | 1,519 E - 3                                                | 1,519 E - 6                                              | 7,49 E - 2                                                | 8,722 E + 2                                          |
| 10                 | 999,7                                       | 9,804                                                             | 1,307 E - 3                                                | 1,307 E - 6                                              | 7,42 E - 2                                                | 1,228 E + 3                                          |
| 20                 | 998,2                                       | 9,789                                                             | 1,002 E - 3                                                | 1,004 E - 6                                              | 7,28 E - 2                                                | 2,338 E + 3                                          |
| 30                 | 995,7                                       | 9,765                                                             | 7,975 E - 4                                                | 8,009 E - 7                                              | 7,12 E - 2                                                | 4,243 E + 3                                          |
| 40                 | 992,2                                       | 9,731                                                             | 6,529 E - 4                                                | 6,580 E - 7                                              | 6,96 E - 2                                                | 7,376 E + 3                                          |
| 50                 | 988,1                                       | 9,690                                                             | 5,468 E - 4                                                | 5,534 E - 7                                              | 6,79 E - 2                                                | 1,233 E + 4                                          |
| 60                 | 983,2                                       | 9,642                                                             | 4,665 E - 4                                                | 4,745 E - 7                                              | 6,62 E - 2                                                | 1,992 E + 4                                          |
| 70                 | 977,8                                       | 9,589                                                             | 4,042 E - 4                                                | 4,134 E - 7                                              | 6,44 E - 2                                                | 3,116 E + 4                                          |
| 80                 | 971,8                                       | 9,530                                                             | 3,547 E - 4                                                | 3,650 E - 7                                              | 6,26 E - 2                                                | 4,734 E + 4                                          |
| 90                 | 965,3                                       | 9,467                                                             | 3,147 E - 4                                                | 3,260 E - 7                                              | 6,08 E - 2                                                | 7,010 E + 4                                          |
| 100                | 958,4                                       | 9,399                                                             | 2,818 E - 4                                                | 2,940 E - 7                                              | 5,89 E - 2                                                | 1,013 E + 5                                          |

## 2.8. Kerugian Tekanan

Aliran fluida dalam pipa mengalami kerugian-kerugian yang diakibatkan oleh panjang jalur, jenis pipa (gesekan pipa), dan perlengkapan pipa. Kerugian-kerugian pada aliran pipa dapat diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu rugi minor dan rugi mayor.

### 2.8.1. Rugi Mayor

Ketika fluida mengalir di dalam pipa, partikel fluida dekat dinding memiliki kecepatan yang rendah. Sedangkan partikel di pusat pipa memiliki kecepatan yang tinggi. Hal ini disebabkan gerakan relatif dan kekentalan dari fluida yang menimbulkan tegangan geser sehingga terjadi kehilangan energi (major losses) akibat gesekan pipa.

Persamaan kehilangan energi akibat gesekan pipa atau lebih dikenal dengan persamaan Darcy- Weisbach, yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$h_L = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad ^{15} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

$h_L$  = Kerugian mayor (m)

$f$  = faktor gesekan

$l$  = panjang pipa (m)

$D$  = diameter pipa (m)

$V$  = Kecepatan aliran (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Nilai  $f$  dari persamaan Darcy- Weisbach di atas dapat dicari berdasarkan jenis aliran :

a. Untuk aliran laminar

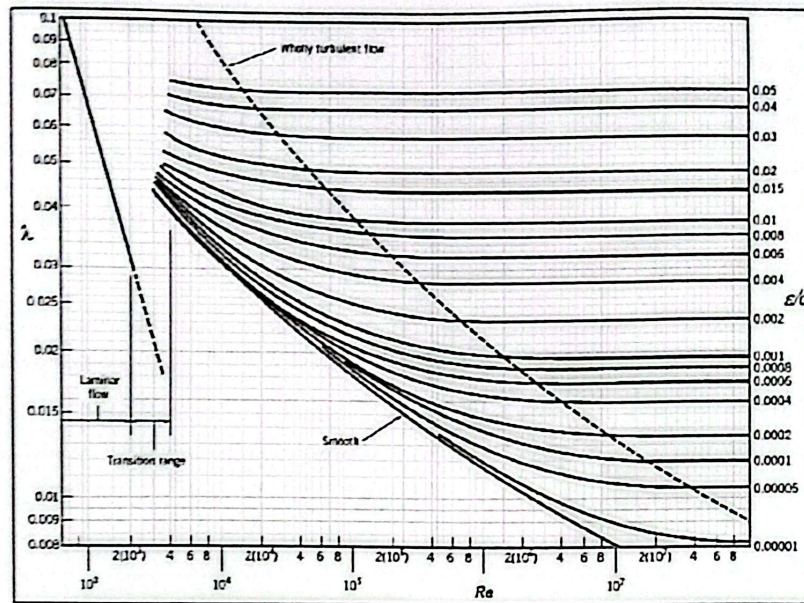
$$f = \frac{64}{Re} \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

b. Untuk aliran turbulen

$$f = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

c. Untuk aliran turbulen penuh (diagram moody)

<sup>15</sup> (Munson, Young, & Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2015)



Gambar 2.24 Diagram Moody

### 2.8.2. Rugi Minor

Selain kehilangan energi akibat gesekan pipa, aliran fluida dalam pipa akan kehilangan energi karena adanya sambungan pipa seperti elbow, katup, check valve, strainer, flexible joint, serta adanya pengecilan (konstraksi) dan pembesaran (ekspansi) penampang pipa.

Metode yang paling umum digunakan untuk menentukan kerugian-kerugian head atau penurunan tekanan adalah dengan menentukan koefisien kerugian ( $K_L$ ) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (2.14)$$

Dimana :

$h_L$  = Kerugian minor (m)

$K_L$  = koefisien kerugian

$V$  = Kecepatan aliran (m/s)

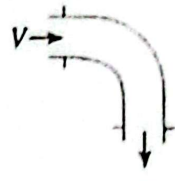
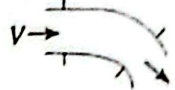
$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Koefisien-Koefisien Kerugian Sambungan Pipa :

a. Sambungan siku (elbow)

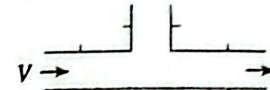
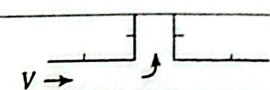
<sup>16</sup> (Munson, Young, & Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 2015)

Tabel 2.3 Sambungan siku

| Komponen                     | $K_L$ | Gambar                                                                              |
|------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Biasa 90° berflensa          | 1,5   |  |
| Radius panjang 90° berflensa | 0,7   |  |

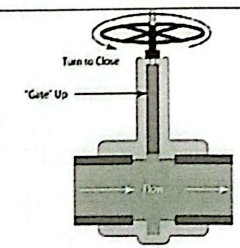
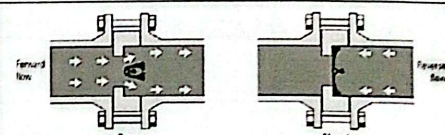
## b. Sambungan Tee

Tabel 2.4 Sambungan tee

| Komponen                | $K_L$ | Gambar                                                                               |
|-------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Aliran lurus berflensa  | 0,2   |    |
| Aliran cabang berflensa | 1,0   |  |

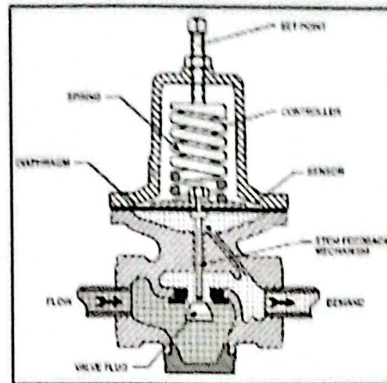
## c. Katup-Katup

Tabel 2.5 Katup-katup

| Komponen                | $K_L$ | Gambar                                                                               |
|-------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Gerbang, bukaan penuh   | 0,15  |  |
| Cek swing, aliran penuh | 1,0   |  |

## 2.9. Peralatan Pengurangan Tekanan

### 2.9.1. Katup Penurun Tekanan (*Pressure Reducing Valve*)

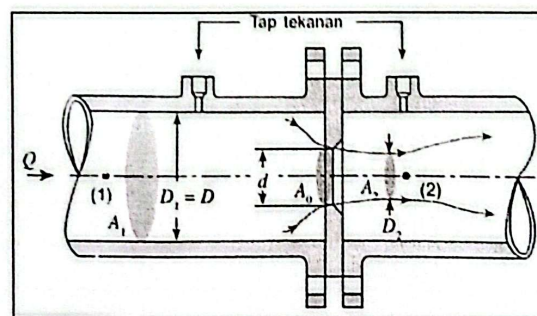


Gambar 2.25 *Pressure reducing valve (PRV)*

Syarat penggunaan katup penurun tekanan :

- Tekanan pada katup 40 mm kotak hidran tiap lantai tidak boleh melebihi 6,9 bar, apabila tekanan pada katup 40 mm melebihi itu alat pengendali tekanan harus disediakan untuk membatasi tekanan sisa sesuai aliran yang dipersyaratkan.
- Tekanan statik pada sambungan slang (pipa tegak) tidak boleh melebihi 12,1 bar.
- Alat pengendali tekanan harus dipasang dengan ketinggian tidak lebih dari 2,3 m di atas lantai.<sup>17</sup>

### 2.9.2. Orifice Plate



Gambar 2.26 *Orifice plate*

<sup>17</sup> (Soewarno, 2011)

Pemilihan orifice plate yang mengakibatkan kehilangan tekanan sebesar  $\Delta P_x$  dengan debit  $Q$ , harus dihitung nilai  $\Delta P_0$  menurut rumus berikut dan digunakan tabel yang sesuai guna memperoleh ukuran lubang yang tepat. Bila diperlukan dapat dilakukan interpolasi.

$$\Delta P_0 = \Delta P_x \frac{Q_0}{Q_x}^{18} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

$\Delta P_0$  = Kehilangan tekanan (Bar)

$\Delta P_x$  = Kehilangan tekanan pada orifice (Bar)

$Q_x$  = Laju aliran pada kotak hidran (946 L/menit)

$Q_0$  = Perkiraan debit nozzle 40 mm (500 L/menit)

Kehilangan tekanan, ukuran plat berlubang untuk pipa diameter 40 mm dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.6 Diameter orifice plate untuk pipa 40 mm

| Kehilangan Tekanan (Bar) | Ukuran Plat Berlubang (mm) |
|--------------------------|----------------------------|
| 2,5                      | 22,84                      |
| 2,25                     | 23,47                      |
| 2,00                     | 24,72                      |
| 1,75                     | 25,97                      |
| 1,5                      | 27,22                      |
| 1,25                     | 28,47                      |
| 1,00                     | 29,72                      |
| 0,90                     | 30,19                      |
| 0,80                     | 30,66                      |
| 0,70                     | 31,13                      |
| 0,60                     | 31,96                      |
| 0,50                     | 32,76                      |
| 0,40                     | 33,63                      |
| 0,30                     | 35,03                      |
| 0,20                     | 36,7                       |
| 0,10                     | 38,43                      |
| 0,05                     | 39,26                      |

<sup>18</sup> (Soewarno, 2011)