

**HIDROLIK SISTEM PROTEKSI KEBAKARAN****Daftar Isi**

	Halaman
<b>1.0 RUANG LINGKUP</b> .....	3
1.1 Perubahan .....	3
1.2 Informasi yang Digantikan .....	3
<b>2.0 REKOMENDASI PENCEGAHAN KERUGIAN</b> .....	3
2.1 Proteksi .....	3
2.1.1 Hidrolik Pasokan Air untuk Sistem Springkler Otomatis .....	3
2.1.2 Hidrolik Sistem Springkler Otomatis .....	13
<b>3.0 DUKUNGAN UNTUK REKOMENDASI</b> .....	30
3.1 Hukum Bernoulli dan Penerapannya .....	30
3.2 Rumus Hazen-Williams .....	33
3.3 Hilang Tekanan Pada <i>Fiting</i> .....	33
3.4 Pengeluaran dari Nozel .....	34
3.5 Koefisien Pengeluaran .....	34
3.6 Pengeluaran Teoritis .....	34
3.7 Faktor K Nozel .....	34
<b>4.0 REFERENSI</b> .....	35
4.1 FM Global .....	35
4.2 Lainnya .....	35
<b>LAMPIRAN A DAFTAR ISTILAH</b> .....	36
<b>LAMPIRAN B RIWAYAT REVISI DOKUMEN</b> .....	36
<b>LAMPIRAN C TABEL HIDROLIK</b> .....	37
<b>LAMPIRAN D FORMULIR</b> .....	50

**Daftar Gambar**

Gbr. 1. Profil uji gradien hidrolik sesuai dengan Contoh No. 1 .....	10
Gbr. 2. Diagram Moody (Sumber dari ASME) .....	26
Gbr. 3. Hubungan antara berbagai faktor hidrolik dalam pipa pada umumnya .....	32
Gbr. 4. Koefisien Pengeluaran untuk tiga outlet hidran umum .....	39
Gbr. 5. Grafik Pasokan Air $N^{1.85}$ .....	50
Gbr. 6. Formulir 295 Perhitungan Hidrolik (depan) .....	51
Gbr. 7. Formulir 295 Perhitungan Hidrolik (belakang) .....	52

## Daftar Tabel

Tabel 1. Data untuk Contoh Gradien Hidrolik No. 1 .....	11
Tabel 2. Nilai $F_c$ untuk Nilai C yang Sesuai .....	37
Tabel 3. Koefisien Pipa Hazen-Williams untuk Penggunaan Pipa Bawah Tanah .....	38
Tabel 4. Koefisien Pengeluaran Lubang dan Nozel Pada Umumnya .....	39
Tabel 5. Nilai K untuk Berbagai Lubang Pengeluaran .....	40
Tabel 6. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) hingga 2,8 bar (40 psi) .....	41
Tabel 7. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 2,8 bar (40 psi) dan hingga 4,8 bar (70 psi) .....	42
Tabel 8. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 4,8 bar (70 psi) dan hingga 6,9 bar (100 psi) .....	43
Tabel 9. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar melebihi 50 mm (2 inci) hingga 114 mm (4-1/2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) hingga 2,8 bar (40 psi) .....	44
Tabel 10. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci) dan hingga 114 mm (4-1/2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 2,8 bar (40 psi) dan hingga 4,8 bar (70 psi) .....	45
Tabel 11. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci) dan hingga 114 mm (4-1/2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 4,8 bar (70 psi) dan hingga 6,9 bar (100 psi) .....	46
Tabel 12. Tabel Panjang Pipa Setara, ft (C=120) .....	47
Tabel 12(a). Tabel Panjang Pipa Setara, m (C=120) .....	48
Tabel 13. Pengganda Penyesuaian untuk Tabel 12 dan 12(a) .....	49

## 1.0 RUANG LINGKUP

Springkler otomatis dengan pasokan air yang memadai adalah bentuk proteksi terbaik terhadap sebagian besar bahaya kebakaran. Untuk menentukan cara yang paling ekonomis untuk memasang sistem springkler pada lokasi tertentu, baik sistem springkler otomatis dan pasokan air yang tersedia untuk sistem springkler tersebut harus dianalisis secara hidrolik.

Oleh karena itu, untuk merancang dan menganalisis sistem springkler otomatis dengan benar, diperlukan pengetahuan tentang aliran air dan hilangnya energi dalam jaringan pipa.

Lembar data ini memberikan panduan untuk menentukan:

- tuntutan hidrolik sistem springkler otomatis, baik yang akan dipasang maupun yang sudah ada, pada titik acuan tertentu.
- pasokan air yang tersedia, baik yang akan dipasang atau yang sudah ada, pada titik acuan tertentu.

Bersama-sama, kedua faktor ini digunakan untuk menentukan apakah hidrolik sistem springkler otomatis dapat memberikan tingkat proteksi yang dapat diterima terhadap bahaya tertentu.

Lembar data ini tidak memberikan panduan tentang cara menentukan tata letak fisik sistem springkler atau pasokan air.

### 1.1 Perubahan

Maret 2010. Lembar data telah ditulis ulang dan diformat ulang. Teks dari versi sebelumnya dari lembar data ini telah digabungkan dengan teks dari Lembar Data 2-8N yang lama, *NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 1996 Edition*.

### 1.2 Informasi yang Digantikan

Lembar data ini menggantikan Lembar Data 2-8N, *NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 1996 Edition*.

## 2.0 REKOMENDASI PENCEGAHAN KERUGIAN

### 2.1 Proteksi

#### 2.1.1 Hidrolik Pasokan Air untuk Sistem Springkler Otomatis

##### 2.1.1.1 Pendahuluan

Untuk menganalisis sistem springkler otomatis dengan benar, pasokan air yang tersedia untuk sistem tersebut harus benar-benar dipahami. Lembar data ini akan memberikan

panduan dalam menentukan pasokan air yang tersedia pada titik acuan tertentu, yang disebut *Base Of the Riser* ((BOR) springkler, untuk tujuan menganalisis kecukupan sistem springkler.

Untuk menentukan ketersediaan air pada (BOR) *Base Of the Riser*, dilakukan langkah-langkah dasar sebagai berikut:

1. Pahami secara menyeluruh jenis pasokan air yang tersedia. Jika pasokan umum, kunjungi PAM (Perusahaan Air Minum) dan dapatkan rincian tentang jaringan pipa dan cara pengiriman air, serta izin untuk menguji pasokan. Hasil uji sebelumnya biasanya ada di file dan dapat berguna untuk perencanaan uji pasokan air.
2. Pahami secara menyeluruh pipa bawah tanah, termasuk panjang, diameter, bahan, lapisan internal (jika ada), koefisien kekasaran, dan perkiraan usia pipa.
3. Uji pasokan air untuk menentukan aliran dan tekanan yang tersedia di Titik Efektif pengujian.
4. Lakukan penyesuaian, sesuai kebutuhan, untuk setiap perbedaan elevasi antara pengukur tekanan residual dan Titik Efektif.
5. Lakukan analisis hambatan gesek antara Titik Efektif dan (BOR) *Base Of the Riser*.

6. Lakukan penyesuaian, sesuai kebutuhan, untuk setiap perbedaan elevasi antara Titik Efektif dan (BOR) *Base Of the Riser*.

Setelah pasokan air yang tersedia di (BOR) *Base Of the Riser* ditentukan, dapat dibandingkan dengan aliran dan tekanan yang dibutuhkan dari sistem springkler yang ada, atau digunakan untuk menentukan tata letak pipa sistem springkler yang ingin dipasang.

Untuk tujuan menganalisis aliran dan tekanan yang tersedia dari pasokan air, bulatkan nilai aliran menjadi 10 gpm terdekat, dan nilai tekanan ke bilangan bulat terdekat untuk psi (untuk satuan SI, nilai aliran bulat ke 50 L/menit terdekat dan nilai tekanan hingga sepersepuluh bar terdekat).

#### 2.1.1.2 Tujuan Pengujian Pasokan Air

Ada beberapa alasan dilakukannya pengujian aliran pasokan air:

1. Aliran yang tersedia untuk suatu area tertentu dapat dibandingkan dengan kebutuhan yang ditentukan dalam standar yang ada.
2. Pompa kebakaran dan penggeraknya mengalami banyak malfungsi yang dapat ditemukan dan segera diperbaiki.
3. Katup tertutup dan penghalang pancaran lainnya dapat diketahui.
4. Penurunan pasokan air dapat terdeteksi.
5. Potensi kebutuhan pelatihan petugas fasilitas mengenai penggunaan sistem proteksi kebakaran dapat dinilai.
6. Meskipun bukan tujuan dari uji pasokan air, terkadang titik lemah di jaringan pipa bawah tanah akan mengalami kegagalan selama uji pasokan air yang melibatkan sistem bertekanan tinggi, seperti pipa yang dipasok oleh pompa kebakaran. Meskipun kegagalan yang melibatkan pipa pasokan air tidak diinginkan, akan jauh lebih baik untuk menemukan dan memperbaiki kondisi seperti ini sekarang daripada mengalaminya selama peristiwa kebakaran.

#### 2.1.1.3 Tindakan Pencegahan yang Perlu Dipertimbangkan Saat Melakukan Pengujian Pasokan Air

Pastikan petugas yang memenuhi syarat mengarahkan pengujian aliran karena kerusakan properti dapat terjadi akibat pengujian yang dilakukan secara tidak benar. Berikut ini adalah beberapa masalah yang lebih umum yang dapat muncul:

1. Nozel atau tutup hidran yang tidak terpasang dengan benar dapat lepas.
2. Aliran yang berlebihan dapat menarik ruang hampa udara di gedung-gedung tinggi dan di daerah berbukit, kemungkinan tercemarinya pasokan air, merusak ketel/boiler, dan mengganggu proses industri. Hindari pengurangan tekanan pada jaringan hidran di bawah 1,38 bar (20 psi).
3. Banjir lokal di tempat rendah, seperti dok truk, ruang bawah tanah, lubang, terowongan, dll., mungkin terjadi.
4. Kerusakan akibat air dapat terjadi pada tempat penyimpanan jika terletak di luar ruangan atau di bangunan dataran rendah di mana air dapat mengalir melalui pintu.
5. Peralatan listrik tegangan tinggi dapat mengalami korsleting akibat aliran slang padat. Perhatikan bahwa semprotan dari peralatan proteksi kebakaran menghindari masalah ini.
6. Pengoperasian katup yang cepat menghasilkan palu air, yang dapat merusak pipa dan merusak peralatan springkler.

Saat menggunakan slang pemadam kebakaran, kencangkan nozel ke penyangga yang kuat seperti tiang, pohon, atau tiang yang dipancang dengan dalam; jangan pernah memegang slang pemadam kebakaran dengan tangan selama pengujian pasokan air.

Bila slang pemadam kebakaran tidak tersedia dan aliran air dari hidran atau pipa utama harus dialihkan untuk menghindari kerusakan, gunakan sambungan siku dan pipa dengan adaptor dari ulir slang ke ulir pipa. Pastikan panjang pipa hilir dari sambungan siku setidaknya sepuluh kali diameter untuk mendapatkan aliran yang lancar. Jika tekanan Pitot tidak menentu atau lebih tinggi di tepi lubang daripada di pusat, sediakan pipa hilir dari sambungan siku terdekat yang cukup panjang untuk memungkinkan hasil pengujian tekanan Pitot yang stabil.

Hindari bahaya yang disebutkan di atas dengan membuat rencana terdokumentasi yang menguraikan langkah-langkah yang diperlukan untuk menguji pasokan air sebelum pengujian.

#### 2.1.1.4 Merencanakan Uji Pasokan Air

Sebelum melakukan uji pasokan air, rencanakan tindakan yang mencakup:

- Kemana mengalirkan air
- Hidran atau perangkat serupa mana yang akan digunakan
- Di mana melakukan uji tekanan
- Urutan pengoperasian katup mana yang digunakan, jika diperlukan
- Hasil yang diharapkan dari pengujian
- Memberi tahu orang/petugas yang tepat tentang pengujian tersebut
- Mengembalikan semua pasokan air ke kondisi operasi normalnya

Tujuan dari uji pasokan air adalah untuk menentukan hubungan antara aliran dan tekanan yang tersedia dari suatu (atau beberapa) pasokan air yang digunakan untuk memproteksi fasilitas yang dilengkapi dengan springkler otomatis. Penting untuk memahami hubungan ini hingga dan termasuk aliran sistem terbesar yang dibutuhkan (yaitu, springkler pada plafon, springkler dalam rak, dan kebutuhan air slang) di fasilitas tersebut. Oleh karena itu, pilihlah hidran, atau perangkat yang mengaliri lainnya, dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi kebutuhan air dan pastikan pengeluaran air dari hidran atau perangkat tidak akan mengakibatkan kerusakan (lihat Bagian 2.1.1.3). Jika memungkinkan, lengkapi semua perangkat yang mengaliri dengan nozel pengeluaran. Saat hidran digunakan, pastikan semua tutup hidran terpasang erat sebelum membiarkan air masuk ke hidran.

Berdasarkan lokasi perangkat yang mengaliri, tentukan tempat terbaik untuk melakukan uji tekanan statis dan residual. Secara umum, pengujian ini dilakukan pada pengukur tekanan yang terletak paling dekat dengan Titik Efektif pengujian. Selalu usahakan untuk mengatur Titik Efektif pengujian sedekat mungkin dengan sistem springkler dengan kebutuhan aliran air dan tekanan tertinggi.

Untuk menghindari hasil pengujian tekanan yang salah, pastikan tidak ada katup searah atau katup penutup di pipa bawah tanah antara perangkat yang mengaliri dan titik di mana uji tekanan dilakukan.

Jika sumber pasokan air menggunakan tangki penyimpanan, seperti pompa dan tangki kebakaran, pastikan tangki tersebut penuh sebelum pengujian.

Jika ada lebih dari satu sumber pasokan air untuk sistem springkler otomatis fasilitas, pertama-tama uji setiap sumber satu per satu, kemudian, sebagai langkah terakhir, lakukan uji pasokan air dengan semua sumber pasokan air beroperasi. Selalu sediakan setidaknya satu sumber air yang bekerja/siap setiap saat.

Pengujian beberapa sumber akan memerlukan isolasi sumber pasokan air dengan menutup katup kontrol. Untuk membantu mengidentifikasi metode terbaik untuk menguji setiap sumber satu per satu dan penutupan katup setelahnya, buat sketsa sederhana (bebas, dengan tangan) dari jaringan pipa bawah tanah fasilitas, sumber pasokan air yang mengalirinya, dan katup yang akan digunakan untuk isolasi.

Buat prosedur tertulis yang mengidentifikasi urutan sumber air yang akan diuji dan katup yang perlu ditutup untuk setiap pengujian. Setelah pengujian masing-masing sumber pasokan air selesai, pastikan bahwa semua katup yang ditutup untuk pengujian telah dibuka kembali sebelum dimulainya pengujian pasokan air berikutnya. Gunakan *Sistem Izin Tanda Merah* FM Global untuk memantau semua penutupan katup.

Sebelum melakukan uji pasokan air, tentukan hasil teoretis pengujian. Setelah uji dilakukan, bandingkan hasil teoretis dengan hasil sebenarnya. Jika hasil aktual tidak sebanding dengan hasil teoretis, tentukan alasannya. Lihat

Bagian 2.1.1.7, sesuai kebutuhan, mengenai penggunaan uji gradien hidrolik untuk menentukan area dalam jaringan pipa bawah tanah yang mungkin menyebabkan pengurangan tekanan yang lebih besar dari yang diharapkan.

Periksa peraturan lokal yang dapat memengaruhi perencanaan. Misalnya, jika mungkin perlu untuk memberi tahu layanan air publik dan/atau pemadam kebakaran sebelum melakukan uji pasokan air, meskipun sumber airnya berasal dari sistem pasokan air swasta. Selain itu, jika ada alarm yang dapat menyala sebagai akibat dari pengujian pasokan air, beri tahu petugas terkait sebelum pengujian, serta setelah pengujian.

Jika uji pasokan air akan dilakukan di lokasi klien FM Global, tentukan nomor indeks FM Global untuk fasilitas tersebut serta nomor telepon kantor layanan FM Global setempat. Beri tahu kantor layanan FM Global setempat jika ada katup yang harus ditutup selama pengujian pasokan air dan ikuti panduan yang diuraikan dalam *Sistem Izin Tanda Merah* FM Global.

Jika uji pasokan air melibatkan sistem air publik, lakukan hal berikut:

1. Jika sistem air publik adalah pemompaan langsung atau intermiten, tentukan fasilitas yang beroperasi selama pengujian.
2. Jika sistem air publik mencakup tempat penyimpanan atas (elevated), lakukan pengujian dengan pompa dimatikan jika memungkinkan.
3. Jika sistem air umum dilengkapi dengan sumber-sumber yang akan, atau dapat, menjadi aktif ketika terjadi laju aliran yang lebih tinggi, aturlah pengujian untuk mengaktifkan sumber-sumber ini (jika mungkin), dan tentukan (a) pemberitahuan yang diperlukan, (b) waktu yang diperlukan untuk memperoleh pelayanan, dan (c) fasilitas yang beroperasi.
4. Periksa katup pengatur tekanan.
5. Periksa variasi dalam prosedur operasi dari siang ke malam atau dari musim panas ke musim dingin.

#### 2.1.1.5 Menguji Pasokan Air

##### 2.1.1.5.1 Peralatan yang Dibutuhkan untuk Uji Pasokan Air

Lakukan uji pasokan air, minimum, dibutuhkan peralatan berikut:

- Sebuah, atau beberapa, perangkat untuk mengalirkan air
- Tabung Pitot atau alat serupa untuk mengukur tekanan Pitot dari air yang mengalir
- Perangkat yang dapat digunakan untuk membaca tekanan statis dan residual
- Pengukur tekanan terkalibrasi yang dilengkapi dengan skala yang sesuai untuk tekanan yang diharapkan

##### 2.1.1.5.1.1 Perangkat Umum untuk Mengalirkan Air

Perangkat yang paling umum digunakan untuk mengalirkan air selama uji pasokan air adalah hidran kebakaran dan pipa utama uji pompa kebakaran. Air dapat dialirkan dari ujung hidran dengan atau tanpa nozel yang terpasang. Untuk mengalirkan air dari pipa utama uji, slang pemadam kebakaran biasanya diperlukan untuk mengalirkan air ke lokasi pengeluaran yang aman. Nozel dipasang ke slang pemadam kebakaran yang melakukan pengeluaran aliran.

Ukuran diameter yang tepat dan koefisien pengeluaran dari lubang nozel yang dilewati aliran air harus diketahui untuk menentukan laju aliran air selama uji pasokan air.

##### 2.1.1.5.1.2 Menentukan Aliran Air Melalui Lubang Terbuka

Aliran air dari lubang terbuka dengan koefisien pengeluaran yang diketahui ditentukan dengan mengukur tekanan kecepatan aliran air, juga disebut sebagai tekanan Pitot, menggunakan tabung Pitot. Untuk mendapatkan hasil uji tekanan Pitot yang akurat, pegang ujung tabung Pitot dengan lubang terbuka dengan kuat di tengah pancaran air. Pegang ujung pisau langsung ke ujung nozel dengan mata pisau pada sudut kanan ke sumbu nozel.

Tekanan pitot yang terbaca dari tabung Pitot kemudian dikonversikan menjadi laju aliran air yang sesuai baik dengan menggunakan Persamaan 1 atau dengan menggunakan Tabel 6 sampai 11, digabungkan dengan koefisien pengeluaran nozel yang sesuai (lihat Tabel 4 untuk nilai koefisien pengeluaran nozel yang khas).

Hindari hasil uji Pitot di bawah 0,69 bar (10 psi) bila memungkinkan dengan mengurangi ukuran atau jumlah lubang yang mengeluarkan air selama pengujian.

Aliran dari lubang terbuka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

berikut:  $Q = (a) \times (c) \times (d)^2 \times (P_v)^{0,5}$  (**Persamaan 1**)

di mana:

Q adalah laju aliran air melalui lubang terbuka, L/min (gpm).

a adalah konstanta konversi; gunakan 0,666 saat  $P_v$  dalam bar atau 29,8 saat  $P_v$  dalam psi. c adalah koefisien pengeluaran lubang (biasanya dicap pada nozel atau lubang; jika tidak, lihat Tabel 4 untuk nilai pada umumnya). D adalah diameter lubang terbuka, mm (inci).  $P_v$  adalah tekanan kecepatan atau tekanan Pitot, bar (psi).

Jika bukaan nozel atau lubang tidak dicap dengan koefisien pengeluaran, lihat Tabel 4 untuk nilai umum nozel dan lubang yang digunakan untuk pengujian pasokan air. Lihat Gambar 4 jika lubang terbuka adalah ujung hidran tanpa ada nozel pengeluaran yang terpasang.

Tabel 6 sampai 11 memberikan nilai untuk Q dari Persamaan 1 dengan koefisien pengeluaran diatur ke nilai 1,00. Tabel dapat digunakan untuk mendapatkan aliran aktual dari bukaan lubang hanya dengan mengalikan nilai yang diperoleh dari tabel dengan koefisien pengeluaran lubang. Untuk nilai tekanan Pitot lebih tinggi dari 6,9 bar (100 psi), gunakan Persamaan 1.

#### 2.1.1.5.1.3 Hasil Uji Tekanan Statis dan Residual

Selama pengujian, tekanan statis dan residual dapat terbaca dari pengukur tekanan. Perangkat umum untuk dipasang pengukur tekanan meliputi pompa kebakaran, pipa tegak springkler, dan hidran yang tidak mengalir.

#### 2.1.1.5.2 Prosedur Uji Pasokan Air

Berikut ini adalah prosedur umum untuk menguji pasokan air.

1. Buat rencana terdokumentasi untuk pengujian pasokan air (sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 2.1.1.4) sebelum melakukan pengujian.
2. Beri tahu semua pihak yang diperlukan, seperti stasiun pusat, layanan pengawasan pemilik, dinas pemadam kebakaran atau PAM (Perusahaan Air Minum), tentang uji pasokan air yang akan dilakukan.
3. Dengan menggunakan *Sistem Izin Tanda Merah* FM Global, isolasi sumber pasokan air yang diinginkan dan/atau bagian dari jaringan pipa bawah tanah yang akan diuji sesuai kebutuhan.
4. Baca dan catat tekanan statis.
5. Pastikan perangkat yang dipilih untuk mengalirkan air tidak akan mengakibatkan kerusakan. Lihat Bagian 2.1.1.3 untuk panduan tambahan.
6. Dokumentasikan diameter lubang dan koefisien pengeluaran dari setiap perangkat yang mengalir.
7. Buka sepenuhnya katup pada perangkat dengan aliran; pastikan pengeluaran air tidak menimbulkan kerusakan.
8. Baca dan catat tekanan residual setelah tekanan stabil (tergantung pada pasokan air, hal ini mungkin memerlukan satu atau dua menit).
9. Baca dan catat tekanan Pitot pada setiap bukaan aliran.
10. Tutup katup semua perangkat aliran secara perlahan-lahan.
11. Catat tekanan statis.
12. Ubah hasil uji tekanan Pitot menjadi aliran/laju menggunakan Tabel 6 hingga 11 atau Persamaan 1.
13. Gambar hasil pengujian pada kertas grafik  $N^{1,85}$  (sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2.1.1.6) dan bandingkan dengan hasil yang diharapkan.

Jika hasil uji yang sebenarnya tidak sebanding dengan hasil uji yang diharapkan, tentukan apa yang mungkin menyebabkan perbedaan tersebut. Dalam kasus di mana hasil pengujian yang sebenarnya jauh lebih rendah daripada hasil yang diharapkan, gradien hidrolik, sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2.1.1.7, dapat digunakan untuk menentukan di mana hilang tekanan yang berlebihan terjadi dalam jaringan pipa bawah tanah yang telah diuji.

Jika hasil pengujian yang sebenarnya memang sebanding dengan hasil pengujian yang diharapkan, buka kembali katup yang tertutup dan kemudian lanjutkan dengan sumber pasokan air berikutnya dan/atau bagian jaringan pipa bawah tanah yang akan diuji, seperti diuraikan di atas pada Langkah 3.

Lanjutkan proses ini sampai semua sumber pasokan air dan semua bagian jaringan pipa bawah tanah telah diuji. Setelah pengujian pasokan air selesai, lanjutkan sebagai berikut:

1. Bongkar pengaturan pengujian dan pastikan semua tutup hidran telah terpasang erat di tempatnya.
2. Menggunakan *Sistem Izin Tanda Merah* FM Global, pastikan semua katup kontrol pasokan air dikembalikan ke kondisi normal, terbuka sepenuhnya, dan terkunci/tersegel.
3. Isi ulang tangki gravitasi dan/atau hisap yang digunakan selama pengujian.
4. Pastikan semua pompa kebakaran ditempatkan dalam kondisi operasi otomatis normal.
5. Beri tahu semua pihak yang diperlukan bahwa pengujian telah selesai dan tentukan apakah ada aliran air dan/atau alarm kerusakan katup yang diterima sebagai hasil dari prosedur pengujian.

#### 2.1.1.6 Representasi Grafis Uji Pasokan Air

##### 2.1.1.6.1 Representasi Grafis Pasokan Air yang Tersedia di Titik Efektif

Hasil uji pasokan air dapat digunakan untuk menunjukkan secara grafis pasokan air yang tersedia pada aliran dan tekanan apa pun pada Titik Efektif dari uji pasokan air.

Untuk pasokan air umum sederhana, pasokan air yang tersedia di Titik Efektif dari uji pasokan air ditunjukkan dengan penggambaran dua titik berikut yang diperoleh dari uji pasokan air:

Tekanan statis, bar (psi)

Tekanan residual pada laju aliran terukur, bar @ L/mnt (psi @ gpm)

Untuk sistem pasokan publik yang lebih kompleks, seperti sistem dengan pemompaan terputus-putus/intermiten atau sumber yang dapat menjadi aktif ketika terjadi laju aliran yang lebih tinggi, lebih dari satu tekanan residual diperlukan untuk menghasilkan representasi grafis yang akurat dari pasokan air yang tersedia.

Untuk pasokan pompa kebakaran pada umumnya, pasokan air yang tersedia di Titik Efektif dari uji pasokan air ditunjukkan dengan penggambaran, minimumnya, tiga titik berikut yang diperoleh dari uji pasokan air:

Tekanan *churn* (Tekanan pada keadaan laju aliran 0%), bar (psi)

Tekanan residual pada 100% aliran nominal pompa kebakaran, bar @ L/mnt (psi @ gpm)  
Tekanan residual pada 150% aliran nominal pompa kebakaran, bar @ L/mnt (psi @ gpm)

Tekanan statis yang digabungkan dengan tekanan residual dan aliran yang sesuai, seperti diuraikan di atas, menunjukkan pasokan air yang tersedia di Titik Efektif ketika tidak ada perbedaan elevasi antara Titik Efektif dan pengukur tekanan di mana tekanan statis dan residual terbaca.

Jika ada perbedaan elevasi antara Titik Efektif pasokan air dan pengukur tekanan, sesuaikan hasil uji statis dan residual untuk memperhitungkan perbedaan elevasi ini menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut:

$$P_E = (h) \times 0,098 \text{ bar/m (0,433 psi/ft)}, \text{ ketika } h \text{ dalam meter (ft)} \text{ (Persamaan 2)}$$

di mana:

$P_E$  adalah tekanan akibat elevasi, bar (psi).

Jika Titik Efektif dari uji pasokan air terletak pada ketinggian yang lebih rendah dari pengukur tekanan yang digunakan untuk mengukur hasil uji tekanan statis dan residual, tambahkan nilai  $P_E$  ke hasil uji tekanan statis dan residual yang diperoleh selama uji pasokan air. Kurangi nilai  $P_E$  dari tekanan statis dan residual jika Titik Efektif uji

pasokan air terletak pada elevasi yang lebih tinggi daripada pengukur tekanan yang digunakan untuk mengukur hasil uji tekanan statis dan residual.

Hasil uji pasokan air secara grafis ditunjukkan pada kertas grafik  $N^{1.85}$  menggunakan tekanan statis (pada kondisi aliran statis) dan semua tekanan residual pada nilai aliran yang sesuai. Sumbu y dari kertas grafik  $N^{1.85}$  digunakan untuk menunjukkan berbagai nilai tekanan sedangkan sumbu x dari kertas grafik  $N^{1.85}$  digunakan untuk menunjukkan berbagai nilai aliran. Grafik ini kemudian dapat digunakan untuk menentukan tekanan yang tersedia pada aliran tertentu dan sebaliknya.

### 2.1.1.6.2 Hasil Teoritis Uji Pasokan Air di Lokasi Selain Titik Efektif

Hasil uji pasokan air dapat diterapkan pada Titik Efektif pengujian dan dapat ditunjukkan secara grafis pada kertas grafik  $N^{1.85}$  sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2.1.1.6.1. Namun untuk keperluan analisis sistem springkler, hasil pengujian pasokan air di Titik Efektif perlu dihitung ulang (atau direlokasi) sehingga menunjukkan pasokan teoritis yang tersedia di (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler.

Metode relokasi hasil uji pasokan air dari Titik Efektif ke titik lain dalam jaringan pipa pasokan air, seperti (BOR) *Base Of the Riser*, dilakukan secara grafis pada kertas grafik  $N^{1.85}$  sebagai berikut:

1. Gambar secara grafis hasil Titik Efektif pada kertas grafik  $N^{1.85}$  sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2.1.1.6.1.
2. Buat kurva hambatan gesek yang menunjukkan hilang tekanan (atau perolehan) karena gesekan yang terjadi antara Titik Efektif uji pasokan air dan titik di jaringan pipa tempat uji pasokan air direlokasi (seperti [BOR] *Base Of the Riser*). Gambar kurva hambatan gesek ini pada kertas grafik  $N^{1.85}$  yang sama, yang berisi pasokan air yang tersedia di Titik Efektif.
3. Kurangi (atau tambahkan) kurva hambatan gesek dari kurva yang menunjukkan pasokan air yang tersedia di Titik Efektif.
4. Sesuaikan kurva pasokan air yang diperoleh dari Langkah 3 untuk setiap perbedaan elevasi yang ada antara Titik Efektif dan titik di jaringan pipa tempat uji pasokan air direlokasi.

Perhatikan bahwa jika hasil pengujian dipindahkan ke suatu titik dalam jaringan pipa yang lebih dekat ke sumber air daripada Titik Efektif, kurva hambatan gesek akan menunjukkan peningkatan tekanan residual yang tersedia. Jika hasil pengujian direlokasi ke titik yang lebih jauh dari sumber air, kurva hambatan gesek akan menunjukkan hilangnya tekanan residual yang tersedia.

Kurva pasokan air yang diperoleh dari Langkah 4 di atas adalah pasokan air teoritis yang tersedia pada titik di jaringan pipa tempat uji pasokan air direlokasi.

Setelah pasokan air yang tersedia secara teoritis pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler telah ditentukan, maka dapat dibandingkan dengan aliran dan tekanan yang dibutuhkan dari sistem springkler sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2.1.2.4.5.

### 2.1.1.7 Pemecahan Masalah Pasokan Air Melalui Uji Gradien Hidrolik

Jika nilai tekanan residual dari uji pasokan air tiba-tiba rendah, mungkin ada beberapa alasan untuk memperhitungkan hal ini, termasuk:

- katup yang tertutup sebagian,
- pipa dengan tuberkulasi berlebihan,
- penghalang pancaran di dalam pipa, dan
- potensi kesalahan ukuran pipa pada rencana/denah yang menggambarkan jaringan pipa bawah tanah.

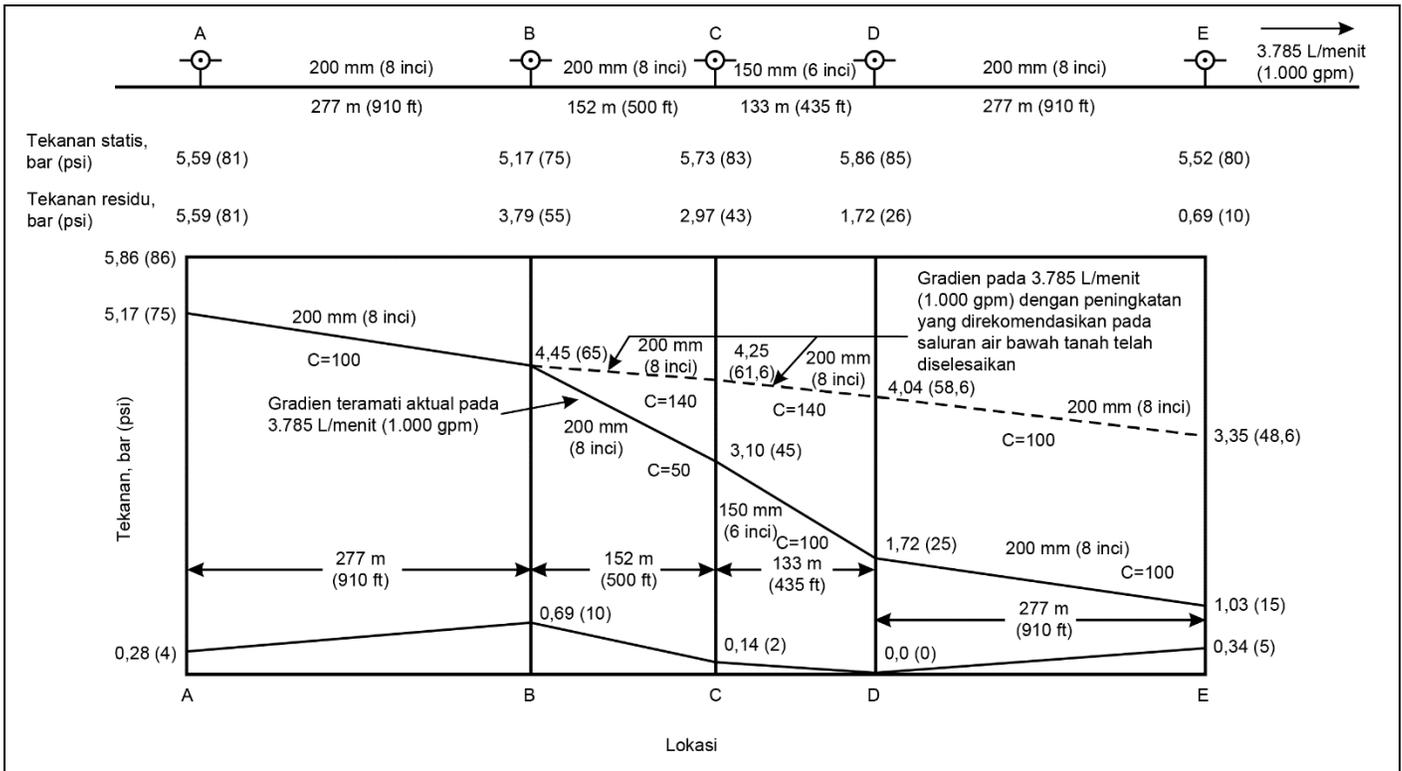
Ketika hasil dari pasokan air tiba-tiba rendah dan tidak lagi memberikan tingkat aliran dan tekanan yang dapat diterima untuk sistem springkler otomatis, lakukan uji gradien hidrolik untuk mengidentifikasi segmen jaringan pipa bawah tanah di mana terjadi hilang tekanan tinggi yang tidak terduga.

Berikut ini diperlukan untuk melakukan uji gradien hidrolik:

- Aliran jalur tunggal melalui bagian pipa bawah tanah di mana penurunan tekanan berlebihan terjadi
- Beberapa tempat di mana hasil uji tekanan statis dan residual dapat terbaca
- Perangkat aliran yang mengalir yang memungkinkan laju aliran relatif tinggi
- Pemahaman tentang jaringan pipa bawah tanah, termasuk diameter pipa, panjang pipa antara lokasi uji tekanan dan di mana tee, persilangan, belokan, katup atau meter di dalam jaringan pipa dapat ditemukan

Setelah pengujian selesai, kumpulkan data sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dan gambar profil gradien sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 24 untuk menentukan di mana penurunan tekanan tak terduga yang signifikan terjadi. Rekomendasikan tindakan yang tepat untuk memperbaiki situasi tersebut.

Contoh (**Contoh No. 1**) dari gradien hidrolik diberikan pada Gambar 1.



Gbr. 1. Profil uji gradien hidrolik sesuai dengan Contoh No. 1.

Untuk contoh ini, air berada dalam aliran satu jalur dari sumber di sebelah kiri Hidran A dan mengalir di lokasi di sebelah kanan Hidran E. Hasil uji tekanan statis dan residual diambil pada Hidran A, B, C, D dan E dan diberi label sebagai tempat/lokasi. Jarak antara setiap tempat tekanan ditentukan mengikuti diameter pipa internal antara setiap tempat.

Data dari uji gradien hidrolik dikumpulkan dan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data untuk Contoh Gradien Hidrolik No. 1.

Column Number													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Station	Pipe Length, ft (m)	Diameter, in. (mm)	Expected C Value	Static Pressure, psi (bar)	Residual Pressure, psi (bar)	Total Pressure Loss, psi (bar)	Pressure Loss Station-to-Station, psi (bar)	Pressure Loss per Unit Length, psi/ft (bar/m)	F <sub>c</sub>	Observed C Value	Gauge Elevation, psi (bar)	Gradient Elevation, psi (bar)	
												Given	Proposed
A				81 (5.59)	71 (4.90)	10 (0.69)					4 (0.28)	75 (5.17)	75 (5.17)
B	910 (277)	8 (200)	100	75 (5.17)	55 (3.79)	20 (1.38)	10 (0.69)	0.011 (0.00249)	1.0	100	10 (0.69)	65 (4.48)	65 (4.48)
C	500 (152)	8 (200)	100	83 (5.73)	43 (2.97)	40 (2.76)	20 (1.38)	0.040 (0.00905)	3.6	50	2 (0.14)	45 (3.10)	61.6 (4.25)
D	435 (133)	6 (150)	100	85 (5.86)	25 (1.72)	60 (4.14)	20 (1.38)	0.046 (0.01041)	1.0	100	0 (0.0)	25 (1.72)	58.6 (4.04)
E	910 (277)	8 (200)	100	80 (5.52)	10 (0.69)	70 (4.83)	10 (0.69)	0.011 (0.00249)	1.0	100	5 (0.34)	15 (1.03)	48.6 (3.35)

Hasil gradien hidrolik menunjukkan penurunan tekanan antara Lokasi A ke B, C ke D, dan D ke E mendekati nilai yang diharapkan; namun, penurunan tekanan antara Lokasi B ke C sangat tinggi. Oleh karena itu, rekomendasinya adalah untuk menentukan alasan penurunan tekanan tinggi ini dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mengurangi penyebabnya.

Untuk contoh khusus ini, penyebab penurunan tekanan tinggi adalah karena tuberkulosis segmen pipa antara Lokasi B dan C. Cara termudah untuk mengurangi penyebabnya adalah mengganti bagian pipa yang terkena dengan pipa baru yang memiliki diameter pipa yang sama. Namun, karena segmen pipa yang berdampingan relatif pendek dan hanya berdiameter 150 mm (6 inci), rekomendasinya termasuk mengganti segmen pipa ini juga dengan pipa 200 mm (8 inci) yang baru. Berdasarkan perhitungan teoritis, penerapan rekomendasi ini akan menghasilkan peningkatan sekitar 2,35 bar (34 psi) pada aliran sebesar 3.785 L/menit (1.000 gpm).

Penjelasan kolom pada Tabel 1:

Kolom 1 sampai 6: Data yang dikumpulkan sebelum dan juga selama uji gradien hidrolik

Kolom 7: Diperoleh dengan mengurangi Kolom 5 dari Kolom 4

Kolom 8: Diperoleh dengan mengurangi nilai Kolom No. 7 pada Baris N dari nilai Kolom No. 7 pada Baris N + 1 (yaitu mengurangi nilai Kolom No. 7 untuk Baris Lokasi A dari nilai Kolom No. 7 untuk Baris Lokasi B)

Kolom 9: Diperoleh dengan membagi Kolom No. 8 dengan Kolom No. 2

Kolom 10: Diperoleh dengan membagi Kolom No. 9 dengan nilai yang diperoleh dari Lembar Data 2-89 untuk aliran yang diberikan, diameter pipa dan koefisien Hazen-Williams. Catatan, jika ada tee, persilangan, belokan, katup, atau meter di segmen pipa yang diuji, ketahui hilang tekanan pada perangkat ini dari Lembar Data 2-89 dan kurangi dari penurunan tekanan yang diamati sebelum menghitung koefisien untuk segmen pipa yang diberikan.

Kolom 11: Diperoleh dengan menggunakan nilai dari Kolom No. 10 dan mencocokkannya dengan nilai C pada Tabel 1 berdasarkan nilai C yang diharapkan yang tercantum pada Kolom No. 4

Kolom 12: Diperoleh dengan mengurangi Kolom No. 5 dari nilai terbesar yang tercantum di Kolom No. 5

Kolom 13, Ditentukan: Diperoleh dengan menambahkan Kolom No. 6 dan 12

Kolom 13, Direncanakan: Diperoleh dengan menentukan penurunan tekanan yang diharapkan dari lokasi ke lokasi setelah perubahan/rekomendasi yang diusulkan telah dilaksanakan

Untuk contoh ini, total aliran sebesar 3.785 L/min (1.000 gpm) sedang dikeluarkan dari lokasi di sebelah kanan hidran yang ditunjukkan di Lokasi E. Tekanan statis dan tekanan residual terbaca pada masing-masing hidran yang ditunjukkan pada Lokasi A, B, C, D dan E dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Kolom 1 sampai 6 pada Tabel 1 mencakup data yang diperoleh dari kondisi yang ada sebelum atau diperoleh selama uji gradien hidrolik.

Kolom 7 berisi hasil pengurangan Kolom No. 6 dari 5. Dalam contoh ini, di Lokasi A nilai didasarkan pada pengurangan tekanan residual 4,90 bar (71 psi) dari tekanan statis 5,59 bar (81 psi) untuk mendapatkan nilai yang ditunjukkan sebesar 0,69 bar (10 psi).

Kolom 8 berisi hasil pengurangan nilai yang ditunjukkan pada Kolom No. 6 dari satu baris ke baris berikutnya. Dalam contoh ini, di Lokasi B nilai didasarkan pada pengurangan nilai perbedaan tekanan 0,69 bar (10 psi) yang diperoleh di Lokasi A dari nilai 20 psi (1,38 bar) yang diperoleh di Lokasi B untuk mendapatkan nilai yang ditunjukkan sebesar 0,69 bar (10 psi).

Kolom 9 berisi hasil pembagian nilai yang ditunjukkan pada Kolom No. 8 dengan nilai yang ditunjukkan pada Kolom No. 2. Untuk contoh ini, di Lokasi B, nilainya didasarkan pada pembagian 0,69 bar (10 psi) dengan 277 m (910 ft) untuk mendapatkan nilai yang ditunjukkan sebesar 0,00249 bar/m (0,011 psi/ft).

Kolom 10 berisi hasil pembagian nilai yang ditunjukkan pada Kolom No. 9 dengan nilai yang sesuai pada Lembar Data 2-89. Dalam contoh ini pipa antara Lokasi A dan Lokasi B ditunjukkan pada Tabel 9 pada Lembar Data 2-89. Untuk aliran sebesar 3.785 L/mnt (1.000 gpm) dan diameter pipa internal 200 mm (8 inci), penurunan tekanan yang diharapkan per satuan panjang adalah 0,00249 bar/m (0,011 psi/ft). Oleh karena itu, nilai yang diperoleh untuk Kolom No. 10 dalam contoh ini didasarkan pada pembagian 0,00249 bar/m (0,011 psi/ft) dengan 0,00249 bar/m (0,011 psi/ft), yaitu 1,0.

Kolom 11 menunjukkan nilai Hazen-Williams C yang diamati untuk segmen pipa berdasarkan hasil uji gradien hidrolik. Ini diperoleh dengan menggunakan nilai yang diperoleh untuk  $F_c$  dari Kolom No. 10 dan mengubahnya menjadi nilai C Hazen Williams yang setara yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dalam contoh ini di Lokasi C, nilai  $F_c$  3,6 menghasilkan nilai Hazen Williams C sekitar 50.

Kolom 12 berisi perbedaan nilai tekanan statis antara tekanan statis tertinggi yang diamati dan yang ada di setiap lokasi. Untuk contoh ini, tekanan statis tertinggi yang diamati adalah 5,86 bar (85 psi) di Lokasi D, oleh karena itu nilai di Kolom No. 12 hanyalah tekanan statis yang ditunjukkan dikurangi dari nilai sebesar 5,86 bar (85 psi).

Kolom 13 (Ditentukan) berisi hasil penjumlahan Kolom No. 6 dan 12. Untuk contoh ini, di Lokasi A, nilainya didasarkan pada penambahan 4,90 bar (71 psi) dan 0,28 bar (4 psi) untuk mendapatkan nilai yang ditunjukkan sebesar 5,17 bar (75 psi).

Kolom 13 (Direncanakan) berisi hasil penggunaan nilai hilang tekanan yang sesuai per satuan panjang, berdasarkan rekomendasi yang ditawarkan, dikalikan dengan nilai yang tercantum pada Kolom No. 2 dan dikurangi dari baris di atasnya. Untuk contoh ini, rekomendasinya adalah untuk mengganti segmen pipa berukuran 200 mm (8 inci) yang ada antara Lokasi B dan C serta segmen pipa berukuran 150 mm (6 inci) yang ada antara Lokasi C dan D dengan pipa baru berukuran 200 mm (8 inci), yang akan memiliki nilai Hazen Williams C sebesar 140. Dari Tabel 13 Lembar Data 2-89, penurunan tekanan per satuan panjang pipa adalah 0,00154 bar/m (0,0068 psi/ft) yang menghasilkan penurunan tekanan sebesar 0,23 bar (3,4 psi) antara Lokasi B dan C dan penurunan tekanan dari 0,21 bar (3,0 psi) antara Lokasi C dan D. Oleh karena itu, nilai pada kolom ini menjadi

4,25 bar (61,4 psi) di Lokasi C berdasarkan pengurangan sebesar 0,23 bar (3,4 psi) dari tekanan yang ditunjukkan di Lokasi B, yaitu 4,48 bar (65 psi).

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan selama uji gradien hidrolik meliputi:

1. Pengujian jaringan listrik pribadi biasanya dilakukan pada saluran pipa yang jauh lebih pendek daripada pengujian saluran listrik umum. Untuk mengurangi jumlah pengujian, pilih sumber listrik yang sesuai dengan usia dan kemungkinan kondisi sistem.
2. Jika ada penghalang pancaran, selidiki bagian sistem pekarangan itu. Pastikan aliran deras diinduksi melalui bagian uji untuk menurunkan tekanan dari lokasi ke lokasi sebanyak mungkin, mengurangi efek tekanan yang berfluktuasi atau ketidakakuratan kecil dalam hasil uji pengukur.
3. Hasil uji tekanan statis dari sumber seperti tangki gravitasi atau reservoir pribadi menunjukkan tekanan statis yang sebenarnya, asalkan tidak ada draf penggunaan fasilitas atau kebocoran yang signifikan. Namun, hasil uji tekanan statis dari sumber pasokan air publik sebenarnya adalah tekanan residual dan kombinasi jejak elevasi dan gradien normal, bukan elevasi saja. Karena itu, jika hasil uji yang sangat akurat memang diperlukan, tentukan kapan draf normal dari pasokan berada pada titik minimum dan atur uji gradien hidrolik pada saat itu. Jika tidak, tentukan elevasi pengukur relatif dari peta topografi, data survei kota, atau hanya dengan observasi (secara hati-hati).

## 2.1.2 Hidrolik Sistem Springkler Otomatis

### 2.1.2.1 Menentukan Bahaya Hunian

Langkah pertama dalam pemasangan dan/atau evaluasi hidrolik dari setiap sistem springkler otomatis adalah pemahaman menyeluruh tentang bahaya tertinggi yang harus diproteksi oleh sistem springkler. Setelah tingkat bahaya ini ditetapkan, desain proteksi yang diperlukan untuk sistem springkler dapat ditentukan dengan menggunakan lembar data spesifik hunian yang berlaku. Misalnya, lembar data spesifik hunian dapat berupa Lembar Data 3-26, *Kebutuhan Air Proteksi Kebakaran untuk Properti Non-Area Penyimpanan yang Dilengkapi Springkler*, untuk kantor biasa atau hunian manufaktur; atau bisa juga Lembar Data 8-9, *Proteksi Kelas 1, 2, 3, 4 dan Komoditas Plastik*, untuk hunian gudang biasa. Lihat Indeks Lembar Data untuk menentukan lembar data spesifik hunian yang paling tepat untuk bahaya yang dilindungi.

Analisis hidrolik dari sistem springkler otomatis dapat ditentukan dengan lebih dari satu cara. Lembar data ini akan menunjukkan metodologi penghitungan hidrolik sistem springkler otomatis dari springkler otomatis jarak jauh secara hidrolik ke titik acuan yang disebut *Base Of the Riser* (BOR). Setelah aliran dan tekanan yang diperlukan untuk desain proteksi yang diberikan telah dihitung ke (BOR) *Base Of the Riser* springkler, perhitungan tersebut dapat digambar pada kertas grafik  $N^{1.85}$  (lihat Gambar 70) dan kemudian dibandingkan dengan pasokan air yang tersedia untuk menentukan apakah air pasokan dapat memberikan tingkat proteksi yang dapat diterima.

Bagian berikut dari lembar data ini akan memberikan panduan dalam menentukan aliran dan tekanan yang diperlukan untuk desain proteksi sistem springkler tertentu di (BOR) *Base Of the Riser* springkler.

### 2.1.2.2 Menentukan Lokasi dan Bentuk Desain Hidrolik pada Sistem Springkler

#### 2.1.2.2.1 Menentukan Aliran dan Tekanan yang Diperlukan pada Springkler Jarak Jauh Secara Hidrolik

Setelah desain yang diperlukan diperoleh, analisis hidrolik dari sistem springkler otomatis berasal dari springkler paling jauh secara hidrolik (springkler paling jauh) dengan aliran dan tekanan minimum yang diperlukan pada springkler tersebut. Ini ditentukan sebagaimana ditunjukkan dalam Bagian 2.1.2.2.1.1 untuk Kepadatan/format desain Area Kebutuhan atau Bagian 2.1.2.2.1.2 untuk Jumlah Springkler/format desain Tekanan.

##### 2.1.2.2.1.1 Kepadatan/Format Area Kebutuhan

Dalam format ini baik laju aliran yang diperlukan maupun tekanan yang diperlukan pada springkler paling jauh tidak disediakan. Laju aliran minimum yang diperlukan pertama-tama harus dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$q = D \times S \times L \text{ (Persamaan 3)}$$

di mana:

q adalah laju aliran air dari springkler, L/min (gpm).

D adalah kepadatan yang dibutuhkan, mm/min (gpm/ft<sup>2</sup>).

S adalah jarak springkler sepanjang saluran cabang, m (ft).

L adalah jarak springkler antar saluran cabang, m (ft).

Saat menganalisis aliran yang tersedia dari springkler yang beroperasi, bulatkan nilai yang diperoleh ke bilangan bulat terdekat untuk gpm atau kelipatan 5 terdekat untuk L/menit.

Setelah laju aliran (q) ditentukan pada springkler, tekanan (p) pada springkler dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$p = (q/K)^2 \text{ (Persamaan 4)}$$

di mana:

p adalah tekanan air pada springkler, bar (psi).

q adalah laju aliran air dari springkler, L/min (gpm). K adalah faktor K dari springkler, (L/min)/bar<sup>0.5</sup> (gpm/psi<sup>0.5</sup>).

Saat menganalisis tekanan yang tersedia dari springkler yang beroperasi, bulatkan nilai yang diperoleh ke desimal 0,1 terdekat untuk psi atau desimal 0,01 terdekat untuk bar.

##### 2.1.2.2.1.1.1 Mengkonversi dari Jumlah Springkler/Format Tekanan ke Kepadatan/Format Area Kebutuhan

Jika desain sistem springkler diberikan dalam Jumlah Springkler/format Tekanan, dapat dikonversi ke Kepadatan/format Area Kebutuhan sebagaimana ditunjukkan di bawah ini.

Untuk Kepadatan (Densitas):

$$D = [K \times (p)^{0.5}] / A_{MAX}, \text{ mm/min (gpm/ft}^2\text{) (Persamaan 5)}$$

di mana:

D adalah kepadatan yang dibutuhkan, mm/min (gpm/ft<sup>2</sup>).

K adalah faktor K dari springkler, (L/min)/bar<sup>0.5</sup> (gpm/psi<sup>0.5</sup>).

p adalah tekanan air minimum yang dibutuhkan pada springkler, bar (psi).

A<sub>MAX</sub> adalah jarak maksimum springkler yang diizinkan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>). Jika konversi dilakukan untuk sistem yang ada maka A<sub>MAX</sub> menjadi jarak sebenarnya dari springkler.

Untuk Area Kebutuhan:

$$DA = TNOS \times A_{MAX}, \text{ m}^2 \text{ (ft}^2\text{) (Persamaan 6)}$$

di mana:

DA adalah area kebutuhan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>).

TNOS adalah jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik.

A<sub>MAX</sub> adalah jarak maksimum springkler yang diizinkan. Jika konversi dilakukan untuk sistem yang ada maka A<sub>MAX</sub> menjadi jarak sebenarnya dari springkler.

#### 2.1.2.2.1.2 Jumlah Springkler/Format Tekanan

Dalam format ini diberikan tekanan minimum yang diperlukan untuk springkler paling jauh, oleh karena itu hanya laju aliran dari springkler yang perlu ditentukan. Laju aliran dari springkler kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$q = K \times (p)^{0.5} \text{ (Persamaan 7)}$$

di mana:

q adalah laju aliran air dari springkler, L/min (gpm).

K adalah faktor K dari springkler, (L/min)/bar<sup>0.5</sup> (gpm/psi<sup>0.5</sup>) atau ([mm/min]/bar<sup>0.5</sup>). p adalah tekanan air pada springkler, bar (psi).

##### 2.1.2.2.1.2.1 Mengkonversi dari Kepadatan/Format Area Kebutuhan ke Jumlah Springkler/Format Tekanan

Jika desain sistem springkler diberikan dalam Kepadatan/format Area Kebutuhan, dapat dikonversi ke Jumlah Springkler/format Tekanan sebagaimana ditunjukkan di bawah ini.

Untuk Jumlah Springkler:

$$TNOS = DA / A_{MAX} \text{ (Persamaan 8)}$$

di mana:

TNOS adalah jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik. DA adalah area kebutuhan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>).

A<sub>MAX</sub> adalah jarak maksimum springkler yang diizinkan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>). Jika konversi dilakukan untuk sistem yang ada maka A<sub>MAX</sub> menjadi jarak sebenarnya dari springkler.

Untuk Tekanan:

$$p = [(D \times A_{MAX}) / K]^2, \text{ bar (psi) (Persamaan 9)}$$

di mana:

p adalah tekanan air minimum yang dibutuhkan pada springkler, bar (psi). D adalah kepadatan yang dibutuhkan, mm/min (gpm/ft<sup>2</sup>).

$A_{MAX}$  adalah jarak maksimum springkler yang diizinkan. Jika konversi dilakukan untuk sistem yang ada maka  $A_{MAX}$  menjadi jarak sebenarnya dari springkler.

K adalah faktor K dari springkler, (L/min)/bar<sup>0,5</sup> (gpm/psi<sup>0,5</sup>) atau ([mm/min]/bar<sup>0,5</sup>).

## 2.1.2.2.2 Menentukan Jumlah Total Springkler Otomatis yang Dibutuhkan untuk Dihitung Secara Hidrolik

Setelah laju aliran dan tekanan minimum yang dibutuhkan pada springkler paling jauh telah ditentukan, jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik harus dihitung. Ini ditentukan sebagaimana ditunjukkan dalam Bagian 2.1.2.2.2.1 untuk Kepadatan/format desain Area Kebutuhan atau Bagian 2.1.2.2.2.2 untuk Jumlah Springkler/format desain Tekanan.

### 2.1.2.2.2.1 Kepadatan/Format Area Kebutuhan

Dalam format ini jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik tidak tersedia dan oleh karena itu harus dihitung. Nilai ini ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$TNOS = DA/(S \times L) \text{ (Persamaan 10)}$$

di mana:

TNOS adalah jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik. DA adalah area kebutuhan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>).

S adalah jarak springkler sepanjang saluran cabang, m (ft). L adalah jarak springkler antar saluran cabang, m (ft).

### 2.1.2.2.2.2 Jumlah Springkler/ Format Tekanan

Dalam format ini jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik telah ditentukan.

## 2.1.2.2.3 Menentukan Jumlah Springkler Otomatis yang Dibutuhkan Saluran Cabang untuk Dihitung Secara Hidrolik

Setelah jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik telah ditentukan, jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang dalam desain hidrolik harus dihitung. Ini ditentukan sebagaimana ditunjukkan dalam Bagian 2.1.2.2.3.1 untuk Kepadatan/format desain Area Kebutuhan atau Bagian 2.1.2.2.3.2 untuk Jumlah Springkler/format desain Tekanan.

### 2.1.2.2.3.1 Kepadatan/Format Area Kebutuhan

Dalam format ini jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang dalam desain hidrolik tidak disediakan dan oleh karena itu harus dihitung. Nilai ini ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$NORSBL = [SF \times (DA)^{0,5}]/S \text{ (Persamaan 11)}$$

di mana:

NORSBL adalah jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang. SF adalah faktor bentuk.

DA adalah area kebutuhan, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>).

S adalah jarak springkler sepanjang saluran cabang, m (ft).

Kecuali dinyatakan lain oleh lembar data spesifik hunian, gunakan faktor bentuk 1,2 untuk springkler yang dipasang di bawah plafon dengan kemiringan kurang dari atau sama dengan 5°, atau faktor bentuk 1,4 untuk springkler yang dipasang di bawah plafon dengan kemiringan lebih besar dari 5°.

Bulatkan nilai NORSBL ke bilangan bulat terdekat menggunakan metode pembulatan standar (yaitu pembulatan ke bawah untuk nilai pecahan 0,49 dan lebih kecil; pembulatan ke atas untuk nilai pecahan 0,50 dan lebih besar).

### 2.1.2.2.3.2 Jumlah Springkler/Format Tekanan

Dalam format ini jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang dalam desain hidrolik tidak disediakan dan oleh karena itu harus dihitung. Nilai ini ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$NORSBL = [SF \times (TNOS \times S \times L)^{0,5}]/S \text{ (Persamaan 12)}$$

di mana:

NORSBL adalah jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang. SF adalah faktor bentuk.

TNOS adalah jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik. S adalah jarak springkler sepanjang saluran cabang, m (ft).

L adalah jarak springkler antar saluran cabang, m (ft).

Kecuali dinyatakan lain oleh lembar data spesifik hunian, gunakan faktor bentuk 1,2 untuk springkler yang dipasang di bawah plafon dengan kemiringan kurang dari atau sama dengan 5°, atau faktor bentuk 1,4 untuk springkler yang dipasang di bawah plafon dengan kemiringan lebih besar dari 5°.

Bulatkan nilai NORSBL ke bilangan bulat terdekat menggunakan metode pembulatan standar (yaitu pembulatan ke bawah untuk nilai pecahan 0,49 dan lebih kecil; pembulatan ke atas untuk nilai pecahan 0,50 dan lebih besar).

#### 2.1.2.2.4 Menentukan Lokasi Springkler Terjauh Secara Hidrolik

Setelah jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang telah dihitung, lokasi springkler paling jauh harus ditentukan. Ini dianalisis dengan cara yang sama untuk Kepadatan/format Area Kebutuhan serta Jumlah Springkler/format Tekanan. Namun, ini ditentukan secara berbeda antara sistem springkler model pohon (dengan cabang dan ranting) dan sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi). Tentukan lokasi springkler terjauh sebagaimana ditunjukkan dalam Bagian 2.1.2.2.4.1 untuk sistem springkler model pohon (dengan cabang dan ranting) atau Bagian 2.1.2.2.4.2 untuk sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi).

##### 2.1.2.2.4.1 Sistem Springkler Model Pohon (dengan Cabang dan Ranting)

Untuk sebagian besar sistem springkler model pohon (dengan cabang dan ranting), lokasi springkler paling jauh akan terlihat jelas. Namun, akan ada saat-saat ketika ukuran pipa yang berbeda dalam sistem model pohon (dengan cabang dan ranting) akan memerlukan analisis yang lebih menyeluruh, melalui panjang pipa yang setara, untuk menentukan lokasi sebenarnya dari springkler paling jauh.

Metode panjang pipa setara menggunakan Persamaan 13 untuk mengkonversi semua pipa sistem springkler ke diameter pipa tertentu dan koefisien Hazen-Williams tertentu, yang merupakan titik di mana springkler paling jauh secara hidrolik dapat ditentukan.

$$L_{EQIV} = L_{ORIG} \times (D_{NEW}/D_{ORIG})^{4,87} \times (C_{NEW}/C_{ORIG})^{1,85} \quad \text{(Persamaan 13)}$$

di mana:

$L_{ORIG}$  adalah panjang asli pipa dengan diameter  $D_{ORIG}$  dan koefisien  $C_{ORIG}$  Hazen-Williams.

$L_{EQIV}$  adalah panjang pipa setara untuk diameter baru ( $D_{NEW}$ ) dan/atau koefisien Hazen-Williams baru ( $C_{NEW}$ ).

$D_{ORIG}$  adalah diameter asli pipa dengan panjang pipa  $L_{ORIG}$  dan koefisien  $C_{ORIG}$  Hazen-Williams.

$D_{NEW}$  adalah diameter pipa yang dikonversi dari  $D_{ORIG}$ .

$C_{ORIG}$  adalah koefisien Hazen-Williams asli dari pipa dengan panjang pipa  $L_{ORIG}$  dan diameter  $D_{ORIG}$ .

$C_{NEW}$  adalah koefisien Hazen-Williams pipa untuk panjang pipa setara baru  $L_{EQIV}$  dan/atau diameter baru  $D_{NEW}$ .

##### 2.1.2.2.4.2 Sistem Springkler Model Grid (Jala/Kisi-Kisi)

Menemukan springkler paling jauh pada sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi) tidak mudah dilakukan dan biasanya memerlukan analisis perangkat lunak komputer. Namun, untuk sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi) "reguler", lokasi springkler paling jauh dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus "condong" (*skew*). Sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi) yang tidak memenuhi definisi kisi biasa memerlukan metode analisis coba-coba (*trial-and-error*), yang paling baik ditangani oleh program perangkat lunak komputer yang dirancang khusus untuk analisis hidrolik sistem springkler.

Sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi) biasa didefinisikan sebagai berikut:

- Semua springkler pada sistem springkler memiliki faktor K yang sama.
- Jarak springkler di sepanjang saluran cabang dan juga antar saluran cabang konsisten di seluruh sistem springkler.
- Semua saluran cabang memiliki panjang yang sama dan diameter pipa yang sama.
- Perbedaan diameter dekat dengan pipa utama (*nearmain*) dan jauh dari pipa utama (*farmain*) tidak

lebih dari dua kali.

- *Outrigger* (Gantungan atau Rangka Kerja) springkler tidaklah merupakan bagian dari sistem springkler; namun, jika ada *outrigger* (Gantungan atau Rangka Kerja), jumlah *outrigger* (Gantungan atau Rangka Kerja) di kedua sisi dekat dengan pipa utama (*nearmain*) atau jauh dari pipa utama (*farmain*) kurang dari 25% dari jumlah total springkler per cabang dalam desain hidrolik (NORSBL sebagaimana didefinisikan di bawah).

Jika sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi) memenuhi definisi sistem model grid (jala/kisi-kisi) reguler, rumus condong akan menunjukkan kira-kira ada berapa banyak springkler yang jauh dari pipa utama (*farmain*), yang merupakan tempat springkler terjauh, diukur dari pusat kisi. Rumus condong didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{SKEW} = [(\text{TNOS}/\text{NORSBL})/\text{TBWOS}]^{1.85} \times (\text{TLOB}/2\text{S}) \text{ (Persamaan 14)}$$

di mana:

SKEW adalah perkiraan jumlah springkler, yang merupakan tempat springkler terjauh, jauh dari pipa utama (*farmain*) diukur dari pusat kisi springkler.

TNOS adalah jumlah total springkler yang dibutuhkan dalam desain hidrolik sebagaimana didefinisikan dalam Bagian 2.1.2.2.2.2 atau dalam Persamaan 10 dari Bagian 2.1.2.2.2.1.

NORSBL adalah jumlah springkler yang dibutuhkan per saluran cabang sebagaimana didefinisikan oleh Persamaan 11 di Bagian 2.1.2.2.3.1 atau Persamaan 12 di Bagian 2.1.2.2.3.2.

TBWOS adalah jumlah total saluran cabang dalam sistem springkler yang tidak termasuk dalam desain hidrolik.

TLOB adalah panjang total setiap saluran cabang; nilai ini termasuk *fitting* yang menghubungkan saluran cabang ke dekat dengan pipa utama (*nearmain*) dan jauh dari pipa utama (*farmain*).

S adalah jarak springkler sepanjang saluran cabang, m (ft).

## 2.1.2.2.5 Memposisikan Area Desain Hidrolik pada Sistem Springkler

Setelah jumlah total springkler yang termasuk dalam area desain hidrolik, jumlah springkler per saluran cabang, dan lokasi springkler paling jauh telah ditentukan, area desain hidrolik dapat diposisikan pada sistem springkler untuk tujuan analisis hidrolik sistem springkler. Bagian 2.1.2.2.5.1 menguraikan bagaimana melakukan proses ini untuk sistem springkler model pohon (dengan cabang dan ranting) atau model *loop* (bersambung penuh), sedangkan Bagian 2.1.2.2.5.2 menguraikan bagaimana melakukan proses ini untuk sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi).

### 2.1.2.2.5.1 Memposisikan Area Desain Hidrolik pada Sistem Springkler Model Pohon (dengan Cabang dan Ranting) atau Model *Loop* (Bersambung Penuh)

Springkler paling jauh adalah titik awal untuk memposisikan area desain hidrolik pada sistem springkler. Jumlah springkler per saluran cabang, dikombinasikan dengan jumlah total springkler yang termasuk dalam area desain hidrolik, membantu menentukan berapa banyak saluran cabang yang akan memiliki springkler yang termasuk dalam area desain.

Jika jumlah total springkler di area desain hidrolik dibagi dengan jumlah springkler per saluran cabang menghasilkan bilangan bulat, misalnya jumlah total springkler di area desain hidrolik adalah 20 dan jumlah springkler per saluran cabang adalah 5, maka bentuk area desain hidrolik akan menjadi persegi atau persegi panjang ketika diposisikan pada sistem springkler.

Jika jumlah total springkler di area desain hidrolik dibagi dengan jumlah springkler per saluran cabang tidak menghasilkan bilangan bulat, misalnya jumlah total springkler di area desain hidrolik adalah 25 dan jumlah springkler per saluran cabang adalah 7, maka bentuk area desain hidrolik tidak akan menghasilkan persegi atau persegi panjang, tetapi akan memiliki beberapa springkler "tambahan" yang dipasang pada bentuk persegi atau persegi panjang. Posisikan springkler tambahan sebagai bagian dari area desain hidrolik menggunakan panduan berikut:

- Kelompokkan semua springkler tambahan bersama-sama sehingga springkler secara kontinyu berada di saluran cabang, dan

- Posisikan springkler tambahan sehingga sedekat mungkin dengan pipa pembagi cabang sesuai dengan bentuk area desain hidrolik.

#### 2.1.2.2.5.2 Memposisikan Area Desain Hidrolik pada Sistem Springkler Model Grid (Jala/Kisi-kisi)

Springkler paling jauh adalah titik awal untuk memposisikan area desain hidrolik pada sistem springkler. Jumlah springkler per saluran cabang, dikombinasikan dengan jumlah total springkler yang termasuk dalam area desain hidrolik, membantu menentukan berapa banyak saluran cabang yang akan memiliki springkler yang termasuk dalam area desain.

Jika jumlah total springkler di area desain hidrolik dibagi dengan jumlah springkler per saluran cabang menghasilkan bilangan bulat, misalnya jumlah total springkler di area desain hidrolik adalah 20 dan jumlah springkler per saluran cabang adalah 5, maka bentuk area desain hidrolik akan menjadi persegi atau persegi panjang ketika diposisikan pada sistem springkler.

Jika jumlah total springkler di area desain hidrolik dibagi dengan jumlah springkler per saluran cabang tidak menghasilkan bilangan bulat, misalnya jumlah total springkler di area desain hidrolik adalah 25 dan jumlah springkler per saluran cabang adalah 7, maka bentuk area desain hidrolik tidak akan menghasilkan persegi atau persegi panjang, tetapi akan memiliki beberapa springkler "tambahan" yang dipasang pada bentuk persegi atau persegi panjang. Posisikan springkler tambahan sebagai bagian dari area desain hidrolik menggunakan panduan berikut:

- Kelompokkan semua springkler tambahan bersama-sama sehingga springkler secara kontinyu berada di saluran cabang, dan
- Posisikan springkler tambahan sehingga sedekat mungkin dengan pipa utama (*nearmain*) sesuai dengan bentuk area desain hidrolik.

#### 2.1.2.3 Perhitungan Hidrolik Dari Springkler Terjauh hingga Titik Acuan

##### 2.1.2.3.1 Pendahuluan

Setelah springkler terjauh ditentukan untuk sistem springkler tertentu dan area desain hidrolik telah diposisikan pada sistem springkler, analisis hidrolik sistem springkler hingga (BOR) *Base Of the Riser* springkler dapat dilakukan.

Untuk sistem springkler berbasis air (termasuk pipa kering dan sistem serupa), gunakan rumus Hazen-Williams (Persamaan 15) untuk menentukan aliran dan tekanan yang dibutuhkan pada (BOR) *Base Of the Riser* system springkler.

Meskipun beberapa metode perhitungan hidrolik menggunakan tekanan normal sebagai alat untuk menentukan aliran dan tekanan yang dibutuhkan sistem springkler, FM Global menggunakan metode perhitungan hidrolik yang tidak memasukkan tekanan kecepatan.

Tekanan total terdiri dari tiga bentuk tekanan, termasuk (1) tekanan karena aliran minimum yang diperlukan dari springkler paling jauh, (2) tekanan karena hambatan gesek di dalam jaringan pipa springkler, dan (3) tekanan karena elevasi.

Tekanan karena aliran minimum yang diperlukan didefinisikan dalam Persamaan 4 dari Bagian 2.1.2.2.1.1 atau diberikan sebagaimana ditunjukkan dalam Bagian 2.1.2.2.1.2.

Tekanan akibat hambatan gesek dalam jaringan pipa springkler dihitung menggunakan rumus Hazen-Williams sebagai berikut:

$$p_f = [(4,52) \times (Q/C)^{1,85}] / d^{4,87} \quad \text{(Persamaan 15)}$$

di mana:

$p_f$  adalah tahanan gesek dalam lb per in<sup>2</sup> (psi) per feet (ft) pipa.

Q adalah galon per menit (gpm) yang mengalir.

d adalah diameter internal pipa sebenarnya dalam inci (in.).

C adalah koefisien hambatan gesek (4,52 ketika satuan yang ditunjukkan di atas digunakan).

Untuk satuan metrik:

$p_f$  adalah hambatan gesek dalam bar per meter pipa.

Q adalah liter per menit (L/min) yang mengalir.

d adalah diameter internal pipa sebenarnya dalam milimeter (mm).

C adalah koefisien hambatan gesek ( $6,05 \times 10^{-5}$  ketika satuan yang ditunjukkan di atas digunakan).

Lembar Data FM Global 2-89, Tabel Hambatan Gesek Pipa, memberikan nilai hambatan gesek per panjang pipa springkler untuk diameter pipa nominal. Tabel 1 dari Lembar Data 2-89 memberikan nilai hambatan gesek untuk pipa baja yang memiliki koefisien Hazen-Williams 100, yang dapat digunakan untuk sistem springkler jenis kering, sedangkan Tabel

2 pada Lembar Data 2-89 memberikan nilai hambatan gesek untuk pipa baja yang memiliki koefisien Hazen-Williams 120, yang dapat digunakan untuk sistem springkler jenis basah. Lembar Data 2-89 memberikan nilai penyesuaian untuk pipa springkler yang memiliki koefisien Hazen-Williams selain 100 atau 120. Tabel 2 dari lembar data ini juga dapat digunakan untuk menyesuaikan nilai hambatan gesek per satuan panjang baik dari Tabel 1 atau Tabel 2 pada Lembar Data 2-89 ke nilai koefisien Hazen-Williams selain 100 atau 120. Jika diameter internal pipa springkler sebenarnya diketahui, maka rumus Hazen-Williams dapat digunakan untuk memberikan nilai hambatan gesek yang lebih akurat.

Untuk mendapatkan total hambatan gesek dari satu titik dalam sistem pipa ke titik lain di mana nilai aliran, diameter pipa, dan koefisien Hazen-Williams semuanya konstan, gunakan persamaan berikut:

$$P_F = p_f \times L \text{ (Persamaan 16)}$$

di mana:

$P_F$  adalah hambatan gesek total melalui pipa pada jarak L, psi.

$p_f$  adalah nilai hambatan gesek per satuan panjang pipa untuk pipa dengan diameter dan koefisien Hazen-Williams, bar/m (psi/ft) tertentu (lihat Persamaan 15).

L adalah panjang pipa yang digunakan untuk menghitung hambatan gesek, m (ft). Panjang satuan ini, L, dapat mencakup *fitting*, namun semua panjang *fitting* setara harus memiliki nilai koefisien Hazen-Williams yang sama dengan pipa yang disambungkan dengan *fitting*.

Lihat Tabel 12 (12a) untuk daftar panjang setara untuk berbagai *fitting*. Perhatikan bahwa panjang setara dari *fitting* ini didasarkan pada nilai koefisien Hazen-Williams 120. Lihat Tabel 13 untuk melihat pengganda penyesuaian jika nilai koefisien Hazen-Williams untuk pipa yang disambungkan dengan *fitting* bukan 120.

Perhitungkan *fitting* ketika *fitting*:

1. Menyebabkan perubahan arah aliran, atau
2. Menyebabkan perubahan kecepatan aliran.

Tentukan ukuran *fitting* berdasarkan ukuran pipa yang terhubung ke hilir *fitting* dan hitung hambatan gesek di seluruh *fitting* saat menganalisis secara hidrolis pipa springkler yang terhubung ke hilir *fitting*.

Untuk pipa springkler yang memiliki nilai koefisien Hazen-Williams selain yang tercantum pada Tabel 13, ubah panjang *fitting* setara yang ditunjukkan pada Tabel 12 (12a) menjadi koefisien Hazen-Williams yang sesuai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L_{EQADJ} = (L_{EQ} \text{ from Table 12 [12a]}) \times (C_{ACTUAL}/120)^{1,85} \text{ (Persamaan 17)}$$

di mana:

$L_{EQADJ}$  adalah panjang *fitting* setara yang disesuaikan dengan nilai Hazen-Williams, m (ft).

$L_{EQ}$  adalah panjang setara yang diperoleh dari Tabel 12 (12a), m (ft).

$C_{ACTUAL}$  adalah nilai koefisien Hazen-Williams (C) pipa springkler sebenarnya.

Tekanan akibat elevasi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_E = 0,098 \text{ bar/m (0,433 psi/ft)} \times h, \text{ bar (psi) (Persamaan 2)}$$

di mana:

$P_E$  adalah tekanan akibat gaya elevasi, bar (psi).

$h$  adalah tinggi keseluruhan antara springkler paling jauh dan (BOR) *Base Of the Riser*, m (ft).

Rumus Darcy-Weisbach adalah metode perhitungan lain untuk menganalisis hambatan gesek dalam sistem springkler. Ini umumnya digunakan untuk sistem springkler yang diisi dengan larutan antibeku di mana viskositas larutan lebih besar daripada air. Lihat Bagian 2.1.2.3.6 untuk diskusi lebih lanjut tentang perhitungan hidrolik yang melibatkan metode Darcy-Weisbach.

Bagian berikut memberikan panduan dasar dalam melakukan analisis hidrolik sistem springkler dari springkler paling jauh ke (BOR) *Base Of the Riser* springkler.

#### 2.1.2.3.2 Sistem Springkler Model Pohon (dengan Cabang dan Ranting)

Untuk sistem springkler model pohon (dengan cabang dan ranting), analisis hidrolik sistem springkler berasal dari springkler paling jauh dan dihitung dalam satu jalur kembali ke (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler. Setelah area desain hidrolik telah diposisikan pada sistem springkler sebagaimana diuraikan dalam Bagian 2.1.2.2.5, analisis hidrolik dimulai dari springkler paling jauh dengan aliran dan tekanan minimum yang diperlukan sebagaimana dijelaskan dalam Bagian 2.1.2.2.1.

Mulai dari springkler paling jauh dengan aliran dan tekanan minimum yang diperlukan, rumus Hazen-Williams digunakan untuk menentukan hambatan gesek dari springkler paling jauh ke springkler terdekat berikutnya pada saluran cabang yang sama. Setelah hambatan gesek dihitung, tambahkan perhitungan tersebut ke tekanan yang diperlukan pada springkler paling jauh untuk menentukan tekanan minimum yang diperlukan pada springkler terdekat berikutnya. Aliran dari springkler ini kemudian dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 7 dari Bagian 2.1.2.2.1.2.

Proses ini dilanjutkan sampai (a) springkler terdekat berikutnya tidak termasuk dalam area desain hidrolik, atau (b) bagian atas *nipple* pipa tegak atau pipa pembagi cabang ditemukan. Dalam kedua kasus tersebut, rumus Hazen-Williams digunakan untuk menghitung secara hidrolik aliran dan tekanan minimum yang diperlukan pada persimpangan antara saluran cabang ke bagian atas pipa tegak *nipple* atau ke pipa pembagi cabang jika tidak ada perbedaan elevasi antara saluran cabang dan pipa pembagi cabang.

Jika area desain hidrolik mencakup springkler hanya pada satu sisi pipa pembagi cabang, maka rumus Hazen-Williams digunakan untuk menghitung kebutuhan aliran dan tekanan untuk setiap saluran cabang dengan springkler pada area desain hidrolik kembali ke sambungan saluran cabang ke pipa pembagi cabang. Jika terdapat *nipple* pipa tegak, maka perhitungan dilanjutkan dari saluran cabang ke bawah melalui *nipple* pipa tegak ke sambungan pada pipa pembagi cabang. Pada titik sambungan ini faktor  $K$  dari saluran cabang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$K_{LINE} = Q/P^{0,5} \text{ (Persamaan 18)}$$

di mana:

$K_{LINE}$  adalah faktor  $K$  yang menunjukkan aliran dan tekanan untuk saluran cabang.

$Q$  adalah aliran total pada titik persimpangan berdasarkan aliran minimum yang dibutuhkan pada springkler terjauh dari titik persimpangan dan pada area desain hidrolik.

$P$  adalah tekanan total pada titik persimpangan berdasarkan tekanan minimum yang diperlukan pada springkler terjauh dari titik persimpangan dan pada area desain hidrolik.

Jika ada springkler di kedua sisi pipa pembagi cabang yang termasuk dalam area desain hidrolik, maka aliran dan tekanan minimum yang diperlukan sebagaimana ditentukan dari Persamaan 7 dari Bagian 2.1.2.2.1.2 diterapkan pada kedua springkler yang terjauh dari titik persimpangan saluran cabang dan pipa pembagi cabang dan masih dalam batas-batas area desain hidrolik.

Rumus Hazen-Williams kemudian digunakan untuk menghitung aliran dan tekanan untuk kedua saluran cabang kembali ke titik sambungannya; biasanya, ini adalah puncak dari *nipple* pipa tegak atau pada pipa pembagi cabang jika tidak ada *nipple* pipa tegak.

Jika tekanan yang diperlukan pada titik ini tidak setara, maka aliran yang dihitung dari saluran cabang dengan

tekanan minimum yang lebih rendah harus diseimbangkan secara hidrolik hingga mencapai tekanan yang diperlukan untuk saluran cabang yang lain.

Hal ini dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ADJ} = Q_L \times [(P_H - P_E)/(P_L - P_E)]^{0.5} \text{ (Persamaan 19)}$$

di mana:

$Q_{ADJ}$  adalah aliran yang telah disesuaikan dari  $P_L$  ke  $P_H$ , L/menit (gpm).

$Q_L$  adalah aliran yang diperlukan pada titik persimpangan umum berdasarkan pada  $P_L$ , L/menit (gpm).

$P_L$  adalah tekanan yang lebih rendah dari dua tekanan yang diperlukan pada titik persimpangan umum, bar (psi).

$P_H$  adalah tekanan yang lebih tinggi dari dua tekanan yang diperlukan pada titik persimpangan umum, bar (psi).

$P_E$  adalah tiap tekanan yang berasal dari elevasi yang tercakup di dalam  $P_L$ , bar (psi).

Perhatikan bahwa nilai eksponensial untuk persamaan ini adalah "0,50" ketika menyeimbangkan aliran dalam jumlah relatif kecil, seperti saat menyeimbangkan springkler pada satu saluran cabang bersamaan, tetapi nilainya meningkat menjadi "0,54" jika jumlah aliran relatif besar, seperti pada saat menyeimbangkan dua sistem springkler bersamaan.

Nilai  $Q_{ADJ}$  lalu ditambahkan pada nilai  $Q_H$  (aliran yang diperlukan pada titik persimpangan umum berdasarkan  $P_H$ ) untuk mendapatkan total aliran minimum yang diperlukan pada titik persimpangan umum.

Persamaan 19 biasanya disebut sebagai persamaan untuk penyeimbangan hidrolik. Persamaan ini digunakan pada saat dua aliran springkler terhitung bertemu pada titik acuan umum dan memiliki jumlah tekanan minimum yang diperlukan yang berbeda. Aliran yang didasarkan pada tekanan minimum yang lebih rendah selalu diseimbangkan pada tekanan minimum yang lebih tinggi. Aspek penting untuk disadari ketika penyeimbangan hidrolik diperlukan adalah memperhitungkan tekanan akibat dari elevasi ( $P_E$ ) ketika menggunakan Persamaan 19.

Jika titik umum ini berada pada *nipple* pipa tegak, maka hitung hambatan gesek dari *nipple* pipa tegak ke pipa pembagi cabang dan tambahkan ke  $P_H$  untuk menentukan aliran minimum yang diperlukan dan tekanan pada sambungan ke pipa pembagi cabang. Jika aliran minimum yang diperlukan dan tekanan sudah dihitung ke sambungan pipa pembagi cabang, faktor K saluran cabang dapat ditentukan menggunakan Persamaan 18.

Jika semua springkler di area desain hidrolik sudah dihitung kembali ke pipa pembagi cabang dan faktor K masing-masing saluran cabang telah ditentukan, maka aliran dan tekanan yang diperlukan pada (BOR) *Base Of the Riser* dapat dihitung dengan memulai aliran dan tekanan pada saluran cabang paling jauh menuju ke arah sebaliknya melalui pipa pembagi cabang menggunakan rumus Hazen-Williams untuk menghitung hambatan gesek melalui pipa pembagi cabang dan lalu menambahkan aliran springkler dari masing-masing saluran cabang menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_{BL} = K_{LINE} \times (P)^{0.5} \text{ (Persamaan 20)}$$

di mana:

$Q_{BL}$  adalah aliran yang dikirimkan ke saluran cabang dari pipa pembagi cabang pada tekanan P, L/menit (gpm).

$K_{LINE}$  adalah faktor K dari saluran cabang yang diarahkan aliran air, L/menit/bar<sup>0.5</sup> (gpm/psi<sup>0.5</sup>).

P adalah tekanan yang diperlukan pada persimpangan saluran cabang dan pipa pembagi cabang, bar (psi).

Jika aliran dari saluran cabang terakhir sudah ditambahkan, ini menjadi aliran yang diperlukan pada (BOR) *Base Of the Riser*. Rumus Hazen-Williams lalu digunakan untuk menentukan hambatan gesek dari titik sambungan ini ke (BOR) *Base Of the Riser*. Jika tekanan akibat hambatan gesek sudah dihitung, langkah terakhir adalah menambahkan tekanan akibat elevasi.

### 2.1.2.3.3 Sistem Springkler Model *Loop* (Bersambung Penuh)

Sistem springkler model *loop* (bersambung penuh) menyediakan cara mengurangi hambatan gesek di dalam sistem springkler dengan mengganti pipa pembagi cabang jalur aliran tunggal dengan pipa *loop* (bersambung penuh) jalur aliran ganda. Perhitungan sistem springkler model *loop* (bersambung penuh) "sederhana" (yaitu sistem dengan saluran cabang buntu dan pipa *loop* [bersambung penuh] tunggal) dapat dilakukan menggunakan tangan. Akan

tetapi, jika saluran cabang springkler bukan jenis buntu atau sistem springkler dilengkapi dengan lebih dari satu pipa *loop* (bersambung penuh), maka perhitungan menggunakan tangan akan semakin sulit dan lebih baik menggunakan program komputer.

Metode perhitungan sistem springkler model *loop* (bersambung penuh) mempertimbangkan dua prinsip hidrolik dasar:

- (1) Perbedaan tekanan antara dua titik sistem springkler adalah sama di rute manapun di dalam sistem, dan
- (2) Aliran air ke satu titik di dalam sistem springkler sama dengan aliran air yang menjauhi titik tersebut.

Dua prinsip dasar ini memungkinkan sistem springkler model *loop* (bersambung penuh) untuk dapat dihitung dengan cara yang sama dengan sistem springkler model pohon (dengan cabang dan ranting) dengan dua perbedaan berikut ini:

- (1) Bentuk area desain hidrolik ditentukan dengan cara yang sama dengan sistem model pohon (dengan cabang dan ranting) tetapi diposisikan pada sistem springkler sedekat mungkin dengan titik paling jauh secara hidrolik pada pipa *loop* (bersambung penuh), dan
- (2) Aliran dari saluran cabang yang paling dekat dengan pusat area desain hidrolik dibagi dengan sejumlah aliran yang masuk melawan arah jarum jam di dalam pipa *loop* (bersambung penuh) sementara aliran lainnya dari saluran cabang ini mengalir searah jarum jam. Persentase aliran di dalam kedua arah tersebut ditentukan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_1/Q_T = 1/([L_1/L_2]^{0,54} + 1) \text{ (Persamaan 21)}$$

di mana:

$Q_T$  adalah jumlah total aliran dari pusat saluran cabang. Ini sama dengan jumlah total dari  $Q_1$  dan  $Q_2$ .

$L_1$  adalah panjang pipa setara dari sambungan pipa pembagi cabang/pipa pembagi utama (CM/FM) ke pusat saluran cabang pada area desain hidrolik. Hal ini harus didasarkan pada diameter dan koefisien Hazen-Williams setara yang sama yang menjadi dasar  $L_2$ .

$L_2$  adalah panjang pipa setara dari sambungan pipa pembagi cabang/pipa pembagi utama (CM/FM) ke pusat saluran cabang di dalam area desain hidrolik. Hal ini harus didasarkan pada diameter dan koefisien Hazen-Williams setara yang sama yang menjadi dasar  $L_1$ .

$Q_1$  adalah jumlah aliran dari pusat saluran cabang yang mengalir melalui pipa *loop* (bersambung penuh) dan memiliki panjang setara  $L_1$ .

$Q_2$  adalah jumlah aliran dari pusat saluran cabang yang mengalir melalui pipa *loop* (bersambung penuh) dan memiliki panjang setara  $L_2$ .

Jika  $Q_1$  dan  $Q_2$  sudah ditentukan, maka analisis hidrolik menjadi sama dengan sistem model pohon (dengan cabang dan ranting) yang kembali ke sambungan CM/FM. Pada titik ini di dalam sistem springkler aliran dengan tekanan lebih rendah dapat diseimbangkan secara hidrolik hingga ke tekanan yang lebih tinggi dan lalu ditambahkan bersama. Perhitungan kembali ke (BOR) *Base Of the Riser* adalah sama sebagaimana diindikasikan untuk sistem model pohon (dengan cabang dan ranting).

#### 2.1.2.3.4 Sistem Springkler Model Grid (Jala/Kisi-kisi)

Evaluasi hidrolik dari sistem springkler model grid (jala/kisi-kisi) otomatis terdiri dari sejumlah perhitungan dengan pendekatan coba-coba (*trial-and-error*) berdasarkan pada prinsip bahwa aliran menuju suatu titik di dalam sistem springkler sama dengan aliran keluar dan tekanan pada satu titik di dalam sistem springkler harus bernilai tunggal. Oleh karena karakteristik springkler model grid (jala/kisi-kisi), ada beberapa titik di dalam sistem springkler di mana air mengalir melalui berbagai jalur, sehingga memerlukan perhitungan penyeimbangan hidrolik, biasanya di kisaran 0,003 bar (0,5 psi).

Perhitungan tersebut sangat rumit dan sebaiknya dilakukan menggunakan program komputer yang didesain khusus untuk melakukan evaluasi sistem springkler otomatis menggunakan rumus Hazen-Williams atau metode perhitungan Darcy-Weisbach.

### 2.1.2.3.5 Sistem Springkler Level Ganda

Ada dua jenis sistem springkler level ganda dari sudut pandang analisis hidrolis. Jenis yang pertama adalah sistem springkler tunggal yang memiliki satu atau lebih saluran cabang yang memiliki springkler pada level elevasi yang berbeda yang terhubung bersama pada sebuah titik acuan selain (BOR) *Base Of the Riser*. Contohnya adalah springkler yang memproteksi area di bawah mezanin dan dipasang dari sistem springkler yang sama yang memproteksi area di atas mezanin. Contoh lainnya adalah rak penyimpanan terisolasi yang diproteksi oleh plafon dan springkler dalam rak di mana springkler tersebut dipasang dari sistem springkler yang sama yang terletak di atas rak penyimpanan.

Jenis lainnya dari sistem springkler level ganda adalah ada dua atau lebih sistem springkler yang memproteksi area yang sama pada level elevasi yang berbeda, tetapi terhubung bersama pada (BOR) *Base Of the Riser*. Contoh paling umum dari kombinasi sistem springkler level ganda adalah sistem springkler pada plafon dan sistem springkler dalam rak terpisah yang terhubung bersama pada (BOR) *Base Of the Riser*.

#### 2.1.2.3.5.1 Sistem Springkler dengan Springkler Level Ganda yang Tersambung Sebelum *Base of the Riser* (BOR) Springkler

Seringkali, sistem springkler otomatis memiliki springkler yang terletak pada lebih dari satu elevasi ketika diberikan acuan ke (BOR) *Base Of the Riser*. Dalam hal ini, perhitungan hidrolis memerlukan penyeimbangan hidrolis pada beberapa titik di dalam sistem springkler sebelum (BOR) *Base Of the Riser* jika tekanan minimum yang diperlukan berbeda pada titik sambungan yang sama.

Metode perhitungan untuk kondisi tersebut tidak berbeda dengan metode perhitungan yang telah dibahas di Bagian 2.1.2.3. Untuk mendemonstrasikan konsep ini, berikut ini kami sertakan contoh.

Contoh No. 2: Rak penyimpanan terisolasi berukuran 7,5 m (25 ft) terletak di dalam sebuah area manufaktur dan harus dilengkapi dengan springkler dalam rak sebagai proteksi. Karena ini adalah rak penyimpanan terisolasi, springkler dalam rak yang melindunginya dipasang dari sistem plafon di atas rak penyimpanan. Springkler dalam rak terletak pada ketinggian 4,5 m (15 ft) sementara springkler plafon terletak di ketinggian 8,7 m (29 ft) dari atas lantai. Pada titik sambungan di mana springkler dalam rak tersambung dengan sistem springkler plafon, aliran dan tekanan minimum yang diperlukan untuk springkler dalam rak adalah 510 L/menit (135 gpm) pada 2,41 bar (35 psi), yang meliputi tekanan tambahan 0,42 bar (6,1 psi) karena level elevasi. Aliran dan tekanan minimum yang diperlukan untuk springkler plafon pada titik sambungan yang sama ini adalah 2.500 L/menit (660 gpm) pada 3,10 bar (45 psi) dan mencakup tekanan yang hilang sebesar 0,09 bar (1,3 psi) karena level elevasi.

Karena aliran minimum yang diperlukan dari kedua sistem memiliki tekanan yang berbeda pada titik sambungan, aliran dari springkler pada tekanan yang lebih rendah harus diseimbangkan secara hidrolis hingga tekanan minimum yang lebih tinggi menggunakan Persamaan 19 sebagai berikut:

$$Q_{ADJ} = (135 \text{ gpm}) \times [(45 \text{ psi} - (-6,1 \text{ psi})) / (35 \text{ psi} - (-6,1 \text{ psi}))]^{0,5} = 151 \text{ gpm}$$

$$Q_{ADJ} = (510 \text{ L/menit}) \times [(3,10 \text{ bar} - (-0,42 \text{ bar})) / (2,41 \text{ bar} - (-0,42 \text{ bar}))]^{0,5} \\ = 570 \text{ L/min}$$

Maka, pada titik sambungan, aliran springkler dalam rak yang telah disesuaikan sebesar 570 L/menit (151 gpm) ditambahkan ke aliran springkler minimum yang diperlukan sebesar 2.500 L/menit (660 gpm) untuk mendapatkan aliran dan tekanan minimum yang diperlukan sebesar 3.070 L/menit (811 gpm) dan 3,10 bar (45 psi) pada titik sambungan.

#### 2.1.2.3.5.2 Sistem Springkler Level Ganda yang Terdiri dari Dua atau Lebih Sistem Springkler Pada Level Elevasi Berbeda Dalam Area Proteksi yang Sama yang Terhubung Pada *Base Of the Riser* (BOR) Springkler

Seringkali, dua sistem springkler otomatis yang terpisah akan digunakan untuk memproteksi satu area yang sama, seperti sistem springkler plafon dan sistem springkler dalam rak yang terpisah. Dalam hal ini, analisis hidrolis dari kedua sistem akan memerlukan penyeimbangan hidrolis pada satu titik di dalam jaringan proteksi kebakaran tersebut, biasanya di bawah (BOR) *Base Of the Riser* dari masing-masing sistem springkler.

Metode perhitungan untuk kondisi tersebut tidak berbeda dengan metode perhitungan yang telah dibahas di Bagian

2.1.2.3. Untuk mendemonstrasikan konsep ini, berikut ini kami sertakan contoh.

Contoh No. 3: Sebuah gudang setinggi 24,4 m (80 ft) berisi rak penyimpanan rak terbuka setinggi

lebih dari 23 m (75 ft). Rak penyimpanan tersebut diproteksi oleh springkler dalam rak 5 tingkat. Kebutuhan atas sistem springkler dalam rak didasarkan pada aliran minimum 115 L/menit (30 gpm) dari 14 springkler terjauh (7 pada 2 level), yang memerlukan aliran sebesar 1.800 L/menit (475 gpm) dan tekanan sebesar 5,17 bar (75 psi) pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler dalam rak. Tekanan yang diperlukan untuk sistem springkler ini mencakup 2,09 bar (30,3 psi) dari tekanan level elevasi. Kebutuhan atas sistem springkler plafon didasarkan pada tekanan minimum 0,69 bar (10 psi) dari 15 springkler terjauh, yang memerlukan aliran sebesar 2.082 L/menit (550 gpm) dan tekanan sebesar 5,52 bar (80 psi) pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler plafon. Tekanan yang diperlukan untuk sistem springkler ini mencakup 2,36 bar (34,2 psi) dari tekanan level elevasi. Kedua sistem springkler dipasang dari titik bersama yang terletak di bawah (BOR) *Base Of the Riser*.

Karena aliran minimum yang diperlukan dari kedua sistem memiliki tekanan yang berbeda pada titik sambungan, aliran dari springkler pada tekanan yang lebih rendah harus diseimbangkan secara hidrolik hingga tekanan minimum yang lebih tinggi menggunakan Persamaan 19 sebagai berikut:

$$Q_{ADJ} = (1.800 \text{ L/menit}) \times [(5,52 \text{ bar} - 2,09 \text{ bar}) / (5,17 \text{ bar} - 2,09 \text{ bar})]^{0,54}$$

$$Q_{ADJ} = (475 \text{ gpm}) \times [(80 \text{ psi} - 30,3 \text{ psi}) / (75 \text{ psi} - 30,3 \text{ psi})]^{0,54} = 503 \text{ gpm}$$

$$= 1.904 \text{ L/min}$$

Maka, pada titik sambungan, aliran springkler dalam rak yang telah disesuaikan sebesar 1.904 L/menit (503 gpm) ditambahkan bersama dengan aliran springkler minimum yang diperlukan sebesar 2.082 L/menit (550 gpm) untuk mendapatkan aliran dan tekanan minimum yang diperlukan sebesar 3.986 L/menit (1.053 gpm) dan 5,52 bar (80 psi) pada titik sambungan.

#### 2.1.2.3.6 Metode Analisis Darcy-Weisbach

Gunakan metode analisis Darcy-Weisbach untuk sistem springkler yang berisi medium cairan lain selain air, seperti larutan anti-beku, karena metode ini mempertimbangkan perubahan suhu cairan, kepadatan, serta viskositasnya dibandingkan hasil yang didapat jika menggunakan metode analisis Hazen-Williams.

Rumus Darcy-Weisbach adalah sebagai berikut:

$$F_{DW} = (0,000216) \times (f) \times (L) \times (\rho) \times (Q)^2 / (d)^5 \text{ (psi) (Persamaan 22)}$$

$$F_{DW} = (2,252) \times (f) \times (L) \times (\rho) \times (Q)^2 / (d)^5 \text{ (bar) (Persamaan 22a)}$$

di mana:

$F_{DW}$  adalah hambatan gesek sesuai dengan rumus Darcy-Weisbach, bar (psi).

$f$  adalah faktor hambatan gesek sesuai dengan diagram Moody.

$L$  adalah panjang pipa yang digunakan untuk menghitung hambatan gesek, m (ft).

$\rho$  adalah kepadatan medium cairan, kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>).

$Q$  adalah laju aliran di dalam pipa springkler, L/menit (gpm).  $d$  adalah diameter internal pipa springkler, mm (inci).

Nilai  $f$  ditentukan menggunakan diagram Moody yang ditampilkan di Gambar 2. Nilai  $f$  ditunjukkan pada bagian kiri diagram Moody bersama dengan sumbu-y; untuk mendapatkan nilai  $f$  khusus, Anda harus mengetahui bilangan Reynolds ( $Re$ ), yang ditunjukkan bersama dengan sumbu-x pada diagram, dan faktor kekasaran relatif, yang berada di sebelah kanan diagram bersama dengan sumbu-y. Jika garis untuk bilangan Reynolds dan faktor kekasaran relatif bertemu, ikuti garis ke arah kiri untuk menemukan nilai faktor hambatan gesek.

Bilangan Reynolds didapatkan melalui persamaan berikut ini:

$$Re = 50,6 \times (Q) \times (\rho) / [(d) \times (\mu)] \text{ (satuan Inggris) (Persamaan 23)}$$

$$Re = 21,22 \times (Q) \times (\rho) / [(d) \times (\mu)] \text{ (satuan SI) (Persamaan 23a)}$$

di mana:

$\mu$  adalah viskositas absolut (dinamis), sentipoise.

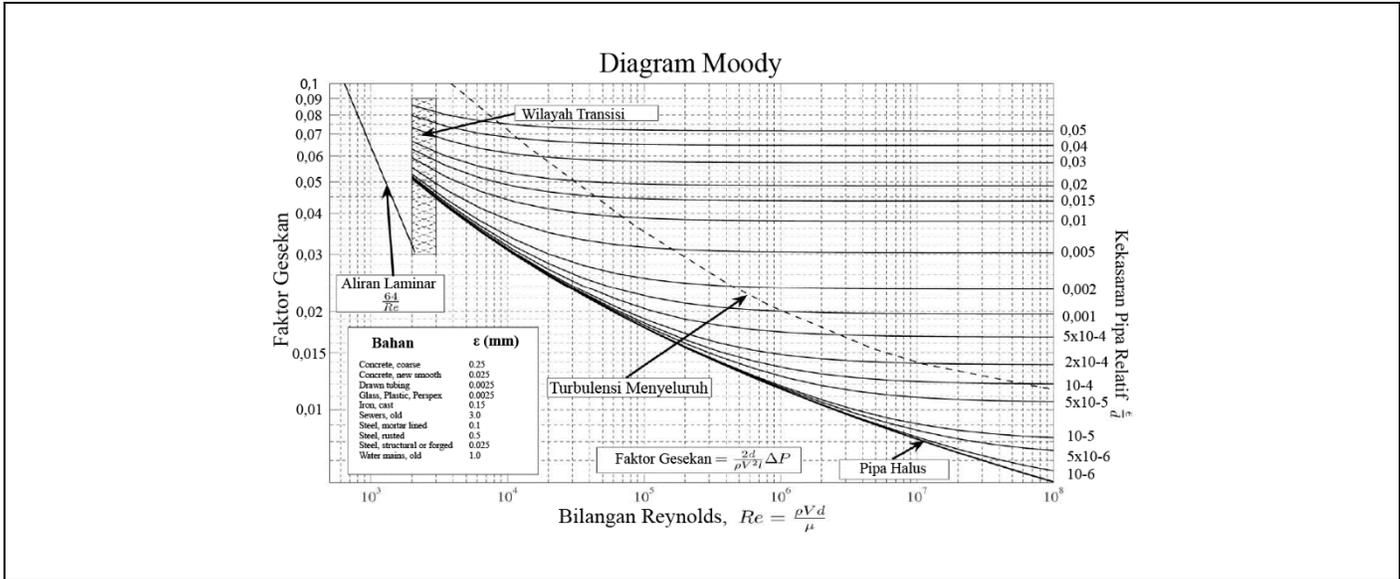
Faktor kekasaran relatif didapatkan melalui persamaan berikut ini:

$$\text{Faktor kekasaran relatif} = \epsilon/D \text{ (Persamaan 24)}$$

di mana:

$\epsilon$  adalah kekasaran dinding pipa, mm (ft).

D adalah diameter internal pipa, mm (ft).



Gbr. 2. Diagram Moody (Sumber dari ASME)

2.1.2.4 Representasi Grafis Analisis Hidrolik

2.1.2.4.1 Pendahuluan

Jika aliran dan tekanan minimum yang diperlukan dari sistem springkler telah dihitung pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler, representasi grafis dari relasi hidrolik antara aliran dan tekanan sistem springkler yang telah diperhitungkan diperlukan untuk menentukan tingkat proteksi yang diberikan oleh pasokan air yang tersedia. Representasi grafis ini, yang disebut kurva kebutuhan springkler, diilustrasikan menggunakan lembar grafik N<sup>1.85</sup> sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 Lampiran D.

Ada dua jenis sistem springkler untuk tujuan representasi grafis. Pertama adalah sistem springkler tunggal yang memproteksi area tertentu. Kedua adalah area yang diproteksi oleh lebih dari satu sistem springkler. Contoh dari sistem springkler ganda di area yang sama adalah area yang diproteksi oleh sistem springkler plafon yang sudah ada dan juga sebagai sistem springkler berlapis, atau rak penyimpanan yang dipasang springkler dalam rak yang dipasang dari sebuah sistem yang terpisah dengan springkler plafon yang memproteksi rak.

Pembahasan mengenai bagaimana merepresentasikan secara grafis kedua jenis sistem springkler tersebut diberikan dalam dua bagian berikut ini.

2.1.2.4.2 Menggambar Hasil Sistem Springkler Tunggal Dalam Area Proteksi

Untuk membuat representasi grafis dari aliran dan tekanan minimum yang diperlukan untuk sistem springkler otomatis pada lembar grafik N<sup>1.85</sup>, Anda memerlukan dua titik berikut ini yang akan membantu Anda mengembangkan kurva kebutuhan springkler:

1. Aliran dan tekanan pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler untuk memenuhi desain minimum yang diperlukan, dan
2. Tekanan akibat elevasi (pada saat tak ada aliran) antara (BOR) *Base Of the Riser* dan springkler pada elevasi tertinggi yang terletak pada area yang diperlukan

Kurva kebutuhan springkler juga dapat direpresentasikan secara matematis menggunakan persamaan berikut ini:

$$P_2 = (Q_2/Q_1)^{1.85} \times (P_1 - P_E) + P_E \text{ (Persamaan 25)}$$

di mana:

Q<sub>1</sub> adalah nilai aliran pada kurva kebutuhan springkler pada tekanan P<sub>1</sub>, L/menit (gpm). Q<sub>2</sub> adalah aliran pada kurva kebutuhan springkler pada tekanan P<sub>2</sub>, L/menit (gpm).

$P_1$  adalah nilai tekanan pada kurva kebutuhan springkler pada aliran  $Q_1$ , bar (psi).  $P_2$  adalah tekanan pada kurva kebutuhan springkler pada aliran  $Q_2$ , bar (psi).

$P_E$  adalah tekanan akibat elevasi antara springkler tertinggi dan (BOR) *Base Of the Riser*, bar (psi).

#### 2.1.2.4.3 Menggambar Hasil Sistem Springkler Ganda Dalam Area Proteksi

Untuk membuat representasi grafis dari sistem springkler ganda di area yang sama dan beroperasi secara bersamaan, ikuti langkah-langkah berikut ini:

- 1) Gambar kurva kebutuhan springkler untuk masing-masing sistem springkler secara individual sebagaimana diuraikan di dalam Bagian 2.1.2.4.2.
- 2) Gambar kurva sistem springkler kombinasi yang merepresentasikan semua sistem springkler individual yang beroperasi secara bersamaan sebagai berikut:
  - (a) Mulai pada 0 bar (0 psi) dan naikkan sumbu-y (skala tekanan) sampai titik tekanan akibat elevasi dari sistem springkler yang pertama ditemukan.
  - (b) Pada titik tekanan ini kurva kebutuhan sistem springkler kombinasi akan sama dengan kurva kebutuhan springkler hingga nilai tekanan mencapai tekanan elevasi dari sistem springkler yang lainnya.
  - (c) Jika titik tekanan elevasi dari sistem springkler yang lainnya sudah ditemukan, kurva kebutuhan sistem springkler kombinasi menjadi aliran kombinasi dari sistem springkler pada nilai tekanan awal.
- 3) Proses ini dilanjutkan hingga semua sistem springkler telah dikombinasikan menjadi satu kurva kebutuhan yang sama.

#### 2.1.2.4.4 Menggambar Pasokan Air yang Tersedia Setelah Pengurangan

Bagian 2.1.2.4 menguraikan prosedur untuk membuat grafik pasokan air yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler otomatis.

Umumnya persyaratan desain untuk sistem springkler otomatis mencakup kebutuhan air untuk slang sebagai bagian dari desain. Dalam hal ini, kebutuhan air slang akan dikurangi dari pasokan air yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler jika pasokan air untuk arus slang juga memasok sistem springkler otomatis.

Untuk menyesuaikan pasokan air karena adanya pengurangan tersebut, pertama-tama buat kurva pasokan air yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler sebelum pengurangan dan labeli kurva ini sesuai namanya. Untuk pasokan air yang tersedia setelah pengurangan, buat kurva pasokan air yang sama, tetapi sesuaikan dengan cara mengurangi aliran pengurangan yang diperlukan dari masing-masing titik tekanan pada kurva.

#### 2.1.2.4.5 Menilai Kecukupan Sistem Springkler

Jika pasokan air yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* sistem springkler (minus semua pengurangan) dan kurva kebutuhan sistem springkler (atau kurva kombinasi jika ada lebih dari satu sistem springkler) telah dibuat pada lembar grafik  $N^{1.85}$ , maka nilai kecukupan sistem springkler dapat ditentukan.

Sistem springkler dapat dinilai sebagai "Cukup" atau "Tidak Cukup."

Sistem springkler otomatis dinilai cukup jika pasokan air yang tersedia, setelah menghitung semua pengurangan yang diperlukan, mampu mencukupi semua kebutuhan aliran dan tekanan pada semua sistem springkler yang beroperasi secara bersamaan di satu area selama durasi tertentu.

Pasokan air tersedia yang tidak dapat memenuhi kebutuhan untuk nilai Cukup tersebut akan dinilai sebagai Tidak Cukup.

Proses untuk menentukan nilai sistem springkler otomatis adalah sebagai berikut:

1. Buat grafik dan label pasokan air tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser*.
2. Buat grafik dan label pasokan air tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* setelah semua pengurangan yang diperlukan.

3. Buat grafik dan label semua sistem springkler yang beroperasi secara bersamaan untuk area yang diproteksi.
4. Buat grafik dan label kurva sistem springkler kombinasi jika ada lebih dari satu kurva sistem springkler yang dibuat.
5. Dalam hal di mana terdapat sistem springkler tunggal, tentukan secara grafis aliran dan tekanan yang tersedia untuk sistem springkler dari pasokan air (setelah pengurangan). Aliran dan tekanan yang tersedia didasarkan pada pertemuan antara kurva kebutuhan springkler dan kurva untuk pasokan air (setelah pengurangan).
6. Dalam hal di mana ada lebih dari satu sistem springkler, tentukan secara grafis aliran dan tekanan yang tersedia untuk masing-masing sistem springkler dari pasokan air (setelah pengurangan). Aliran dan tekanan yang tersedia untuk masing-masing sistem springkler pertama-tama ditentukan dengan melihat di mana pertemuan antara kurva sistem springkler kombinasi dan kurva untuk pasokan air yang tersedia (setelah pengurangan). Menggunakan nilai tekanan pada titik persimpangan ini, lihat nilai aliran untuk masing-masing sistem springkler pada masing-masing kurva kebutuhan springkler yang sesuai.
7. Menggunakan nilai aliran dan tekanan yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* untuk masing-masing sistem springkler, ini menunjukkan ketersediaan untuk sistem springkler menggunakan format desain yang diperlukan dari sistem springkler tersebut. Lihat Bagian 2.1.2.4.5.1 untuk detail lebih lanjut mengenai proses ini.
8. Tentukan durasi yang tersedia dari pasokan air.

Jika pasokan air tersedia mampu menyediakan aliran dan tekanan untuk sistem springkler selama durasi tertentu, maka sistem springkler tersebut dinilai Cukup; jika tidak mampu, dinilai Tidak Cukup.

Lihat Bagian 2.1.2.4.5.1 untuk pembahasan mengenai bagaimana mengkonversi aliran dan tekanan yang tersedia dari pasokan air ke dalam format desain yang menjadi dasar dari sistem springkler.

Lihat Bagian 2.1.2.4.5.2 untuk pembahasan bagaimana menentukan durasi yang tersedia dari pasokan air.

#### 2.1.2.4.5.1 Mengkonversi (mengubah) Aliran dan Tekanan Tersedia ke Sistem Springkler Menjadi Format Desain

Ada tiga format yang menjadi dasar desain untuk hampir seluruh sistem springkler. Ketiga format tersebut meliputi:

- Kepadatan/Area Kebutuhan
- Aliran minimum yang Diperlukan @ Springkler Paling Jauh/Jumlah Springkler
- Tekanan minimum yang Diperlukan @ Springkler Paling Jauh/Jumlah Springkler

Keseluruhan kurva kebutuhan springkler untuk masing-masing sistem springkler individual menunjukkan area kebutuhan tetap atau jumlah springkler tetap; tetapi, masing-masing titik individual di sepanjang kurva kebutuhan springkler menunjukkan nilai kepadatan, aliran minimum, atau tekanan minimum yang berbeda.

##### 2.1.2.4.5.1.1 Konversi Aliran dan Tekanan yang Tersedia Pada (BOR) *Base Of the Riser* dari Pasokan Air ke Desain Berdasarkan Kepadatan

Konversi aliran dan tekanan yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* dari pasokan air ke desain berdasarkan kepadatan dapat dilakukan sebagai berikut:

$$D_{AVAIL} = D_{DESIGN} \times (Q_{AVAIL}/Q_{DESIGN}) \text{ (Persamaan 26)}$$

di mana:

$D_{AVAIL}$  adalah kepadatan yang tersedia dari pasokan air berdasarkan  $Q_{AVAIL}$ .  $D_{DESIGN}$  adalah kepadatan berdasarkan desain yang diperlukan.

$Q_{AVAIL}$  adalah aliran yang tersedia dari pasokan air pada (BOR) *Base Of the Riser*.  $Q_{DESIGN}$  adalah aliran berdasarkan desain yang diperlukan pada (BOR) *Base Of the Riser*.

##### 2.1.2.4.5.1.2 Konversi Aliran dan Tekanan yang Tersedia Pada (BOR) *Base Of the Riser* dari Pasokan Air ke Desain Berdasarkan Aliran minimum pada Springkler Paling Jauh

Konversi aliran dan tekanan yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* dari pasokan air ke desain berdasarkan aliran minimum pada springkler paling jauh dapat dilakukan sebagai berikut:

$$q_{AVAIL} = q_{DESIGN} \times (Q_{AVAIL}/Q_{DESIGN}), \text{ (Persamaan 27)}$$

$$\text{atau } q_{AVAIL} = q_{DESIGN} \times (D_{AVAIL}/D_{DESIGN}) \text{ (Persamaan 28)}$$

di mana:

$q_{AVAIL}$  adalah aliran yang tersedia dari pasokan air pada springkler paling jauh.  $q_{DESIGN}$  adalah aliran berdasarkan desain yang diperlukan pada springkler paling jauh.

$Q_{AVAIL}$  adalah aliran yang tersedia dari pasokan air pada (BOR) *Base Of the Riser*.  $Q_{DESIGN}$  adalah aliran berdasarkan desain yang diperlukan pada (BOR) *Base Of the Riser*.

$D_{AVAIL}$  adalah kepadatan yang tersedia dari pasokan air berdasarkan  $Q_{AVAIL}$ .  $D_{DESIGN}$  adalah kepadatan berdasarkan desain yang diperlukan.

### 2.1.2.4.5.1.3 Konversi Aliran dan Tekanan yang Tersedia Pada (BOR) *Base Of the Riser* dari Pasokan Air ke Desain Berdasarkan Tekanan minimum pada Springkler Paling Jauh

Konversi aliran dan tekanan yang tersedia pada (BOR) *Base Of the Riser* dari pasokan air ke desain berdasarkan tekanan minimum pada springkler paling jauh dapat dilakukan sebagai berikut:

$$p_{AVAIL} = p_{DESIGN} \times ([P_{AVAIL} - P_E]/[P_{DESIGN} - P_E])^{1,08} \text{ (Persamaan 29)}$$

di mana:

$P_{AVAIL}$  adalah tekanan yang tersedia dari pasokan air pada springkler paling jauh.  $P_{DESIGN}$  adalah tekanan berdasarkan desain yang diperlukan pada springkler paling jauh.

$P_{AVAIL}$  adalah tekanan yang tersedia dari pasokan air di (BOR) *Base Of the Riser*.  $P_{DESIGN}$  adalah tekanan berdasarkan desain yang diperlukan di (BOR) *Base Of the Riser*.

$P_E$  adalah tekanan karena ketinggian antara (BOR) *Base Of the Riser* dan springkler tertinggi yang berada di dalam sistem springkler.

### 2.1.2.4.5.2 Menentukan Durasi yang Tersedia dari Pasokan Air

Selain untuk memenuhi ketentuan tekanan dan aliran untuk suatu sistem springkler atau kombinasi beberapa sistem springkler, pasokan air juga harus tersedia selama periode waktu tertentu untuk memastikan kebakaran dapat dipadamkan sebelum pasokan air habis.

Durasi pasokan air ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Durasi} = (\text{Volume Pasokan Air}) / (Q_{AS} + Q_{DEDUCT}) \text{ (Persamaan 30)}$$

di mana:

Durasi adalah periode waktu pasokan air akan tersedia untuk memberikan aliran dan tekanan minimum yang diperlukan, dalam menit.

Volume Pasokan Air adalah kapasitas pasokan air yang tersedia, L (gal).

$Q_{AS}$  adalah kecepatan aliran minimum yang diperlukan untuk semua sistem springkler yang memproteksi area yang terdampak, L/mnt (gpm).

$Q_{DEDUCT}$  adalah kecepatan aliran minimum yang diperlukan untuk semua pengurangan, L/mnt (gpm).

### 3.0 DUKUNGAN UNTUK REKOMENDASI

#### 3.1 Hukum Bernoulli dan Penerapannya

Masalah aliran air di pipa biasanya diselesaikan dengan prosedur berdasarkan hukum Bernoulli, yang menyatakan bahwa “pada aliran yang tenang, tanpa gesekan, jumlah *head* kecepatan, *head* tekanan, dan *head* ketinggian konstan untuk partikel sepanjang perjalanannya.” Hukum ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$(v^2/2g) + (p/w) + Z = H \text{ (Persamaan 31)}$$

di mana:

$v$  adalah kecepatan, m/dtk (ft/dtk).

$g$  adalah akselarsi gravitasi = 9,81 m/sdk<sup>2</sup> (32,2 ft/dtk<sup>2</sup>).  $p$  adalah tekanan, bar (lb/ft<sup>2</sup>).

$w$  adalah bobot air per unit volume = 9.810 N/m<sup>3</sup> (62,4 lb/ft<sup>3</sup>).

$z$  adalah *head* ketinggian (atau *head* potensial), jarak di atas datum yang diasumsikan, m (ft).

$H$  adalah total *head* air, m (ft).

Dalam Persamaan 31 istilah  $(v^2/2g)$  dan  $(p/w)$  masing-masing menyatakan *head* kecepatan dan *head* tekanan, dan didefinisikan sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\text{Head kecepatan} = h_v = v^2/2g, \text{ (Persamaan 32)}$$

dan

$$\text{Head tekanan} = h_p = p/w, \text{ (Persamaan 33)}$$

Kita dapat mengatur ulang Persamaan 32 untuk menghitung kecepatan sebagai berikut:

$$v = (2gh)^{0.5} \text{ (Persamaan 34)}$$

Selain itu, kita dapat mengatur ulang Persamaan 33 untuk menghitung tekanan sebagai berikut:

$$p = (w) \times (h_p) \text{ (Persamaan 35)}$$

Karena total *head* ( $H$ ) adalah konstan, suatu perubahan kecepatan menghasilkan konversi *head* kecepatan menjadi *head* tekanan, atau sebaliknya.

Agar pipa mengalir penuh antara titik A dan B, hukum Bernoulli dapat dimodifikasi untuk memasukkan gesekan sebagai berikut:

$$(v_A^2/2g) + (p_A/w) + Z_A = (v_B^2/2g) + (p_B/w) + Z_B + h_{AB} \text{ (Persamaan 36)}$$

di mana  $h_{AB}$  adalah total *head* dinamis yang hilang antara titik A dan B.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara berbagai faktor dalam pipa yang umum. *Head* ditunjukkan oleh ketinggian naiknya air dalam pipa vertikal.

Besaran dan arah kecepatan ditunjukkan oleh panah. Di setiap lokasi, B, C, D, E, dan F, *head* tekanan,  $h_{pF}$ ,  $h_{pB}$ , dll., adalah ukuran energi potensial air di dalam pipa; *head* kecepatan,  $h_{vF}$ , dll., adalah ukuran energi kinetik air; dan jumlah,  $h_{pF} + h_{vF}$ , dll., total *head*, adalah ukuran total energi air.

Kecepatan aliran di pipa atau pengeluaran melalui suatu lubang dapat dinyatakan dalam kecepatan dan luas penampang aliran sebagai berikut:

$$Q = (A) \times (v) \text{ (Persamaan 37)}$$

di mana:

$Q$  adalah kecepatan aliran, m<sup>3</sup>/dtk (ft<sup>3</sup>/dtk).

$A$  adalah luas penampang aliran, m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>).  $v$  adalah rata-rata kecepatan air, m/dtk (ft/dtk).

Persamaan 37 dapat diatur ulang untuk menghitung kecepatan sebagai berikut:

$$v = Q/A \text{ (Persamaan 38)}$$

Pada Gambar 3,  $Q_F = Q_B$  karena tidak ada air yang keluar dari pipa (setelah distabilkan di pipa vertikal).

Oleh karenanya, dari Persamaan 37,  $(A_F) \times (v_F) = (A_B) \times (v_B)$ , dan karena pipa tidak berubah ukuran,  $A_F = A_B$ , sehingga  $v_F = v_B$ . Ini berarti energi kinetik sama di titik F dan di titik B, dan  $h_{vF} = h_{vB}$ . *Head* tekanan menurun secara linier antara titik F dan B. Perbedaannya,  $h_{pF} - h_{pB}$ , adalah hambatan gesek atau total *head* dinamis yang hilang antara titik F dan B (lihat Persamaan 36).

Tingkat kehilangan per satuan panjang adalah  $(h_{pF} - h_{pB})/L$ , di mana L adalah panjang antara titik F dan B.

Pada Gambar 3, air mengalir keluar pipa di titik B, dan *fitting* antara titik D dan E mengurangi luas penampang. Aliran di titik F adalah jumlah aliran di titik B dan C,  $Q_F = Q_B + Q_C$ . Oleh karena  $Q_B > 0$ ,  $Q_C$  harus kurang dari  $Q_F$ ,  $(A_C \times v_C < A_F \times v_F)$ . Luas penampang di titik F dan C adalah sama, jadi  $v_C < v_F$ . Ini berarti energi kinetik di titik C kurang dari di titik F atau  $h_{vC} < h_{vF}$ . *Head* tekanan,  $h_{pC}$ , ditunjukkan sedikit kurang dari  $h_{pF}$  karena hambatan gesek langsung melalui *fitting*. Aliran keluar pipa di titik B telah secara substansial meningkatkan kecepatan, karena semua energi potensial berhenti karena gesekan atau dikonversi menjadi energi kinetik. Oleh karenanya, total *head* di titik F,  $h_{pF} + h_{vF}$ , sama dengan  $h_{FB} + h_{vB}$ , hambatan gesek antara titik F dan B ditambah *head* kecepatan di titik B. Dari pengamatan eksperimental, hambatan gesek antara titik F dan B karena mengeluarkan air kira-kira setara dengan *head* kecepatan di titik F,  $h_{FB} \approx h_{vF}$ .

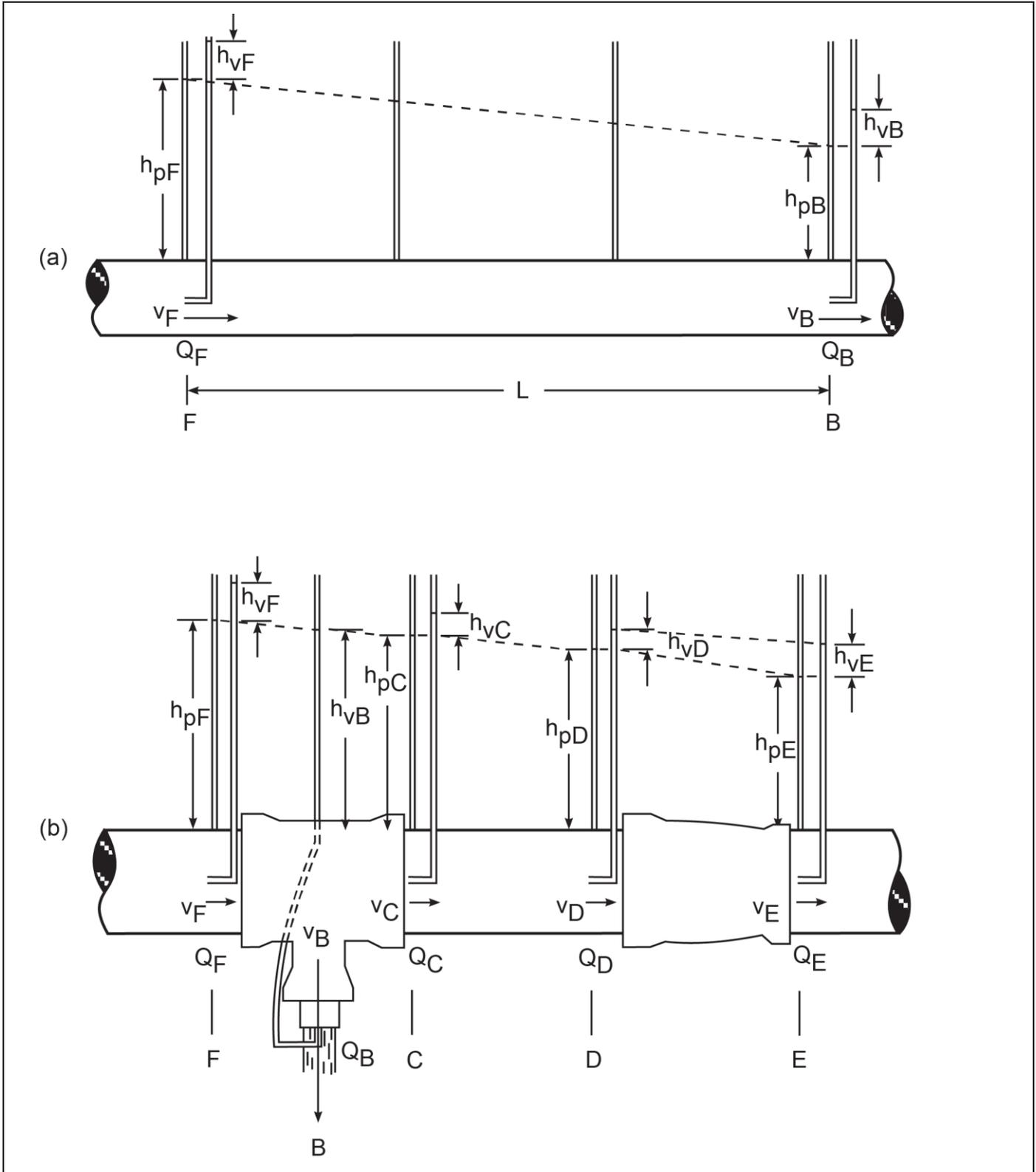
Antara titik C dan D,  $Q_C = Q_D$ ,  $v_C = v_D$ ,  $h_{vC} = h_{vD}$ , dan  $h_{pC}$  sedikit menurun karena gesekan ke  $h_{pD}$ .

Dari titik D ke E,  $Q_D = Q_E$  atau  $(A_E) \times (v_E) = (A_D) \times (v_D)$  (dari Persamaan 37), tetapi  $A_E < A_D$ , jadi  $v_E$  harus lebih besar dari  $v_D$ . Oleh karena kecepatan meningkat, energi kinetik juga meningkat, dan  $h_{vE} > h_{vD}$  menunjukkan hal ini.

Karena hambatan gesek pada pengurang lebih besar daripada di pipa, tingkat penurunan dari  $h_{pD}$  ke  $h_{pE}$  lebih besar daripada dari  $h_{pC}$  ke  $h_{pD}$ .

Rumus, seperti  $Q = (A)v$ , yang tergantung pada kecepatan atau *head* kecepatan, tidak sesuai untuk memecahkan masalah yang melibatkan aliran di pipa tertutup karena peralatan sederhana untuk pengukuran langsung kecepatan atau *head* kecepatan dalam pipa tertutup tidak tersedia. Pengukur tekanan biasa yang diletakkan ke dalam pipa hanya mencatat *head* tekanan, dan karena itu tidak memberikan indikasi *head* kecepatan atau laju aliran.

Meskipun perangkat dan prosedur yang sesuai untuk pengukur pipa langsung telah dikembangkan untuk studi sistem distribusi saluran air, pintu air, dll., metode ini jarang digunakan dalam praktik proteksi kebakaran swasta.



Gbr. 3. Hubungan antara berbagai faktor hidrolis dalam pipa pada umumnya.

**3.2 Rumus Hazen-Williams**

Untuk proteksi kebakaran dan saluran air, rumus aliran pipa yang paling dapat diterima secara luas dikembangkan oleh G. S. Williams dan Allen Hazen. Pada unit proteksi kebakaran yang konvensional, rumus Hazen-Williams adalah:

$$p = (c) (Q/C)^{1,85}/d^{4,87} \text{ (Persamaan 15)}$$

di mana:

p adalah kehilangan per panjang unit, bar/m (psi/ft).

c adalah konstanta = 4,52 (6,06 × 10<sup>5</sup> untuk p dalam bar). Q adalah kecepatan aliran, L/mnt (gpm).

C adalah koefisien pipa Hazen-Williams. d adalah diameter internal pipa, mm (inci).

Rumus lainnya, yang dikembangkan oleh Chezy, Darcy, Weisbach, Fanning, Reynolds, dan yang lain, terkadang digunakan.

Head dikonversikan ke tekanan dengan hubungan: 1 m = 0,098 bar (1 ft = 0,433 psi)

Dalam hubungan ini, terminologi berubah sebagai berikut:

Total <i>head</i>	sesuai dengan	Total tekanan
<i>Head</i> kecepatan	sesuai dengan	Tekanan Kecepatan
<i>Head</i> ketinggian	sesuai dengan	Tekanan Ketinggian
<i>Head</i> tekanan	sesuai dengan	Tekanan Normal

Tabel hambatan gesek di Lembar Data 2-89 memberikan nilai p untuk berbagai kecepatan aliran, koefisien pipa, dan diameter pipa. Faktor untuk mengubah dari koefisien pipa satu ke yang lainnya juga diberikan.

Nilai C yang disarankan untuk berbagai pipa yang digunakan di bawah tanah diberikan di Tabel

3. Tingkat perubahan nilai C dengan bertambahnya usia pipa besi cor tidak berlapis tergantung pada aktivitas korosif air. Indeks Saturasi adalah ukuran yang umumnya digunakan untuk kualitas korosif air yang spesifik dan harus tersedia dari utilitas air di area tersebut. Hal ini memiliki tiga kategori: positif, nol, dan negatif, sesuai dengan perairan korosif ringan, sedang, dan berat.

Pipa proteksi kebakaran, biasanya tanpa aliran, diperkirakan akan memburuk lebih cepat daripada pipa yang mengalami pengaliran terus-menerus atau intermiten. Pipa berlapis semen, berlapis enamel bitumastik, atau semen asbes relatif halus dengan sedikit atau tanpa reduksi dalam daya dukung selama periode waktu yang wajar.

Pipa tanpa dilapisi baja terpapar oleh air selama berbagai periode waktu memiliki nilai C dengan rentang yang luas. Untuk memungkinkan penurunan kualitas dini yang cepat dalam kondisi lapangan gunakan nilai C Hazen- Williams sebesar 120 untuk sistem springkler pipa basah serta sistem springkler pipa kering yang dilengkapi dengan pipa galvanis dan nilai C Hazen-Williams sebesar 100 untuk sistem springkler yang dilengkapi dengan pipa springkler jenis baja hitam.

**3.3 Hilang Tekanan Pada *Fiting***

Pada pipa proteksi kebakaran atau air publik yang umum, kehilangan yang terjadi karena perubahan arah aliran dan perubahan di kecepatan disebut "kehilangan karena *fiting*". Kehilangan tersebut proporsional dengan *head* kecepatan ( $v^2/2g$ ) dan dapat disamakan dengan kehilangan dalam panjang pipa lurus. Tabel 12 (12a) memberikan panjang pipa yang setara untuk berbagai *fiting*.

Pada komputasi pipa bawah tanah, hilang *fiting* umumnya merupakan sebagian kecil dari total kehilangan dan biasanya tidak dipertimbangkan kecuali perangkat tertentu, seperti pencegah aliran balik yang dapat menyebabkan kehilangan setidaknya 0,34 bar (5 psi) di atasnya, telah dipasang. Pada komputasi sistem springkler, kehilangan *fiting* umumnya dipertimbangkan.

Percobaan telah menunjukkan bahwa hilang tekanan karena *fitting* terutama terjadi di hilir *fitting* dan melibatkan kavitasi dan turbulensi. Oleh karenanya, tee mengalami hilang tekanan yang lebih besar dibandingkan sambungan siku dengan jari-jari pendek, yang mengalami hilang tekanan yang lebih besar dibandingkan sambungan siku dengan jari-jari panjang, dll.

### 3.4 Pengeluaran dari Nozel

Dari Persamaan 32 dan 37, dapat diketahui bahwa:

$$Q = (A) \times [(2) \times (g) \times (h_v)]^{0.5} \text{ (Persamaan 39)}$$

Pada pengeluaran jet dari suatu nozel, semua *head* yang tersedia (*head* kecepatan ditambah *head* takanan) dikonversikan ke *head* kecepatan, yang dapat diukur dengan pengukur Pitot. Ketika *head* kecepatan dan diameter nozel diketahui, pengeluaran teoritis dapat dihitung dari Persamaan 39.

### 3.5 Koefisien Pengeluaran

Pengeluaran aktual kurang dari yang dikeluarkan yang dihitung karena kecepatannya tidak sama dalam seluruh bagian aliran. Oleh karenanya, suatu faktor koreksi, atau koefisien pengeluaran, diperlukan untuk menggunakan Persamaan 39.

Sehingga, Persamaan 39 dimodifikasi untuk menyertakan suatu faktor koreksi, atau koefisien pengeluaran, sebagai berikut:

$$Q = (c) \times (A) \times [(2) \times (g) \times (h_v)]^{0.5} \text{ (Persamaan 40)}$$

di mana *c* adalah koefisien pengeluaran. Tabel 4 memberikan koefisien pengeluaran pada umumnya.

Koefisien pengeluaran yang digunakan dalam penghitungan aliran dari hidran tergantung pada karakter outlet hidran. Gambar 4 menunjukkan tiga jenis umum outlet hidran.

Hidran dengan pelat lubang atau ujung katup tidak termasuk dalam kategori di atas. Gunakan slang dengan nozel untuk menentukan aliran.

Dalam unit proteksi kebakaran yang mudah, Persamaan 40 dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$Q = (a) \times (c) \times (d^2) \times (P_v)^{0.5} \text{ (Persamaan 1)}$$

di mana:

*Q* adalah laju aliran, L/min (gpm).

*a* adalah konstanta = 29,8 (0,666 untuk *P<sub>v</sub>* dalam bar). *c* adalah koefisien pengeluaran.

*d* adalah diameter lubang, mm (inci).

*P<sub>v</sub>* adalah tekanan kecepatan atau tekanan Pitot, bar (psi).

### 3.6 Pengeluaran Teoritis

Tabel 6 hingga 11 memberikan pengeluaran teoritis dalam L/mnt (gpm), berdasarkan Persamaan 1, untuk berbagai diameter lubang dan tekanan kecepatan (Pitot) ketika *c* = 1,00. Untuk mendapatkan pengeluaran aktual, temukan pengeluaran teoritis yang sesuai untuk mengetahui *P<sub>v</sub>* dan *d*, dan kalikan dengan koefisien yang tepat dari Tabel 4.

### 3.7 Faktor K Nozel

Persamaan 1 juga dapat digunakan dalam bentuk:

$$Q = (K) \times (P_v)^{0.5} \text{ (Persamaan 41)}$$

di mana:

$$K = (a) \times (c) \times (d^2) \text{ (Persamaan 42)}$$

*K* adalah konstanta teoritis untuk lubang tertentu. Jika *K* nozel diketahui dan *P<sub>v</sub>* diukur, pengeluaran dalam L/mnt (gpm) ditemukan dari Persamaan 41. Nilai nominal *K* untuk berbagai nozel diberikan di Tabel 5.

K suatu springkler dihitung dari suatu variasi Persamaan 41 sebagai berikut:

$$Q = (K) \times (P_N)^{0,5} \text{ (Persamaan 43)}$$

di mana  $P_N$  diukur di hulu dari springkler dalam suatu pipa atau reservoir.

Ketika  $P_N$  diukur dalam suatu reservoir,  $P_V$  dasarnya adalah nol, jadi kita menggunakan  $P_N = P_t$  dan menggunakan:

$$Q = (K) \times (P_t)^{0,5} \text{ (Persamaan 44)}$$

### 3.1.8 Pengeluaran Springkler dan Aliran Pipa yang Dikombinasikan

Pengeluaran dari springkler tunggal dihitung dari Persamaan 7 (atau 44). Aliran di suatu pipa tersedia dari Persamaan 15 ( $p = (c/d^{4,87}) \times (Q/C)^{1,85}$ ) di mana kita menemukan  $Q$ . Untuk pipa potongan tertentu,  $c$ ,  $C$  dan  $d$  adalah konstanta, jadi kita dapat menemukan  $Q$  untuk mendapatkan:

$$Q = (K) \times (p^{0,54}) \text{ (Persamaan 44)}$$

di mana:

$$K = (C) \times (d^{2,63}) / (c^{0,54}) \text{ juga konstanta (Persamaan 45)}$$

Jika beberapa springkler beroperasi di sistem ketinggian konstan, perhitungan menggunakan  $p^{0,5}$  dan  $p^{0,54}$ . Suatu grup springkler dengan pipa dengan demikian dapat diwakili oleh  $Q = (K) \times (p^r)$ , di mana  $K$  adalah konstan dan  $0,5 < r < 0,54$ . Penentuan  $r$  dalam rentang ini tidak praktis. Ketika hambatan gesek relatif kecil, sebagaimana dengan pipa besar, saluran cabang pendek, atau grup springkler yang kecil,  $r$  mendekati 0,5. Sebaliknya, ketika hambatan gesek relatif besar,  $r$  mendekati 0,54.

Untuk springkler yang beroperasi dalam jumlah pasti, total tekanan di seluruh sistem springkler pada ketinggian konstan berbanding lurus dengan total tekanan pada suatu titik tertentu. Jika total tekanan di suatu titik berubah dari  $P_{t1}$  ke  $P_{t2}$ , total tekanan di setiap titik lain dengan ketinggian yang sama dikalikan dengan  $P_{t2}/P_{t1}$ .

Dari  $Q = (K) \times (p^r)$ , kita dapatkan  $Q_1 = (K) \times (p_1^r)$  dan  $Q_2 = (K) \times (p_2^r)$  yang menghasilkan  $Q_2/Q_1 = (p_2/p_1)^r$ . Jadi untuk berubah dari  $p_1$  ke  $p_2$ , temukan  $Q_2$  dari:

$$Q_2/Q_1 = (p_2/p_1)^{0,5}, \text{ untuk } r = 0,50 \text{ (Persamaan 46)}$$

atau

$$Q_2/Q_1 = (p_2/p_1)^{0,54}, \text{ untuk } r = 0,54 \text{ (Persamaan 47)}$$

Meskipun secara teknis metode ini berlaku hanya jika springkler berada di ketinggian yang sama, metode ini memadai untuk sistem springkler satu lantai kecuali plafonnya miring.

## 4.0 REFERENSI

### 4.1 FM Global

Lembar Data 2-89, *Tabel Hambatan Gesek Pipa*

Lembar Data 3-26, *Kebutuhan Air Proteksi Kebakaran untuk Properti Non-Area Penyimpanan yang Dilengkapi Springkler*

Lembar Data 8-9, *Proteksi Kelas 1, 2, 3, 4 dan Komoditas Plastik Tabel Hidrolik (P6920)*

*Buku Pedoman Saku untuk Springkler Otomatis (P8807)*

### 4.2 Lainnya

American Society of Mechanical Engineers (ASME). "Friction Factors for Pipe Flow," by Moody, Transactions of the ASME, 1944.

National Fire Protection Association (NFPA). *Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection*. NFPA 15.

### LAMPIRAN A DAFTAR ISTILAH

**Gradien Hidrolik:** Metode pengujian yang mengisolasi setiap lokasi dengan hilang tekanan tinggi yang tidak normal yang menyebabkan hasil rendah. Gradien Hidrolik adalah profil dari tekanan residual. Gradien Hidrolik mengasumsikan laju aliran yang seragam dan pembacaan tekanan residual simultan di berbagai titik di sepanjang pipa. Dalam praktiknya, memindahkan satu pengukur secara progresif dari titik uji ke titik uji sementara aliran uji dipertahankan menghasilkan konsistensi maksimum dalam pengambilan hasil uji tekanan.

**Tekanan Residual:** Tekanan yang diamati pada pegas pegas, hidran tidak mengalir, atau sambungan langsung lainnya ke pipa pasokan selama kondisi aliran uji.

**Tekanan Statis:** Tekanan yang diamati pada springkler pipa tegak, hidran tidak mengalir, atau sambungan langsung lainnya ke pipa pasokan ketika tidak ada aliran uji.

**Titik Efektif:** Lokasi di mana hasil tes aliran air dapat diterapkan. Lokasinya didasarkan pada di mana kolom air statis mulai dari pengukur tekanan residual bertemu dengan kolom air yang mengalir, disesuaikan dengan perbedaan ketinggian.

### LAMPIRAN B RIWAYAT REVISI DOKUMEN

Maret 2010. Lembar data telah ditulis ulang dan diformat ulang. Teks dari versi sebelumnya dari lembar data ini telah digabungkan dengan teks dari Lembar Data 2-8N yang lama, *NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 1996 Edition*.

September 2006. Perubahan kecil pada isi dilakukan untuk revisi ini.

Mei 2006. Lembar Data 3-0 telah diperbarui untuk menghapus referensi apa pun ke Lembar Data 2-76, yang sudah tidak dipakai.

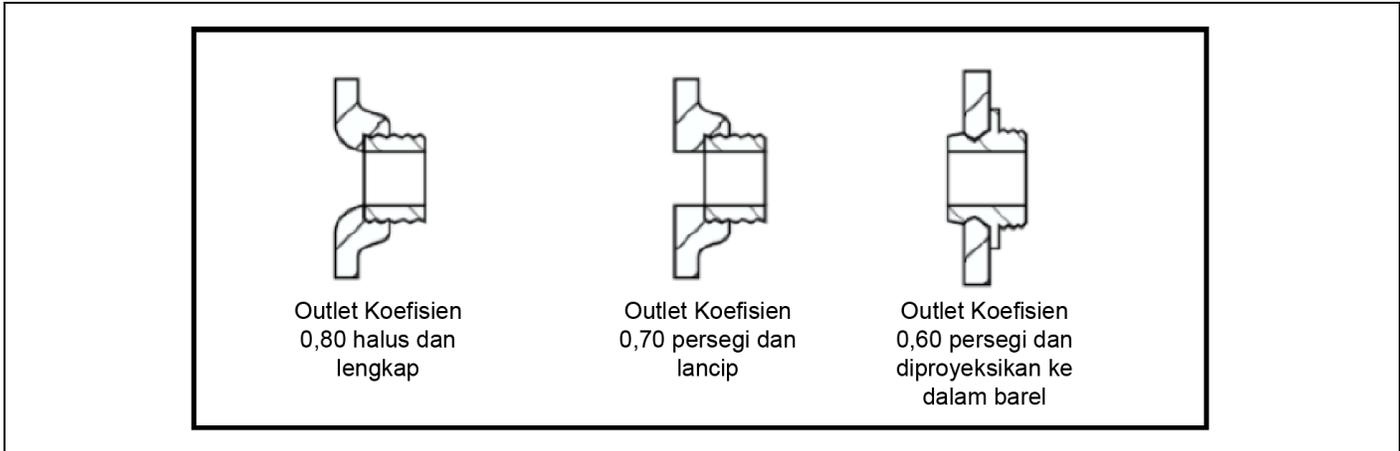
## LAMPIRAN C TABEL HIDROLIK

Tabel 2. Nilai  $F_c$  untuk Nilai C yang Sesuai

Nilai $F_c$ yang Sesuai untuk Nilai C yang Ditetapkan							
Nilai C = 100		Nilai C = 120		Nilai C = 130		Nilai C = 140	
Nilai C	$F_c$	Nilai C	$F_c$	Nilai C	$F_c$	Nilai C	$F_c$
180	0,337	180	0,472	180	0,548	180	0,628
170	0,375	170	0,525	170	0,609	170	0,698
165	0,396	165	0,555	165	0,643	165	0,738
150	0,472	150	0,662	150	0,767	150	0,880
145	0,503	145	0,705	145	0,817	145	0,937
140	0,537	140	0,752	140	0,872	140	1,00
130	0,615	130	0,862	130	1,00	130	1,15
125	0,662	125	0,927	125	1,08	125	1,23
120	0,714	120	1,00	120	1,16	120	1,33
110	0,838	110	1,17	110	1,36	110	1,56
105	0,914	105	1,28	105	1,48	105	1,70
100	1,00	100	1,40	100	1,62	100	1,86
95	1,10	95	1,54	95	1,79	95	2,05
90	1,22	90	1,70	90	1,97	90	2,26
85	1,35	85	1,89	85	2,19	85	2,52
80	1,51	80	2,12	80	2,46	80	2,82
75	1,70	75	2,39	75	2,77	75	3,17
70	1,93	70	2,71	70	3,14	70	3,61
65	2,22	65	3,11	65	3,61	65	4,13
60	2,57	60	3,61	60	4,18	60	4,79
55	3,02	55	4,23	55	4,91	55	5,63
50	3,61	50	5,05	50	5,86	50	6,72

Tabel 3. Koefisien Pipa Hazen-Williams untuk Penggunaan Pipa Bawah Tanah

Jenis Pipa	Sifat Korosif Air		
	Ringan	Moderat	Berat
Besi cor, tidak berlapis			
10 tahun	105	90	75
15 tahun	100	75	60
20 tahun	95	65	55
30 tahun	85	55	45
50 tahun	75	50	40
Besi cor, tidak berlapis, baru		120	
Besi cor, berlapis semen		140	
Besi cor, berlapis enamel bitumastik		140	
Semen asbes		140	
Baja berlapis plastik yang disetujui		145*	
Plastik yang diperkuat serat kaca yang disetujui		160*	
PVC yang disetujui		150*	
<p>*Jika menggunakan rumus Hazen-Williams, gunakan koefisien ini. Jika menggunakan ukuran pipa nominal dan Tabel 1 dari Lembar Data 2-89, gunakan koefisien C buatan berikut dalam diameter internal antara pipa-pipa ini dan pipa baja Schedule 40: Baja berlapis plastik yang disetujui FM - 165; Plastik yang diperkuat serat kaca yang disetujui FM - 180; PVC yang disetujui FM - 165</p>			



Gbr. 4. Koefisien Pengeluaran untuk tiga outlet hidran umum

Tabel 4. Koefisien Pengeluaran Lubang dan Nozel Pada Umumnya

Jenis Lubang	c
Ujung hidran, halus, outlet bulat	0,80*
Ujung hidran, outlet persegi	0,70*
Ujung hidran, outlet sisipan	0,60*
Nozel halus yang memenuhi ketentuan	0,97
Nozel pancaran serentak	0,99
Pipa terbuka, bulat dan halus, panjang setidaknya 10 kali diameter	0,90
Pipa terbuka, bukaan bergerigi atau panjang kurang dari 10 kali diameter	0,80

\*Lihat Gambar 4

Tabel 5. Nilai K untuk Berbagai Lubang Pengeluaran

Jenis Lubang	Ukuran Diameter Nominal		Nilai K Nominal	
	mm	in.	Metrik*	Inggris
Springkler	10	3/8	40	2,8
	12	7/16	60	4,0
	13	1/2	80	5,6
	14	17/32	115	8,0
	16	0,64	160	11,2
Nozel	13	1/2	104	7,2
	22	7/8	320	22,2
	25	1	420	29,1
	27	1-1/16	470	32,8
	29	1-1/8	530	36,8
	30	1-3/16	590	41,0
	32	1-1/4	650	45,4
	33	1-5/16	720	50,1
	35	1-3/8	790	54,9
	37	1-7/16	860	60,0
	38	1-1/2	940	65,4
	40	1-9/16	1020	70,9
	41	1-5/8	1110	76,8
	43	1-11/16	1190	82,8
	44	1-3/4	1280	89,0
	46	1-13/16	1380	95,5
	48	1-7/8	1470	102
49	1-15/16	1570	109	
50	2	1670	116	
Pipa terbuka, bulat dan halus (c = 0,85)	50	2	1460	100
Nozel FM (c = 0,86) (c = 0,87) (c = 0,88) (c = 0,89)	57	2-1/4	1860	130
	57	2-1/4	1890	131
	57	2-1/4	1910	133
	57	2-1/4	1940	134
Ujung hidran (c = 0,80)	60	2-3/8	1940	134
	64	2-1/2	2150	149
	67	2-5/8	2370	164
	100	4	5500	381
	113	4-1/2	6960	484

\*Untuk digunakan dengan tekanan dalam bar

Tabel 6. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) hingga 2,8 bar (40 psi)

Head Kecepatan bar (psi)	Tekanan Kecepatan m/dtk (ft/dtk)	Diameter Lubang, mm (in.)										
		10 (3/8)	13 (1/2)	16 (5/8)	19 (3/4)	22 (7/8)	25 (1)	29 (1 1/8)	32 (1 1/4)	38 (1 1/2)	44 (1 3/4)	50 (2)
0,7 (10)	12 (39)	50,2 (13,3)	89,2 (23,6)	139 (36,8)	201 (53,0)	273 (72,1)	357 (94,2)	451 (119)	557 (147)	803 (212)	1092 (289)	1427 (377)
0,8 (12)	13 (42)	54,9 (14,5)	97,7 (25,8)	153 (40,3)	220 (58,1)	299 (79,0)	391 (103)	495 (131)	611 (161)	879 (232)	1197 (316)	1563 (413)
1,0 (14)	14 (46)	59,3 (15,7)	106 (27,9)	165 (43,6)	237 (62,7)	323 (85,4)	422 (112)	534 (141)	659 (174)	950 (251)	1293 (342)	1688 (446)
1,1 (16)	15 (49)	63,4 (16,8)	113 (29,8)	176 (46,6)	254 (67,1)	345 (91,3)	451 (119)	571 (151)	705 (186)	1015 (268)	1382 (365)	1804 (447)
1,2 (18)	16 (52)	67,3 (17,8)	120 (31,6)	187 (49,4)	269 (71,1)	366 (96,8)	479 (126)	606 (160)	748 (198)	1077 (285)	1466 (387)	1914 (506)
1,4 (20)	17 (55)	70,9 (18,7)	126 (33,3)	197 (52,1)	284 (75,0)	386 (102)	504 (133)	638 (169)	788 (208)	1135 (300)	1545 (408)	2018 (533)
1,5 (22)	17 (57)	74,4 (19,7)	132 (34,9)	207 (54,6)	298 (78,6)	405 (107)	529 (140)	670 (177)	827 (218)	1190 (315)	1620 (428)	2116 (559)
1,7 (24)	18 (60)	77,7 (20,5)	138 (36,5)	216 (57,0)	311 (82,1)	423 (112)	553 (146)	699 (185)	863 (228)	1243 (329)	1692 (447)	2210 (584)
1,8 (26)	19 (62)	80,9 (21,4)	144 (38,0)	225 (59,4)	324 (85,5)	440 (116)	575 (152)	728 (192)	899 (237)	1294 (342)	1761 (465)	2301 (608)
1,9 (28)	20 (65)	83,9 (22,2)	149 (39,4)	233 (61,6)	336 (88,7)	457 (121)	597 (158)	755 (200)	933 (246)	1343 (355)	1828 (483)	2387 (631)
2,1 (30)	20 (67)	86,9 (23,0)	154 (40,8)	241 (63,8)	348 (91,8)	473 (125)	618 (163)	782 (207)	965 (255)	1390 (367)	1892 (500)	2471 (653)
2,2 (32)	21 (69)	89,7 (23,7)	160 (42,1)	249 (65,8)	359 (94,8)	489 (129)	638 (169)	808 (213)	997 (263)	1436 (379)	1954 (516)	2552 (674)
2,3 (34)	22 (71)	92,5 (24,4)	164 (43,4)	257 (67,9)	370 (97,7)	504 (133)	658 (174)	832 (220)	1028 (272)	1480 (391)	2014 (532)	2631 (695)
2,5 (36)	22 (73)	95,2 (25,1)	169 (44,7)	264 (69,8)	381 (101)	518 (137)	677 (179)	857 (226)	1057 (279)	1523 (402)	2073 (548)	2707 (715)
2,6 (38)	23 (75)	97,8 (25,8)	174 (45,9)	272 (71,8)	391 (103)	532 (141)	695 (184)	880 (233)	1086 (287)	1564 (413)	2129 (563)	2781 (753)
2,8 (40)	24 (77)	100 (26,5)	178 (47,1)	279 (73,6)	401 (106)	546 (144)	713 (189)	903 (239)	1115 (295)	1605 (424)	2185 (577)	2854 (754)

Tabel 7. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 2,8 bar (40 psi) dan hingga 4,8 bar (70 psi)

Head Kecepatan bar (psi)	Tekanan Kecepatan m/dtk (ft/dtk)	Diameter Lubang, inci (mm)										
		10 (3/8)	13 (1/2)	16 (5/8)	19 (3/4)	22 (7/8)	25 (1)	29 (1 1/8)	32 (1 1/4)	38 (1 1/2)	44 (1 3/4)	50 (2)
2,9 (42)	24 (79)	103 (27,2)	183 (48,3)	286 (75,4)	411 (109)	560 (148)	731 (193)	925 (244)	1142 (302)	1645 (435)	2239 (591)	2924 (773)
3,0 (44)	25 (81)	105 (27,8)	187 (49,4)	292 (77,2)	421 (111)	573 (151)	748 (198)	947 (250)	1169 (309)	1683 (445)	2291 (605)	2993 (791)
3,2 (46)	27 (83)	108 (28,4)	191 (50,5)	299 (79,0)	430 (114)	586 (155)	765 (202)	968 (256)	1195 (316)	1721 (455)	2343 (619)	3060 (809)
3,3 (48)	27 (84)	110 (29,0)	195 (51,6)	305 (80,6)	440 (116)	598 (158)	782 (207)	989 (261)	1221 (323)	1758 (465)	2393 (632)	3126 (826)
3,5 (50)	27 (86)	112 (29,6)	199 (52,7)	312 (82,3)	449 (119)	611 (161)	798 (211)	1009 (267)	1246 (329)	1795 (474)	2443 (645)	3190 (843)
3,6 (52)	27 (88)	114 (30,2)	203 (53,7)	318 (83,9)	458 (121)	623 (165)	813 (215)	1029 (272)	1271 (336)	1830 (484)	2491 (658)	3253 (860)
3,7 (54)	27 (90)	117 (30,8)	207 (54,7)	324 (85,5)	466 (123)	635 (168)	829 (219)	1049 (277)	1295 (342)	1865 (493)	2538 (671)	3315 (876)
3,9 (56)	28 (91)	119 (31,4)	211 (55,8)	330 (87,1)	475 (125)	646 (171)	844 (223)	1068 (282)	1319 (348)	1899 (502)	2585 (683)	3376 (892)
4,0 (58)	28 (93)	121 (31,9)	215 (56,7)	336 (88,7)	483 (128)	658 (174)	859 (227)	1088 (287)	1342 (355)	1933 (511)	2631 (695)	3436 (908)
4,1 (60)	29 (94)	123 (32,5)	218 (57,7)	341 (90,2)	492 (130)	669 (177)	874 (231)	1106 (292)	1365 (361)	1966 (519)	2676 (707)	3495 (923)
4,3 (62)	29 (96)	125 (33,0)	222 (58,7)	347 (91,7)	500 (132)	680 (180)	888 (235)	1124 (297)	1388 (367)	1998 (528)	2720 (719)	3553 (939)
4,4 (64)	30 (98)	127 (33,5)	226 (59,6)	353 (93,1)	508 (134)	691 (183)	902 (238)	1142 (302)	1410 (373)	2030 (536)	2763 (730)	3609 (954)
4,6 (66)	30 (99)	129 (34,0)	229 (60,5)	358 (94,6)	515 (136)	702 (185)	916 (242)	1160 (306)	1432 (378)	2062 (545)	2806 (741)	3665 (968)
4,7 (68)	31 (101)	131 (34,6)	233 (61,4)	363 (96,0)	523 (138)	712 (188)	930 (246)	1177 (311)	1453 (384)	2093 (553)	2849 (753)	3721 (983)
4,8 (70)	31 (102)	133 (35,1)	236 (62,3)	369 (97,4)	531 (140)	723 (191)	944 (249)	1194 (316)	1475 (390)	2123 (561)	2890 (764)	3775 (997)

*Tabel 8. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 4,8 bar (70 psi) dan hingga 6,9 bar (100 psi)*

Head Kecepatan bar (psi)	Tekanan Kecepatan m/dtk (ft/dtk)	Diameter Lubang, inci (mm)										
		10 (3/8)	13 (1/2)	16 (5/8)	19 (3/4)	22 (7/8)	25 (1)	29 (1 1/8)	32 (1 1/4)	38 (1 1/2)	44 (1 3/4)	50 (2)
5,0 (72)	32 (103)	135 (35,6)	239 (63,2)	374 (98,8)	538 (142)	733 (194)	957 (253)	1211 (320)	1495 (395)	2153 (569)	2931 (774)	3828 (1011)
5,1 (74)	32 (105)	136 (36,0)	243 (64,1)	379 (100)	546 (144)	743 (196)	970 (256)	1228 (324)	1516 (401)	2183 (577)	2972 (785)	3881 (1025)
5,2 (76)	33 (106)	138 (36,5)	246 (64,9)	384 (102)	553 (146)	753 (199)	983 (260)	1245 (329)	1536 (406)	2212 (585)	3011 (796)	3933 (1039)
5,4 (78)	33 (108)	140 (37,0)	249 (65,8)	389 (103)	560 (148)	763 (202)	996 (263)	1261 (333)	1557 (411)	2241 (592)	3051 (806)	3985 (1053)
5,5 (80)	33 (109)	142 (37,5)	252 (66,6)	394 (104)	568 (150)	772 (204)	1009 (267)	1277 (337)	1576 (417)	2270 (600)	3090 (816)	4035 (1066)
5,7 (82)	34 (110)	144 (37,9)	255 (67,5)	399 (105)	575 (152)	782 (207)	1021 (270)	1293 (342)	1596 (422)	2298 (607)	3128 (826)	4086 (1079)
5,8 (84)	34 (112)	145 (38,4)	258 (68,3)	404 (107)	582 (154)	792 (209)	1034 (273)	1309 (346)	1615 (427)	2326 (615)	3166 (836)	4135 (1093)
5,9 (86)	34 (113)	147 (38,9)	262 (69,1)	409 (108)	588 (155)	801 (212)	1046 (276)	1324 (350)	1634 (432)	2354 (622)	3203 (846)	4184 (1105)
6,1 (88)	35 (114)	149 (39,3)	265 (69,9)	413 (109)	595 (157)	810 (214)	1058 (280)	1339 (354)	1653 (437)	2381 (629)	3240 (856)	4232 (1118)
6,2 (90)	35 (116)	151 (39,8)	268 (70,7)	418 (110)	602 (159)	819 (216)	1070 (283)	1354 (358)	1672 (442)	2408 (636)	3277 (866)	4280 (1131)
6,3 (92)	36 (117)	152 (40,2)	271 (71,5)	423 (112)	609 (161)	828 (219)	1082 (286)	1369 (362)	1690 (447)	2434 (643)	3313 (875)	4328 (1143)
6,5 (94)	36 (118)	154 (40,6)	273 (72,2)	427 (113)	615 (163)	837 (221)	1094 (289)	1384 (366)	1709 (451)	2461 (650)	3349 (885)	4374 (1156)
6,6 (96)	36 (119)	155 (41,1)	276 (73,0)	432 (114)	622 (164)	846 (224)	1105 (292)	1399 (370)	1727 (456)	2487 (657)	3385 (894)	4421 (1168)
6,8 (98)	37 (121)	157 (41,5)	279 (73,8)	436 (115)	628 (166)	855 (226)	1117 (295)	1413 (373)	1745 (461)	2512 (664)	3420 (904)	4466 (1180)
6,9 (100)	37 (122)	159 (41,9)	282 (74,5)	441 (116)	635 (168)	864 (228)	1128 (298)	1428 (377)	1762 (466)	2538 (671)	3454 (913)	4512 (1192)

Tabel 9. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar melebihi 50 mm (2 inci) hingga 114 mm (4-1/2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) hingga 2,8 bar (40 psi)

Head Kecepatan bar (psi)	Tekanan Kecepatan m/dtk (ft/dtk)	Diameter Lubang, inci (mm)										
		57 (2 1/4)	60 (2 3/8)	64 (2 1/2)	67 (2 5/8)	70 (2 3/4)	75 (3)	83 (3 1/4)	89 (3 1/2)	95 (3 3/4)	100 (4)	114 (4 1/2)
0,7 (10)	12 (39)	1806 (477)	2012 (532)	2229 (589)	2458 (649)	2697 (713)	3210 (848)	3768 (995)	4369 (1154)	5016 (1325)	5707 (1508)	7223 (1908)
0,8 (12)	13 (42)	1978 (523)	2204 (582)	2442 (645)	2692 (711)	2955 (781)	3517 (929)	4127 (1090)	4786 (1265)	5495 (1452)	6252 (1652)	7912 (2090)
1,0 (14)	14 (46)	2137 (565)	2381 (629)	2638 (697)	2908 (768)	3192 (843)	3798 (1004)	4458 (1178)	5170 (1366)	5935 (1568)	6753 (1784)	8546 (2258)
1,1 (16)	15 (49)	2284 (604)	2545 (672)	2820 (745)	3109 (821)	3412 (902)	4061 (1073)	4766 (1259)	5527 (1460)	6345 (1676)	7219 (1907)	9136 (2414)
1,2 (18)	16 (52)	2423 (640)	2699 (713)	2991 (790)	3297 (871)	3619 (956)	4307 (1138)	5055 (1335)	5862 (1549)	6730 (1778)	7657 (2023)	9690 (2560)
1,4 (20)	17 (55)	2554 (675)	2845 (752)	3153 (833)	3476 (918)	3815 (1008)	4540 (1199)	5328 (1408)	6179 (1633)	7094 (1874)	8071 (2132)	10210 (2699)
1,5 (22)	17 (57)	2678 (708)	2984 (788)	3307 (874)	3646 (963)	4001 (1057)	4761 (1258)	5588 (1476)	6481 (1712)	7540 (1966)	8465 (2236)	10710 (2830)
1,7 (24)	18 (60)	2797 (739)	3117 (824)	3454 (912)	3808 (1006)	4179 (1104)	4973 (1314)	5837 (1542)	6769 (1788)	7771 (2053)	8841 (2336)	11190 (2956)
1,8 (26)	19 (62)	2912 (769)	3244 (857)	3595 (950)	3963 (1047)	4349 (1149)	5176 (1368)	6075 (1605)	7045 (1861)	8088 (2137)	9202 (2431)	11650 (3077)
1,9 (28)	20 (65)	3022 (798)	3367 (890)	3730 (986)	4113 (1087)	4514 (1193)	5372 (1419)	6304 (1666)	7311 (1932)	8393 (2218)	9550 (2523)	12090 (3193)
2,1 (30)	20 (67)	3128 (826)	3485 (921)	3861 (1020)	4257 (1125)	4672 (1234)	5560 (1469)	6525 (1724)	7568 (2000)	8688 (2295)	9885 (2612)	12510 (3305)
2,2 (32)	21 (69)	3230 (853)	3599 (951)	3988 (1054)	4397 (1162)	4825 (1275)	5743 (1517)	6739 (1781)	7816 (2065)	8973 (2371)	10210 (2697)	12920 (3414)
2,3 (34)	22 (71)	3330 (880)	3710 (980)	4111 (1086)	4532 (1197)	4974 (1314)	5919 (1564)	6947 (1835)	8057 (2129)	9249 (2444)	10520 (2780)	13320 (3519)
2,5 (36)	22 (73)	3426 (905)	3817 (1008)	4230 (1118)	4663 (1232)	5118 (1352)	6091 (1609)	7148 (1889)	8290 (2190)	9517 (2514)	10830 (2861)	13700 (3621)
2,6 (38)	23 (75)	3520 (930)	3922 (1036)	4346 (1148)	4791 (1266)	5258 (1389)	6258 (1653)	7344 (1940)	8518 (2250)	9778 (2583)	11120 (2939)	14080 (3720)
2,8 (40)	24 (77)	3611 (954)	4024 (1063)	4459 (1178)	4916 (1299)	5395 (1425)	6420 (1696)	7535 (1991)	8739 (2309)	10030 (2650)	11410 (3016)	14450 (3817)

Tabel 10. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci) dan hingga 114 mm (4-1/2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 2,8 bar (40 psi) dan hingga 4,8 bar (70 psi)

Head Kecepatan bar (psi)	Tekanan Kecepatan m/dtk (ft/dtk)	Diameter Lubang, inci (mm)										
		57 (2 1/4)	60 (2 3/8)	64 (2 1/2)	67 (2 5/8)	70 (2 3/4)	75 (3)	83 (3 1/4)	89 (3 1/2)	95 (3 3/4)	100 (4)	114 (4 1/2)
2,9 (42)	24 (79)	3701 (978)	4123 (1089)	4569 (1207)	5037 (1331)	5528 (1461)	6579 (1738)	7721 (2040)	8955 (2366)	10280 (2716)	11700 (3090)	14800 (3911)
3,0 (44)	25 (81)	3788 (1001)	4220 (1115)	4676 (1235)	5156 (1362)	5658 (1495)	6734 (1779)	7903 (2088)	9165 (2422)	10520 (2780)	11970 (3163)	15150 (4003)
3,2 (46)	25 (83)	3873 (1023)	4315 (1140)	4781 (1263)	5271 (1391)	5785 (1529)	6885 (1819)	8080 (2135)	9371 (2476)	10760 (2842)	12240 (3234)	15490 (4092)
3,3 (48)	26 (84)	3956 (1045)	4408 (1165)	4884 (1290)	5385 (1423)	5910 (1561)	7033 (1858)	8254 (2181)	9573 (2529)	10990 (2903)	12500 (3303)	15820 (4181)
3,5 (50)	26 (86)	4038 (1067)	4499 (1189)	4985 (1317)	5496 (1452)	6032 (1594)	7178 (1897)	8424 (2226)	9770 (2581)	11220 (2963)	12760 (3372)	16150 (4267)
3,5 (50)	27 (88)	4118 (1088)	4588 (1212)	5084 (1343)	5605 (1481)	6151 (1625)	7320 (1934)	8591 (2270)	9964 (2632)	11440 (3022)	13010 (3438)	16470 (4352)
3,7 (54)	27 (90)	4196 (1108)	4675 (1235)	5180 (1369)	5711 (1509)	6268 (1656)	7460 (1971)	8755 (2313)	10150 (2683)	11660 (3080)	13260 (3504)	16780 (4434)
3,9 (56)	28 (91)	4273 (1129)	4761 (1258)	5275 (1394)	5816 (1537)	6383 (1687)	7597 (2007)	8915 (2356)	10340 (2732)	11870 (3136)	13510 (3568)	17090 (4516)
4,0 (58)	28 (93)	4349 (1149)	4845 (1280)	5369 (1418)	5919 (1564)	6496 (1716)	7731 (2043)	9073 (2397)	10520 (2780)	12080 (3192)	13740 (3631)	17390 (4596)
4,1 (60)	29 (94)	4423 (1169)	4928 (1302)	5461 (1443)	6020 (1591)	6607 (1746)	7863 (2078)	9228 (2438)	10700 (2828)	12290 (3246)	13980 (3693)	17690 (4674)
4,3 (62)	29 (96)	4496 (1188)	5010 (1324)	5551 (1467)	6120 (1617)	6717 (1775)	7993 (2112)	9381 (2478)	10880 (2874)	12490 (3300)	14210 (3754)	17980 (4752)
4,4 (64)	30 (98)	4568 (1207)	5090 (1345)	5640 (1490)	6218 (1643)	6824 (1803)	8121 (2146)	9531 (2518)	11050 (2920)	12690 (3353)	14440 (3814)	18270 (4828)
4,6 (66)	30 (99)	4639 (1226)	5169 (1366)	5727 (1513)	6314 (1668)	6930 (1831)	8247 (2179)	9679 (2557)	11230 (2966)	12890 (3405)	14660 (3874)	18560 (4903)
4,7 (68)	31 (101)	4709 (1244)	5246 (1386)	5813 (1536)	6409 (1693)	7034 (1858)	8371 (2212)	9824 (2596)	11390 (3010)	13080 (3456)	14880 (3932)	18830 (4976)
4,8 (70)	31 (102)	4778 (1262)	5323 (1406)	5898 (1558)	6503 (1718)	7137 (1886)	8493 (2244)	9968 (2634)	11560 (3054)	13270 (3506)	15100 (3989)	19110 (5049)

Tabel 11. Pengeluaran Teoritis melalui Lubang Melingkar hingga 50 mm (2 inci) dan hingga 114 mm (4-1/2 inci), L/min (gpm), dengan Koefisien Pengeluaran Sama dengan 1,00 (Lihat Tabel 4); Tekanan Kecepatan (Tekanan yang diperlukan untuk menaikkan putaran sehingga cairan mengalir) melebihi 4,8 bar (70 psi) dan hingga 6,9 bar (100 psi)

Head Kecepatan bar (psi)	Tekanan Kecepatan m/dtk (ft/dtk)	Diameter Lubang, inci (mm)										
		57 (2 1/4)	60 (2 3/8)	64 (2 1/2)	67 (2 5/8)	70 (2 3/4)	75 (3)	83 (3 1/4)	89 (3 1/2)	95 (3 3/4)	100 (4)	114 (4 1/2)
5,0 (72)	32 (103)	4845 (1280)	5399 (1426)	5982 (1580)	6595 (1742)	7238 (1912)	8614 (2276)	10110 (2671)	11720 (3098)	13460 (3556)	15310 (4046)	19380 (5120)
5,1 (74)	32 (105)	4912 (1298)	5473 (1446)	6064 (1602)	6686 (1766)	7338 (1939)	8733 (2307)	10250 (2708)	11890 (3140)	13640 (3605)	15520 (4102)	19650 (5191)
5,2 (76)	33 (106)	4978 (1315)	5547 (1465)	6146 (1624)	6776 (1790)	7436 (1965)	8850 (2338)	10390 (2744)	12050 (3182)	13830 (3653)	15730 (4157)	19910 (5261)
5,4 (78)	33 (108)	5043 (1332)	5619 (1485)	6226 (1645)	6864 (1814)	7535 (1990)	8965 (2369)	10520 (2780)	12200 (3224)	14010 (3701)	15940 (4211)	20170 (5330)
5,5 (80)	33 (109)	5107 (1349)	5691 (1503)	6305 (1666)	6952 (1837)	7629 (2016)	9080 (2399)	10660 (2815)	12360 (3265)	14190 (3748)	16140 (4265)	20430 (5397)
5,7 (82)	34 (110)	5171 (1366)	5761 (1522)	6384 (1687)	7038 (1859)	7724 (2041)	9193 (2429)	10790 (2850)	12510 (3306)	14360 (3795)	16340 (4318)	20680 (5465)
5,8 (84)	34 (112)	5233 (1383)	5831 (1541)	6461 (1707)	7123 (1882)	7818 (2066)	9304 (2458)	10920 (2885)	12660 (3346)	14540 (3841)	16540 (4370)	20930 (5531)
5,9 (86)	34 (113)	5295 (1399)	5900 (1559)	6538 (1727)	7208 (1904)	7910 (2090)	9414 (2487)	11050 (2919)	12810 (3385)	14710 (3886)	16740 (4422)	21180 (5596)
6,1 (88)	35 (114)	5357 (1415)	5968 (1577)	6613 (1747)	7291 (1926)	8002 (2114)	9523 (2516)	11180 (2953)	12960 (3425)	14880 (3931)	16930 (4473)	21430 (5661)
6,2 (90)	35 (116)	5417 (1431)	6036 (1595)	6688 (1767)	7373 (1948)	8092 (2138)	9630 (2544)	11300 (2986)	13110 (3463)	15050 (3976)	17120 (4523)	21670 (5725)
6,3 (92)	36 (117)	5477 (1447)	6102 (1612)	6762 (1786)	7455 (1970)	8182 (2162)	9737 (2573)	11430 (3019)	13250 (3501)	15210 (4020)	17310 (4573)	21910 (5788)
6,5 (94)	36 (118)	5536 (1463)	6168 (1630)	6835 (1806)	7535 (1991)	8270 (2185)	9842 (2600)	11550 (3052)	13400 (3539)	15380 (4063)	17500 (4623)	22140 (5851)
6,6 (96)	36 (119)	5595 (1478)	6234 (1647)	6907 (1825)	7615 (2012)	8358 (2208)	9946 (2628)	11670 (3084)	13540 (3577)	15540 (4106)	17680 (4672)	22380 (5913)
6,8 (98)	37 (121)	5653 (1494)	6298 (1664)	6979 (1844)	7694 (2033)	8444 (2231)	10050 (2655)	11790 (3116)	13680 (3614)	15700 (4149)	17870 (4720)	22610 (5974)
6,9 (100)	37 (122)	5710 (1509)	6362 (1681)	7050 (1863)	7772 (2053)	8530 (2254)	10150 (2682)	11910 (3148)	13820 (3651)	15860 (4191)	18050 (4768)	22840 (6035)

Tabel 12. Tabel Panjang Pipa Setara, ft (C=120)

Ukuran Pipa Nominal, inci	Sambungan Siku Standar dengan Sekrup atau Jalur Tee yang Dikurangi 1/2 (Catatan 1)	Sambungan Siku 45°	Lurus Berflensa 90° (Catatan 2) atau Sambungan Siku Sweep Medium (Catatan 3), atau Tee yang Dikurangi 1/4	Tee Standar atau Cross-Flow Berbelok 90° (Catatan 2 dan 4)	Jari-jari Panjang Sambungan Siku Berflensa 90° (Catatan 2)	Katup Gerbang % Terbuka				Katup Swing/Alarm Searah atau Katup Pipa Kering	Katup Globe Terbuka Sepenuhnya	Katup Kupu-kupu Terbuka Sepenuhnya (Catatan 5)	Katup Sudut
						100	75	50	25				
¾	2	1		4			1	8	35	7	20		7
1	2	1		5			2	10	45	8	25		9
1 ¼	3	1		6			3	13	60	12	34		11
1 ½	4	2	3	8			3	16	75	15	40		14
2	5	2	4	10	3	1	4	20	90	18	50		17
2 ½	6	3	5	12	4	1	5	25	100	23	65		20
3	7	3	6	15	5	1	6	30	125	28	80		25
3 ½	8	3	6	17	5	1	7	35	150	31	90		30
4	10	4	8	20	6	2	8	40	160	33	100	12	35
5	12	5	10	25	8	2	10	50	200	58	130		40
6	14	7	12	30	9	3	12	60	250	67	160	10	50
8	18	9	16	35	13	4	16	80	350	75		12	65
10	22	11	19	50	16	5	19	100	400	92		19	80
12	27	13	22	60	18	6	23	120	500	100		21	100
14		15	26	67	21	7	27	130	600	125		24	120
16		17	30	78	24	8	31	150	700	145		26	135
18		19	34	89	27	9	35	175	750	165		30	150
20		21	38	99	30	10	39	190	800	200		35	160
24		25	45	120	35	12	47	230	1000	220		44	200
30		31	58	145	45	15	60	290	1250	280			250
36		38	70	175	55	18	70	350	1500	330			300

Catatan 1: Mencakup pengurang atau bushing yang dikurangi setengahnya

Catatan 2: Nilai berlaku untuk flensa besi cor, bel dan klep, sambungan mekanis, dan pipa sambungan tekan. Abaikan hambatan gesek pada jalur lurus yang melalui tee  
 Catatan 3: Mencakup pengurang atau bushing yang dikurangi seperempatnya

Catatan 4: Panjang yang setara juga berlaku untuk sambungan siku persegi

Catatan 5: Nilai katup kupu-kupu untuk 4 inci hingga 12 inci berasal dari NFPA 15; dan nilai untuk 14 inci hingga 24 inci dirata-ratakan dan dikonversi ke feet (ft) hambatan yang setara: C=120

Tabel 12(a). Tabel Panjang Pipa Setara, m (C=120)

Ukuran Pipa Nominal, mm	Sambungan Siku Standar dengan Sekrup atau Jalur Tee yang Dikurangi 1/2 (Catatan 1)	Sambungan Siku 45°	Flensa Lurus 90° (Catatan 2) atau Sambungan Siku Sweep Medium (Catatan 3), atau Tee yang Dikurangi 1/4	Tee Standar atau Cross-Flow Berbelok 90° (Catatan 2 dan 4)	Jari-jari Panjang Sambungan Siku Berflensa 90° (Catatan 2)	Katup Gerbang % Terbuka				Katup Swing/Alarm Searah atau Katup Pipa Kering	Katup Globe Terbuka Sepenuhnya	Katup Kupu-kupu Terbuka Sepenuhnya (Catatan 5)	Katup Sudut
						100	75	50	25				
20	0,6	0,3		1,2			0,3	2,4	10,7	2,1	6,1		2,1
25	0,6	0,3		1,5			0,6	3,0	13,7	2,4	7,6		2,7
32	0,9	0,3		1,8			0,9	4,0	18,3	3,7	10,4		3,4
40	1,2	0,6	0,9	2,4			0,9	4,9	22,9	4,6	12,2		4,3
50	1,5	0,6	1,2	3,0	0,9	0,3	1,2	6,1	27,4	5,5	15,2		5,2
65	1,8	0,9	1,5	3,7	1,2	0,3	1,5	7,6	30,5	7,0	19,8		6,1
80	2,1	0,9	1,8	4,6	1,5	0,3	1,8	9,1	38,1	8,5	24,4		7,6
90	2,4	0,9	1,8	5,2	1,5	0,3	2,1	10,7	45,7	9,4	27,4		9,1
100	3,0	1,2	2,4	6,1	1,8	0,6	2,4	12,2	48,8	10,1	30,5	3,7	10,7
125	3,7	1,5	3,0	7,6	2,4	0,6	3,0	13,7	61	17,7	40,0		12,2
150	4,3	2,1	3,7	9,1	2,7	0,9	3,7	18,3	76	20,4	48,8	3,0	15,2
200	5,5	2,7	4,9	10,7	4,0	1,2	4,9	24,4	107	22,9		3,7	19,8
250	6,7	3,4	5,8	15,2	4,9	1,5	5,8	30,5	122	28,0		5,8	24,4
300	8,2	4,0	6,7	18,3	5,5	1,8	7,0	36,6	152	30,1		6,4	30,5
350		4,6	7,9	20,4	6,4	2,1	8,2	39,6	183	38,1		7,3	36,6
400		5,2	9,1	23,8	7,3	2,4	9,4	45,7	213	44,2		7,9	41,1
450		5,8	10,3	27,1	8,2	2,7	10,7	53	229	50		9,1	45,7
500		6,4	11,6	30,2	9,1	3,0	11,9	58	244	61		10,7	48,8
600		7,6	13,7	36,6	10,7	3,7	14,3	70	305	67		13,4	61
750		9,4	17,7	44,2	13,7	4,6	18,3	88	381	85			76
900		11,6	21,3	53	16,8	5,5	21,3	107	457	100			91

Catatan 1: Mencakup pengurang atau *bushing* yang dikurangi setengahnya

Catatan 2: Nilai berlaku untuk flensa besi cor, bel dan klep, sambungan mekanis, dan pipa sambungan tekan. Abaikan hambatan gesek pada jalur lurus yang melalui tee Catatan 3: Mencakup pengurang atau *bushing* yang dikurangi seperempatnya

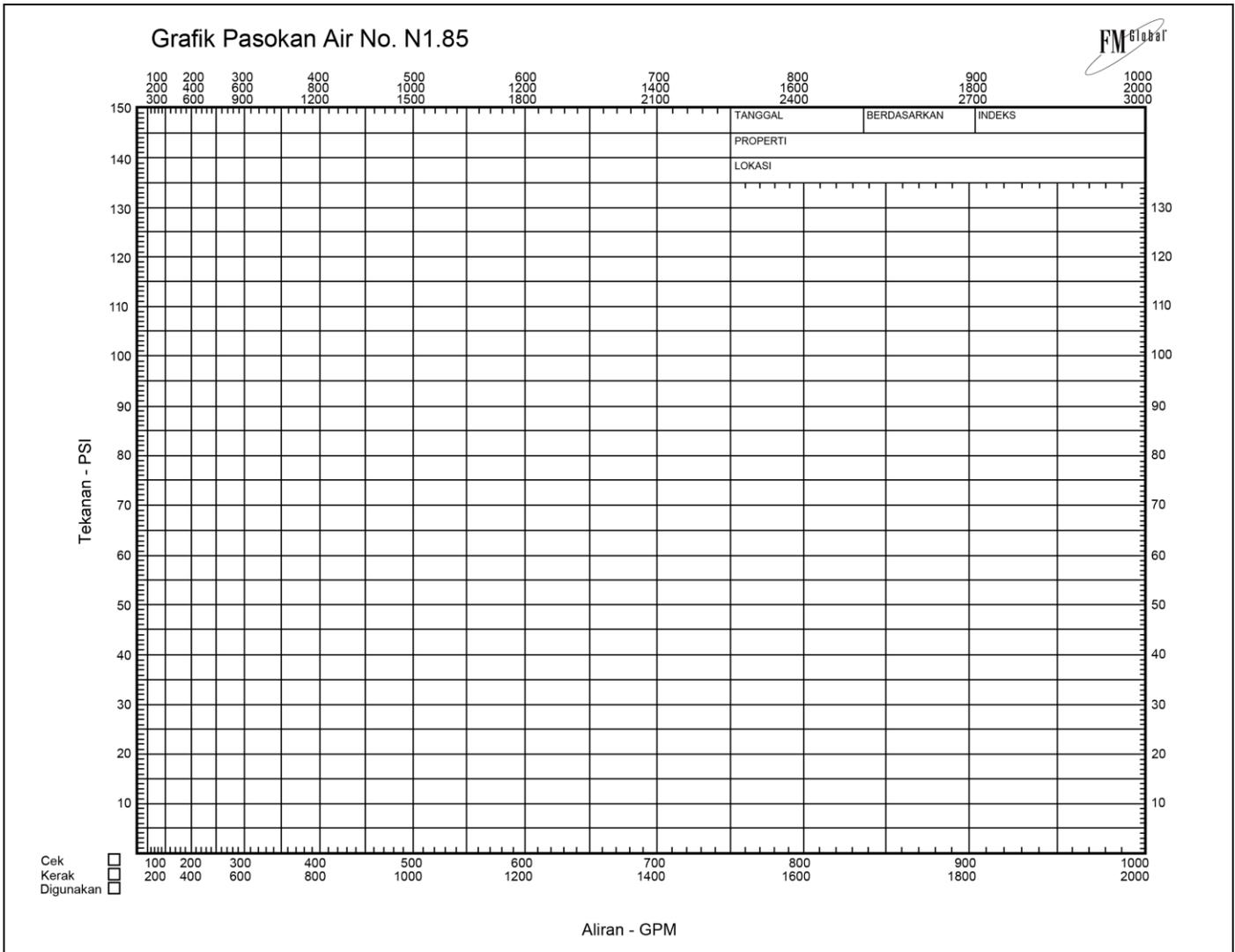
Catatan 4: Panjang yang setara juga berlaku untuk sambungan siku persegi

Catatan 5: Nilai katup kupu-kupu untuk 100 mm hingga 300 mm berasal dari NFPA 15; dan nilai untuk 350 mm hingga 600 mm dirata-ratakan dan dikonversi ke feet (ft) hambatan yang setara: C=120

Tabel 13. Pengganda Penyesuaian untuk Tabel 12 dan 12(a)

Nilai Koefisien Hazen-Williams	Pengganda Penyesuaian	Nilai Koefisien Hazen-Williams	Pengganda Penyesuaian
150	1,51	80	0,472
140	1,33	70	0,369
130	1,16	60	0,277
120	1,00	50	0,198
110	0,851	40	0,131
100	0,714	30	0,077
90	0,587	20	0,036

LAMPIRAN D FORMULIR



Gbr. 5. Grafik Pasokan Air N<sup>1.85</sup>

## PERHITUNGAN HIDRAULIK



UNTUK:	LEMBAR:	NOMOR INDEKS:
	OLEH:	TANGGAL:

SPRINKLER or NOZZLE I.D. & LOCATION	FLOW	PIPE SIZE	PIPE FITTINGS & DEVICES	EQUIV. PIPE LENGTH	FRIC. LOSS / UNIT LENGTH "C"	PRESSURE SUMMARY	NORMAL PRESSURE	CATATAN:
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		
	q			L <sub>gth</sub>		P <sub>t</sub>	P <sub>t</sub>	
	Q		F <sub>fr</sub>	P <sub>e</sub>		P <sub>v</sub>		
			T <sub>tot</sub>	P <sub>f</sub>		P <sub>n</sub>		

Additional Information:

EMF 295 (2-10) ENGINEERING - FRONT

Gbr. 6. Formulir 295 Perhitungan Hidrolik (depan)



**PERHITUNGAN HIDRAULIK**

**ABBREVIATIONS AND SYMBOLS:**

The following standard abbreviations and symbols should be used on the calculation form.

<b>Symbol or Abbreviation</b>	<b>Item</b>	
P	Pressure in p.s.i.	
gpm	Flow in Gallons per minute	
q	Flow increment in gpm to be added at a specific location	
Q	Summation of flow in gpm at a specific location	
PI	Total Pressure in p.s.i. at a point in the pipe	
Pv	Velocity pressure in p.s.i. at a point in the pipe	$Pv = \left( \frac{Q^2}{888 d^4} \right)$
Pn	Normal pressure at a point in the pipe in p.s.i. Normal pressure is equal to the total pressure minus the velocity pressure (Pn = PI-Pv)	
PL	Pressure lost due to friction between indicated points. This can be a plus or a minus value. Where minus, the (-) sign shall be used, where plus, no sign need be indicated.	
E	90° El	
EE	45° El	
C	Cross	
T	Tee - Flow turned 90°	
GV	Gate Valve	
CV	Check Valve	
SI	Strainer	
p.s.i.	Pounds per square inch	
d	Actual internal pipe diameter in inches	

NOTE: For value of C= Multiply Figures in Table by .714  
Loss in pipe fittings and valves in equivalent feet to straight pipe use with Williams & Hazen C-100 ONLY

Pipe Size - Inches	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	5"	6"	8"	10"	12"
Standard El	2	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18	22	27
Medium Turn El	2	2	3	3	4	5	6	6	8	10	12	16	19	22
Long Turn El	1	2	2	2	3	4	5	5	6	8	9	13	16	18
45° El	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	7	8	11	13
Tee, Flow thru One of Both Outlets	4	5	6	8	10	12	15	17	20	26	30	35	50	60
Gate Valve	-	-	-	-	1	1	1	1	2	2	3	4	5	8
Check Valve, Alarm Check, DPV	7	8	12	15	18	23	28	31	33	58	67	75	92	100
Cross	4	5	6	8	10	12	15	17	20	26	30	35	50	60

ENR 265 (1088) ENGINEERING

Gbr. 7. Formulir 295 Perhitungan Hidrolik (belakang)

**Penafian:** [Lembar Data (atau jenis dokumen lainnya)] telah diterjemahkan dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia. FM Global tidak membuat pernyataan, garansi atau jaminan, baik tersurat maupun tersirat, mengenai keakuratan atau kelengkapan terjemahan ini. Dalam hal terjadi pertentangan, ketidaksepakatan atau ketidakjelasan antara versi Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia, dokumen yang dianggap sebagai sumber yang sah dan berlaku adalah versi Bahasa Inggris.

Dokumen terjemahan dalam bahasa Indonesia ini telah diperiksa dan disetujui dengan cara konsensus oleh anggota Panitia Teknik dari Yayasan Pemadam Kebakaran dan Penyelamat Indonesia (Indonesian Fire & Rescue Foundation / IFRF)