

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Data Perancangan

Pengumpulan data perlu dilakukan pertama kali sebelum melakukan perancangan *sprinkler*. Selain itu data perancangan diperlukan untuk mengetahui kelas bahaya kebakaran dari lokasi. Data yang diperlukan sebelum memulai perancangan *sprinkler* adalah sebagai berikut:

3.1.1 Denah atau Gambar Lokasi

Denah atau gambar lokasi diperlukan untuk mengetahui kelas kebakaran berdasarkan jenis hunian atau fungsional ruang. Selain itu dimensi dari denah seperti panjang dan lebar digunakan untuk mengetahui luasan lahan yang akan diberi perlindungan oleh sistem *sprinkler* yang akan dirancang.

3.1.2 Elevasi Bangunan

Elevasi bangunan diperlukan untuk mendapatkan ketinggian dari sumber penyediaan air yang digunakan, dan ketinggian masing-masing komponen (kepala *sprinkler*, *gate valve*, *tee*, *knee*, dll) dalam sistem pemadam model *sprinkler* yang akan direncanakan

3.1.3 Sumber Penyediaan Air

Sumber penyediaan air diperlukan untuk mendapatkan kapasitas air maupun tekanan air yang dapat diberikan oleh sumber penyediaan air. Biasanya sumber penyediaan air dapat berupa tangki gravitasi (*roof tank*), kolam bawah tanah (*groundtank*), dan tandon air. Kebanyakan bentuk dari penyediaan air berbentuk persegi, persegi panjang atau lingkaran dengan kedalaman tertentu, maka untuk mendapatkan kapasitas air yang tersedia dan ketersediaan tekanan dari sumber penyediaan air sebagai berikut:

$$Vol. = p \times l \times t \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

keterangan:

p = panjang (m)
l = lebar (m)
t = tinggi/kedalaman (m)

setelah itu tekanan yang disediakan oleh sumber penyediaan air dapat diperoleh dengan persamaan:

$$P = \rho . g . h \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

keterangan,

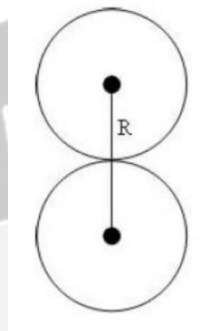
ρ = massa jenis zat (kg/m^3)
g = percepatan gravitasi (m/s^2)
h = tinggi/kedalaman (m)

3.2 Perancangan Skematis

Perancangan skematis dilakukan untuk menentukan sistem jaringan yang digunakan, peletakan sprinkler serta mendapatkan jumlah sprinkler berdasarkan

acuan standar yang berlaku yaitu SNI 03-3989-2000 sesuai klasifikasi bahaya kebakaran yang direncanakan. Maka hal-hal yang akan dirancang meliputi:

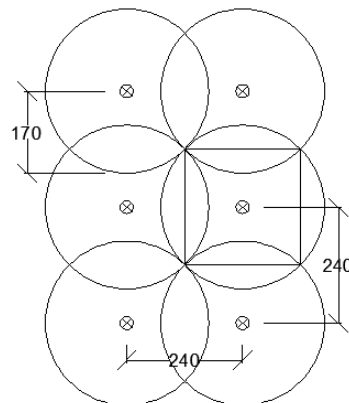
3.2.1 Luas Area Perlindungan



Gambar 3.1 Jari-jari jangkauan tiap *sprinkler*

Dalam perencanaan haruslah menggunakan luas optimum jangkauan *sprinkler* sehingga seluruh ruangan dapat terlindungi, sehingga:

Perlindungan sistem bahaya ringan (basement)



Gambar 3.2 Jarak Antar Kepala *Sprinkler*

Luas perlindungan 1 sprinkler yaitu 9 m^2

Maka didapat:

$$\begin{aligned}\pi.r^2 &= 9 \text{ m}^2 \\ r^2 &= 2,86 \\ r &= 1,7 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka luas perlindungan optimal 1 *sprinkler* adalah:

$$\begin{aligned}&= (\text{jarak antar kepala sprinkler})^2 \\ &= (2,4)^2 = 5,76 \text{ m}^2\end{aligned}$$

3.2.2 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan dari gedung atau *site* yang akan direncanakan pemasangan pemadam model *sprinkler*, terdapat lima (5) macam jenis. Lima macam *sistem* perpipaan tersebut adalah:

1. Sistem Pipa Basah (*Wet Pipe System*).
2. Sistem Pipa Kering (*Dry Pipe System*).
3. Alternatif Sistem Pipa Basah dan Pipa Kering (*Combined Dry Pipe-Preaction*).
4. Sistem Pipa Kering Pada Ujung (*Deluge System*).
5. Tindakan Awal (*Pre-Action System*).

Dari lima (5) model perpipaan diatas dipilih salah satu yang paling sesuai dengan kondisi *site* atau lokasi perancangan.

3.2.3 Jaringan Pipa Sprinkler

Jaringan pipa *sprinkler* perlu ditentukan berdasarkan kondisi *site* atau lokasi, disesuaikan agar aliran dapat terdistribusikan secara merata. Jaringan pipa *sprinkler* dibagi menjadi 2 susunan dan 2 model pemasukan. Berikut penjelasan dan contohnya:

1. Susunan cabang ganda

Susunan sambungan dimana pipa cabang disambungkan pada dua sisi pipa pembagi

2. Susunan cabang tunggal

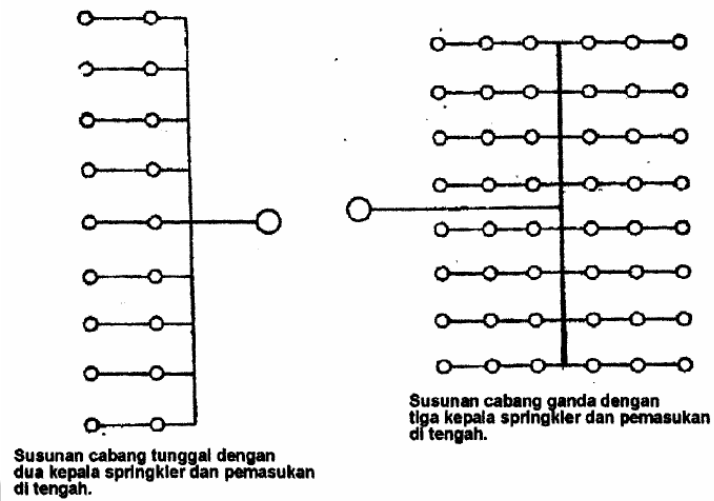
Susunan dimana pipa cabang disambungkan pada satu sisi pipa pembagi

3. Susunan pemasukan diujung

Susunan sambungan dimana pipa cabang disambungkan ke satu sisi pipa pembagi

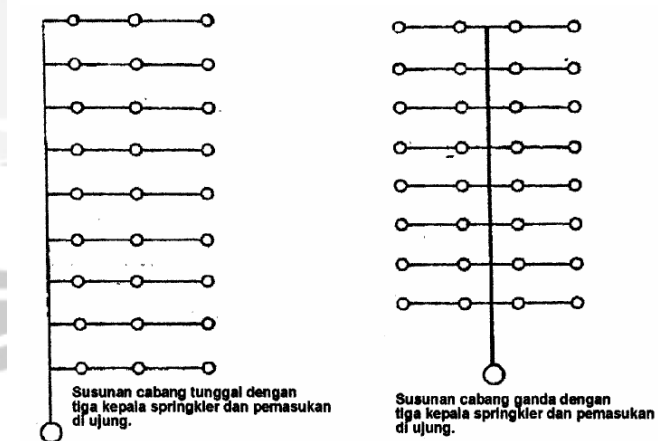
4. Susunan pemasukan di tengah

Susunan penyambungan dimana pipa pembagi mendapat aliran dari tengah



(sumber: SNI 03-3989-2000)

Gambar 3.3 Susunan pemasukan di tengah



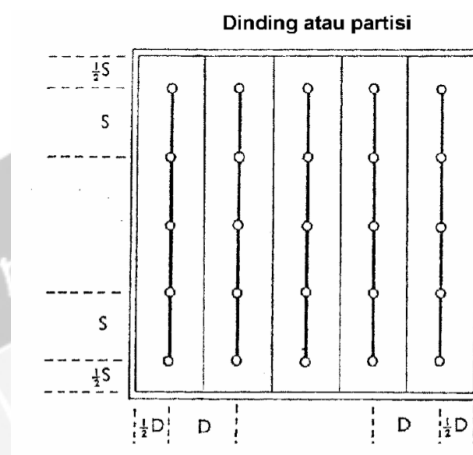
(sumber: SNI 03-3989-2000)

Gambar 3.4 Susunan pemasukan di ujung.

3.2.4 Peletakan Dan Jumlah Kepala Sprinkler

Peletakan kepala *sprinkler* disesuaikan dengan kondisi ruang atau *site* dengan mengacu kepada acuan yaitu SNI 03-3989-2000 seperti jarak terhadap

gedung, jarak antar kepala *sprinkler*; yang telah diatur dan disesuaikan berdasarkan klasifikasi bahaya kebakaran yang akan direncanakan.



(sumber: SNI 03-3989-2000)

Gambar 3.5 Peletakan *sprinkler*

Dimana:

S = perencanaan penempatan kepala *sprinkler* pada pipa cabang.
D = jarak antara deretan kepala *sprinkler*

Nilai S dan D :

- Bahaya kebakaran ringan, maksimum 4,6 m.
- Bahaya kebakaran sedang, maksimum 4,0 m.
- Bahaya kebakaran berat, maksimum 3,7 m.

Kecuali pada penempatan secara bahaya kebakaran sedang khusus diijinkan

S x D = Bahaya kebakaran ringan < 21m²
Bahaya kebakaran sedang < 12m²
Bahaya kebakaran berat < 9m²

Jumlah kepala *sprinkler* didapatkan dengan persamaan:

$$\text{Jumlah Sprinkler} = \frac{\text{Luas Bangunan}}{\text{Luas perlindungan sprinkler}}$$

$$\frac{PxL}{\pi R^2} \dots\dots\dots(3.3)$$

keterangan:

R= Jari-jari *sprinkler* (1,85 m)

P = Panjang ruangan (m)

L = Lebar ruangan (m)

3.3 **Perancangan Hidrolik**

Perancangan hidrolik dilakukan untuk mengetahui perilaku hidrolika pada sistem yang telah dirancang pada perancangan skematis sesuai dengan klasifikasi bahaya kebakaran.

3.3.1 **Spesifikasi Pipa**

Jenis pipa yang biasanya digunakan untuk mengelontorkan air untuk pemadam model *sprinkler* adalah pipa dengan jenis *steel* yang tersedia pada *software pipe flow expert*. Pipa jenis *steel* memiliki beberapa tipe yang ditentukan berdasarkan kekuatan pipa menahan tekanan, kekasaran pipa, ketersediaan diameter pipa dan tebal dari pipa itu sendiri. Berikut adalah spesifikasi jenis pipa *steel*:

Tabel 3.1 Spesifikasi Jenis Pipa

Material	Schedule/Class	Internal Roughness (mm)	Pipe Size Range (mm)
Steel (ANSI)	Sch. 10	0,045999	350 -900
Steel (ANSI)	Sch. 20	0,045999	200 -1050
Steel (ANSI)	Sch. 30	0,045999	200 - 1050
Steel (ANSI)	Sch. 40	0,045999	6 - 1050
Steel (ANSI)	Sch. 60	0,045999	200 - 600
Steel (ANSI)	Sch. 80	0,045999	6 - 600
Steel (ANSI)	Sch. 100	0,045999	200 - 600
Steel (ANSI)	Sch. 120	0,045999	100 - 600
Steel (ANSI)	Sch. 140	0,045999	200 -600
Steel (ANSI)	Sch. 160	0,045999	15 -600

(Sumber: www.pipeflowexpert.com)

pada masing-masing material memiliki spesifikasi dari diameter dalam pipa dan tebal dinding pipa per masing-masing ukuran diameter yang tersedia dalam kolom *pipe size range*. Berikut adalah tabel contoh salah satu material:

Tabel 3.2 Data Pipa contoh *Steel (ANSI) Sch.40*

Ukuran mm	Diameter Dalam mm	Tebal Dinding mm
6	6,833	1,727
8	9,246	2,235
10	12,522	2,311
15	15,799	2,769
20	20,93	2,87
25	26,645	3,378
32	35,052	3,556
40	40,894	3,683
50	52,502	3,912
65	62,713	5,156
80	77,927	5,486
90	90,119	5,74
100	102,26	6,02
125	128,194	6,553
150	154,051	7,112
200	202,717	8,179

(Sumber: www.pipeflowexpert.com)

Pipa yang digunakan pada sistem yang dirancang disesuaikan berdasarkan acuan SNI 03-3989-2000 adalah:

Pipa distribusi utama	: 150mm (6 inchi)
Pipa distribusi utama ke jaringan	: 100mm (4 inchi)
Pipa pembagi	: 50mm (2 inchi)
Pipa cabang	: 25mm (1 inchi)

3.3.2 Air Penggelontor

Air yang digunakan untuk penggelontoran pada sprinkler adalah air pada umumnya dengan sifat-sifat seperti gambar di bawah ini.

Tabel 3.3 Tabel Katalog *Fluid Data (Pipe Flow Expert)*

Name	Formula	Temperature °C	Pressure bar.g	Density kg/m ³	Viscosity Centipoise
Water	H2O	30,000	0,000	998,000	0,801

3.3.3 Kebutuhan Debit Minimum

Debit minimum perlu dicari untuk mengetahui berapa nilai minimum debit yang perlu terpenuhi untuk masing-masing titik kepala *sprinkler* yang akan direncanakan. Nilai debit minimum diperoleh dari perbandingan 2 persamaan di bawah ini:

$$Q = A \times V \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

keterangan: Q = debit aliran
A = Luas Perlindungan
V = Kepadatan Pancaran (SNI 03-3989-2000)

$$Q = k \cdot \sqrt{P} \quad \text{.....(3.5)}$$

keterangan:

Q = debit aliran (liter/menit)

k = Konstanta koefisiensi *Sprinkler*

P = Tekanan minimum *Sprinkler* 0,4921 kg/cm² atau 7psi
(Lampiran 4)

Berdasarkan hasil dari kedua persamaan diatas, maka diambil hasil debit dengan nilai tertinggi sebagai nilai minimum debit yang harus terpenuhi masing-masing titik *sprinkler*.

3.3.4 **Component Pressure Loss**

Component Pressure Loss didapat berdasarkan persamaan 3.5, hubungan antara debit dengan tekanan (*pressure*) yaitu:

$$Q = k \cdot \sqrt{P}$$

Untuk mencari kebutuhan dari tekanan (*pressure required*) maka,

$$P = \left(\frac{Q}{k}\right)^2 \quad \text{.....(3.6)}$$

keterangan:

Q = debit aliran (liter/menit)

k = Konstanta koefisiensi *Sprinkler*

P = Tekanan *Required Sprinkler*

3.3.5 Simulasi Hidrolik Jaringan

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *Software Pipe Flow Expert*. Sumber air berasal dari *roof tank* yang terdapat pada gedung, dengan terdapat 4 jaringan berdasarkan perancangan skematis. Hasil yang didapatkan adalah hasil keluaran debit tiap *sprinkler* pada jaringan, *pressure* dan *headloss* yang terjadi (kondisi seluruh kepala *sprinkler* pada jaringan terbuka).

Perhitungan atau analisis yang digunakan pada software ini menggunakan *Bernoulli Equation*, *Darcy-Weisbach Calculation method with ColeBrook-White Friction Factor equations*,

Bernoulli equation

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Delta h_{ls} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

keterangan:

- v = kecepatan aliran (m/s)
- p = tekanan (bar)
- ρ = rapat massa aliran
- g = nilai gravitasi
- z = head statis (m)
- Δh_{ls} = total head losses

Darcy-Weisbach Calculation Method

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

keterangan:

- h_L = headloss (m.hd)
- v = kecepatan aliran (m/s)

L = panjang pipa (m)
 D = Diameter saluran (m²)
 g = nilai gravitasi
 f = *friction factor*

Calculation Method for minor losses

Minor losses yang terjadi karena adanya aksesoris perpipaan seperti *fittings* (sambungan knee, elbow, tee) dan component lainnya seperti *gate valve*.

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

hl = Headlosses (m.hd)
 v = kecepatan aliran
 K = loss koefisien
 g = nilai gravitasi

Colebrook-White Friction Factor equations

Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai dari *friction factor*

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re_d} + \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} \right)^{1,11} \right] \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

keterangan:

f = *friction factor*
 Re_d = bilangan Reynolds
 ε = kekasaran relative
 d = diameter pipa

Pipa merupakan pipa cabang, maka perhitungan harus memenuhi:

1. Persamaan kontinuitas, sebagai contoh:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

atau

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad \text{.....(3.12)}$$

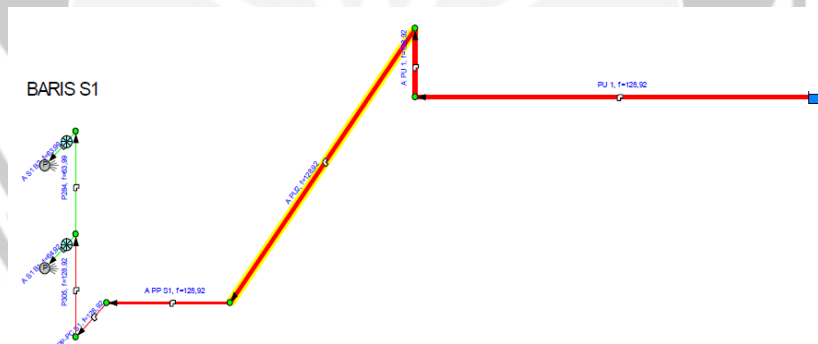
2. Aliran masuk ke dalam masing-masing titik simpul harus sama dengan aliran yang keluar

$$\sum Q_i = 0 \quad \text{.....(3.13)}$$

Jumlah nilai kehilangan tenaga dalam suatu titik simpul tertutup harus sama dengan nol.

$$\sum h_f = 0 \quad \text{.....(3.14)}$$

Contoh perhitungan dengan skema perancangan skematis menggunakan *software pipe flow expert* seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3.6 Skematis Sprinkler 2 titik AS1B1 & AS1B2

Perhitungan dilakukan dengan metode iterasi, dimana telah diketahui beberapa nilai dari spesifikasi perancangan skematis seperti tabel dan gambar di bawah ini:

Tabel 3.4 Spek Pipa Yang Digunakan

No	Pipe Name and Notes	Fluid Zone	Material	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K
1	PU 1	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	150 mm Steel (ANSI) Sch. 40	154,051	0,046	22,1	0,5
2	A PU 1	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	100 mm Steel (ANSI) Sch. 40	102,26	0,046	5	0,51
3	A PU2	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	100 mm Steel (ANSI) Sch. 40	102,26	0,046	17,1	0,51
4	A PP S1	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	50 mm Steel (ANSI) Sch. 40	52,502	0,046	0,78	0,38
5	A PP-PC S1	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	25 mm Steel (ANSI) Sch. 40	26,645	0,046	0,1	1,38
6	A PC S1 B1	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	25 mm Steel (ANSI) Sch. 40	26,645	0,046	1,2	0,46
7	A S1 B1	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	15 mm Steel (ANSI) Sch. 40	15,799	0,046	0,1	1,62
8	A PC S1 B2	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	25 mm Steel (ANSI) Sch. 40	26,645	0,046	2,4	0,46
9	A S1 B2	Water (30°C at 0,0bar.g, density 998,000 kg/m³)	15 mm Steel (ANSI) Sch. 40	15,799	0,046	0,1	1,62

Pada kolom nama pipa dapat dibaca bahwa kata pertama “A” merupakan nama area/jaringan, setelah spasi kata kedua menunjukkan jenis pipa (PU= Pipa Utama, PP=Pipa Pembagi, PP-PC=Pipa Pembagi ke Pipa Cabang, PC=Pipa Cabang); kata ke-tiga menunjukkan letak baris (pipa cabang) *sprinkler* berdasarkan arah dari pemasukan, dan kata ke-empat menunjukkan letak *sprinkler* pada baris *sprinkler* berdasarkan arah dari pipa pembagi.

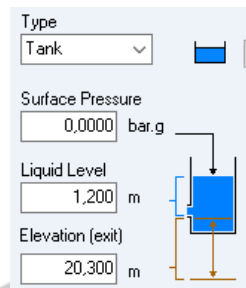
Contoh A S1 B1 adalah titik *sprinkler*, dibaca berada pada Area A, Baris Selatan pertama dari pemasukan, dan titik terletak pada arah barat pertama pipa cabang S1.

Nilai K pada kolom paling kanan tabel 3.5 didapatkan dari tabel dibawah ini;

Tabel 3.5 Fittings Coef Results

No.	Pipe	Total K	Description	K Value	Metric Size	Database Ref	Quantity
1	PU 1	0,5	Pipe Entry Sharp	0,5	150 mm	EntSharp	1
2	A PU 1	0,51	Standard Bend	0,51	100 mm	SB	1
3	A PU2	0,51	Standard Bend	0,51	100 mm	SB	1
4	A PP S1	0,38	Through Tee	0,38	50 mm	TT	1
5	A PP-PC S1	1,38	Branch Tee	1,38	25 mm	BT	1
6	A PC S1 B1	0,46	Through Tee	0,46	25 mm	TT	1
7	A S1 B1	1,62	Branch Tee	1,62	15 mm	BT	1
8	A PC S1 B2	0,46	Through Tee	0,46	25 mm	TT	1
9	A S1 B2	1,62	Branch Tee	1,62	15 mm	BT	1

Dibawah ini adalah data dari sumber Penyediaan Air.



Gambar 3.7 Data Sumber Penyediaan Air

dari gambar 3.6 dapat diketahui tinggi air adalah 1,2 meter dan berada pada elevasi 20,3 meter. Dapat dicari nilai dari tekanan titik awal dari tangki (*start pressure*) yaitu dengan persamaan:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{.....(3.2)}$$

$$\begin{aligned} P &= 0,00998 \times 9,81 \times 1,2 \\ &= 0,1174 \text{ bar} \end{aligned}$$

keterangan:

- ρ = massa jenis zat (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- h = tinggi/kedalaman (m)

setelah diketahui spek keseluruhan pipa yang digunakan dan tekanan yang tersedia dari tangki sumber penyediaan air, maka dapat dilakukan iterasi pada nilai debit di pengeluaran (*sprinkler*) hingga mencapai nilai $\pm 0,000$ bar pada nilai *end pressure* atau *exit pressure* seperti pada dibawah ini.

Tabel 3.6 Hasil Iterasi ke-1 *Sprinkler A S1 B1 & A S1 B2*

No	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Flow l/min	Velocity m/sec	Entry Elevation m	Exit Elevation m	Entry Pressure bar.g	Exit Pressure bar.g	Entry to Exit Loss bar	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss m.hd	Fittings Loss m.hd	Component Loss m.hd	H Status bar
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
1	PU 1	154,051	0,046	22,1	0,5	130,1	0,116	20,3	20,3	0,1174	0,1171	0,0003	22340	Turbulent	0,02561	0,003	0,000		0
2	A PU 1	102,26	0,046	5	0,51	130,1	0,264	20,3	20,3	0,1171	0,1165	0,0006	33655	Turbulent	0,02379	0,004	0,002		0
3	A PU2	102,26	0,046	17,1	0,51	130,1	0,264	20,3	3,2	0,1165	1,7919	-1,6753	33655	Turbulent	0,02379	0,014	0,002		-1,676898
4	A PP S1	52,502	0,046	0,78	0,38	130,1	1,002	3,2	3,2	1,7919	1,7883	0,0036	65551	Turbulent	0,02255	0,017	0,019		0
5	A PP-PC S1	26,645	0,046	0,1	1,38	130,1	3,891	3,2	3,1	1,7883	1,6877	0,1006	129163	Turbulent	0,02388	0,069	1,057		-0,009806
6	A PC S1 B1	26,645	0,046	1,2	0,46	130,1	3,891	3,1	3,1	1,6877	1,5717	0,1159	129163	Turbulent	0,02388	0,830	0,352		0
7	A S1 B1	15,799	0,046	0,1	1,62	65,8	5,597	3,1	3	1,5717	-0,0040	1,5757	110173	Turbulent	0,02709	0,274	2,568	13,326	-0,009806
8	A PC S1 B2	26,645	0,046	2,4	0,46	64,3	1,923	3,1	3,1	1,5717	1,5216	0,0501	63837	Turbulent	0,02505	0,425	0,086		0
9	A S1 B2	15,799	0,046	0,1	1,62	64,3	5,469	3,1	3	1,5216	0,0173	1,5042	107661	Turbulent	0,02711	0,262	2,452	12,725	-0,009806

*Cell warna biru adalah nilai tekanan awal dari sumber (konstan).

*Cell warna kuning adalah nilai iterasi yang diberikan.

*Cell warna hijau adalah nilai dari *exit pressure*.

Legenda
Pipa Utama
Pipa Utama masuk Jaringan
Pipa Pembagi Baris S1
Pipa Pembagi Ke Pipa Cabang
Pipa Cabang
Sprinkler

Iterasi pertama (1) memberikan nilai asumsi debit sebesar 64,3 l/min pada A S1 B2 dan 65,8 l/min pada A S1 B1, dan belum memenuhi syarat $\Sigma h_f = 0$ atau mendekati 0,000. Didapatkan nilai *exit pressure* pada A S1 B1 adalah -0,0040 bar dan A S1 B2 0,0173 bar.

Tabel 3.7 Hasil Iterasi ke-2 *Sprinkler A S1 B1 & A S1 B2*

No	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Flow l/min	Velocity m/sec	Entry Elevation m	Exit Elevation m	Entry Pressure bar.g	Exit Pressure bar.g	Entry to Exit Loss bar	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss m.hd	Fittings Loss m.hd	Component Loss m.hd	H Statis bar
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
1	PU 1	154,051	0,046	22,1	0,5	130,31	0,117	20,3	20,3	0,1174	0,1171	0,0003	22376	Turbulent	0,02560	0,003	0,000		0
2	A PU 1	102,26	0,046	5	0,51	130,31	0,265	20,3	20,3	0,1171	0,1165	0,0006	33709	Turbulent	0,02378	0,004	0,002		0
3	A PU2	102,26	0,046	17,1	0,51	130,31	0,265	20,3	3,2	0,1165	1,7919	-1,6753	33709	Turbulent	0,02378	0,014	0,002		-1,676898
4	A PP S1	52,502	0,046	0,78	0,38	130,31	1,004	3,2	3,2	1,7919	1,7883	0,0036	65657	Turbulent	0,02255	0,017	0,019		0
5	A PP-PC S1	26,645	0,046	0,1	1,38	130,31	3,897	3,2	3,1	1,7883	1,6873	0,1010	129372	Turbulent	0,02388	0,069	1,061		-0,009806
6	A PC S1 B1	26,645	0,046	1,2	0,46	130,31	3,897	3,1	3,1	1,6873	1,5710	0,1163	129372	Turbulent	0,02388	0,832	0,354		0
7	A S1 B1	15,799	0,046	0,1	1,62	65,71	5,589	3,1	3	1,5710	-0,0004	1,5714	110022	Turbulent	0,02709	0,273	2,561	13,290	-0,009806
8	A PC S1 B2	26,645	0,046	2,4	0,46	64,6	1,932	3,1	3,1	1,5710	1,5204	0,0506	64135	Turbulent	0,02504	0,429	0,087		0
9	A S1 B2	15,799	0,046	0,1	1,62	64,6	5,495	3,1	3	1,5204	0,0020	1,5184	108163	Turbulent	0,02711	0,264	2,475	12,844	-0,009806

*Cell warna biru adalah nilai tekanan awal dari sumber (konstan).

*Cell warna kuning adalah nilai iterasi yang diberikan.

*Cell warna hijau adalah nilai dari *exit pressure*.

Legenda
Pipa Utama
Pipa Utama masuk Jaringan
Pipa Pembagi Baris S1
Pipa Pembagi Ke Pipa Cabang
Pipa Cabang
Sprinkler

Iterasi kedua (2) memberikan nilai asumsi debit sebesar 64,6 l/min pada A S1 B2 dan 65,71 l/min pada A S1 B1, dan belum memenuhi syarat $\Sigma h_f = 0$ atau mendekati 0,000. Didapatkan nilai *exit pressure* pada A S1 B1 adalah -0,00040 bar dan A S1 B2 0,0020 bar.

Tabel 3.8 Hasil Iterasi ke-3 *Sprinkler* A S1 B1 & A S1 B2

No	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Roughness mm	Length m	Total K	Flow l/min	Velocity m/sec	Entry Elevation m	Exit Elevation m	Entry Pressure bar.g	Exit Pressure bar.g	Entry to Exit Loss bar	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Friction Loss m.hd	Fittings Loss m.hd	Component Loss m.hd	H Statis bar
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
1	PU 1	154,051	0,046	22,1	0,5	130,36	0,117	20,3	20,3	0,1174	0,1171	0,0003	22385	Turbulent	0,02560	0,003	0,000		0
2	A PU 1	102,26	0,046	5	0,51	130,36	0,265	20,3	20,3	0,1171	0,1165	0,0006	33722	Turbulent	0,02378	0,004	0,002		0
3	A PU2	102,26	0,046	17,1	0,51	130,36	0,265	20,3	3,2	0,1165	1,7919	-1,6753	33722	Turbulent	0,02378	0,014	0,002		-1,676898
4	A PP S1	52,502	0,046	0,78	0,38	130,36	1,004	3,2	3,2	1,7919	1,7883	0,0036	65682	Turbulent	0,02255	0,017	0,019		0
5	A PP-PC S1	26,645	0,046	0,1	1,38	130,36	3,898	3,2	3,1	1,7883	1,6872	0,1011	129421	Turbulent	0,02388	0,069	1,061		-0,009806
6	A PC S1 B1	26,645	0,046	1,2	0,46	130,36	3,898	3,1	3,1	1,6872	1,5708	0,1164	129421	Turbulent	0,02388	0,833	0,354		0
7	A S1 B1	15,799	0,046	0,1	1,62	65,71	5,589	3,1	3	1,5708	-0,0005	1,5714	110022	Turbulent	0,02709	0,273	2,561	13,290	-0,009806
8	A PC S1 B2	26,645	0,046	2,4	0,46	64,65	1,933	3,1	3,1	1,5708	1,5201	0,0507	64184	Turbulent	0,02504	0,430	0,087		0
9	A S1 B2	15,799	0,046	0,1	1,62	64,65	5,499	3,1	3	1,5201	-0,0006	1,5208	108247	Turbulent	0,02711	0,264	2,479	12,864	-0,009806

*Cell warna biru adalah nilai tekanan awal dari sumber (konstan).

*Cell warna kuning adalah nilai iterasi yang diberikan.

*Cell warna hijau adalah nilai dari *exit pressure*.

Legenda
Pipa Utama
Pipa Utama masuk Jaringan
Pipa Pembagi Baris S1
Pipa Pembagi Ke Pipa Cabang
Pipa Cabang
Sprinkler

Iterasi kedua (2) memberikan nilai asumsi debit sebesar 64,65 l/min pada A S1 B2 dan 65,71 l/min pada A S1 B1, dan dirasa telah cukup memenuhi syarat $\Sigma h_f = 0$ atau mendekati 0,000. Didapatkan nilai *exit pressure* pada A S1 B1 adalah -0,00050 bar dan A S1 B2 -0,0006 bar. Maka didapat hasil debit keluaran untuk A S1 B2 adalah 64,65 l/min dan A S1 B2 adalah 65,71 l/min.

Skema perhitungan keluaran 2 titik (AS1B1 dan AS1B2) :

1. Kolom ke-1 menunjukkan nomor pipa dari awal sumber air hingga pipa terakhir sebelum pengeluaran pada AS1B2.
2. Kolom ke-2 menunjukkan nama pipa, kolom ke-3 menunjukkan nominal diameter dalam pipa (mm), dan kolom ke-4 menunjukkan nilai kekasaran pipa (*roughness*).
3. Kolom ke-5 menunjukkan nilai panjang pipa dalam meter, kolom ke-6 menunjukkan nilai koefisien resistensi dari adanya *fitting* pada pipa.
4. Kolom ke-7 adalah debit yang diasumsikan untuk iterasi, contoh untuk AS1B1 adalah 65,71 liter/menit dan 64,65 liter/menit untuk AS1B2 (Tabel 3.8).
5. , kolom ke-8 adalah nilai kecepatan pada pipa yang didapatkan dengan Q/A (Q adalah asumsi iterasi).
6. Kolom ke-9 adalah nilai elevasi ketinggian dari titik awal aliran pada pipa, kolom ke-10 merupakan nilai elevasi ketinggian dari titik akhir aliran pada pipa.
7. Kolom ke-11 adalah nilai dari jumlah kehilangan energi pada pipa, yaitu penjumlahan dari *friction loss*(17), *fittings loss*(18), *component loss*(19), dan *Head Statis* (20).
8. Kolom ke-12 adalah nilai bilangan *Reynolds* yang didapat dengan rumus

$$Re = \frac{V}{\frac{\mu}{\rho D}} = \frac{\rho D V}{\mu}$$
9. Kolom ke-13 menunjukkan jenis dari aliran pada masing-masing pipa. Nilai bilangan *Reynolds* >4000 maka termasuk jenis aliran turbulen.

10. Kolom ke-14 menunjukkan nilai dari *friction factor* yang didapatkan dengan *ColeBrook-White Friction Factor equations* yaitu;

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re_d} + \left(\frac{\varepsilon}{3,7} \right)^{1,11} \right].$$

11. Kolom ke-17 menunjukkan nilai dari *friction loss* yang didapat dengan

$$\text{persamaan } h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Contoh: pada tabel 3.8 mencari nilai *friction loss* pada pipa PU1 seperti berikut:

$$h_L = 0,0256 \frac{22,1}{0,154} \frac{0,117^2}{2g} = 0,003 \text{ m.hd}$$

12. Kolom ke-18 menunjukkan nilai dari *fittings loss* yang didapat dari nilai koef.

$$\text{Resistensi fittings (6) pada persamaan } h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

Contoh: pada tabel 3.8 mencari nilai *fittings loss* pada pipa PU1 seperti:

$$h_L = 0,5 \frac{0,117^2}{2g} = 0,000 \text{ m.hd}$$

13. Kolom ke-19 menunjukkan nilai dari *Component loss* yang didapat dari nilai Q (7)

pada persamaan $P = \left(\frac{Q}{k} \right)^2$ dimana nilai k adalah 57. *Component loss* hanya terdapat pada pipa akhir untuk pengeluaran dari *sprinkler*.

Contoh: pada tabel 3.8 mencari nilai *Component loss* pada pipa AS1B1 seperti:

$$P = \left(\frac{65,71}{57} \right)^2 = 13,290 \text{ m.hd}$$

14. Kolom ke-20 adalah nilai dari head statis yang didapatkan dengan mengurangi *exit elevation* (10) dengan *entry elevation* (9) didapat satuan bar.

15. Perhitungan iterasi dirasa memenuhi syarat apabila didapatkan nilai $\pm 0,000$ pada *exit pressure* pada titik *sprinkler*.