

## Perancangan Fire Suppression System Pada Ruang Kontrol Panel Pabrik Kimia

Nurrafi Wira Syahputra.<sup>1\*</sup>, Moch. Luqman Ashari.<sup>2</sup> dan Am Maisarah Disrinama.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [ashari.luqman@ppns.ac.id](mailto:ashari.luqman@ppns.ac.id)

### Abstrak

Ruang kontrol panel di pabrik manufaktur kimia memiliki risiko kebakaran tinggi, sehingga memerlukan sistem proteksi yang andal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membandingkan secara teknis dua sistem pemadam api otomatis (*fire suppression system*), yaitu yang menggunakan agen CO<sub>2</sub> dan FM200, untuk area terproteksi bervolume 573,75 m<sup>3</sup>. Metodologi perancangan didasarkan pada standar NFPA 12 untuk CO<sub>2</sub> dan NFPA 2001 untuk FM200. Analisis mencakup perhitungan massa agen, jumlah tabung, laju alir (*flow rate*), jumlah *nozzle*, serta analisis hidraulik untuk memastikan tekanan kerja pada sistem perpipaan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem CO<sub>2</sub> memerlukan massa agen 763,09 Kg yang disimpan dalam 17 tabung, sementara sistem FM200 hanya memerlukan 314,59 Kg agen yang dapat ditampung dalam satu tabung. Analisis hidraulik pada kedua sistem mengonfirmasi bahwa penurunan tekanan di sepanjang pipa berada dalam batas aman, sehingga menjamin efektivitas distribusi agen pemadam. Penelitian ini menyajikan perbandingan teknis yang detail sebagai landasan untuk memilih sistem proteksi kebakaran yang paling sesuai berdasarkan efisiensi massa dan kebutuhan ruang penyimpanan.

**Kata Kunci:** Fire Suppression System, CO<sub>2</sub>, FM200, Anggaran Biaya.

### Abstract

*The control panel room at a chemical manufacturing plant is a critical area with a high fire risk, thus requiring a reliable protection system. This research aims to design and technically compare two automatic fire suppression systems, utilizing CO<sub>2</sub> and FM200 agents, for a protected area volume of 573.75 m<sup>3</sup>. The design methodology is based on the NFPA 12 standard for the CO<sub>2</sub> system and NFPA 2001 for the FM200 system. The analysis includes the calculation of agent mass, number of cylinders, flow rate, number of nozzles, and a hydraulic analysis to ensure the working pressure in the piping system. The calculation results show that the CO<sub>2</sub> system requires an agent mass of 763.09 Kg stored in 17 cylinders, whereas the FM200 system only requires 314.59 Kg of agent, which can be contained in a single cylinder. The hydraulic analysis for both systems confirms that the pressure drop along the pipes is within safe limits, thereby guaranteeing the effective distribution of the extinguishing agent. This study presents a detailed technical comparison as a basis for selecting the most suitable fire protection system based on mass efficiency and storage space requirements.*

**Keywords:** Fire Suppression System, CO<sub>2</sub>, FM200, Budget.

### 1. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan bencana yang disebabkan oleh api yang tidak dikehendaki yang dapat menimbulkan kerugian yang besar baik berupa harta benda maupun jiwa manusia. Saat ini kebakaran sudah menjadi masalah nasional, karena bukan saja merugikan pribadi secara individual, melainkan meliputi instalasi atau sarana vital yang menguasai hajat hidup orang banyak seperti pabrik petroleum, pelabuhan, dan instalasi-instalasi lain yang vital. Faktor terbesar yang menyebabkan kebakaran adalah adanya nyala api dan listrik.

Sesuai dengan ketentuan pokok yang berkaitan dengan K3 penanggulangan kebakaran adalah sebagaimana yang ditetapkan oleh (Undang-Undang 1 tahun 1970) yang tersirat pada konsideran UU 1/70 yaitu tentang tujuan umum K3 yang termasuk penanggulangan kebakaran yang bertujuan untuk melindungi tenaga kerja dan orang lain, aset perusahaan dan lingkungan masyarakat. Dan yang tertera pada ketentuan pasal 3 ayat (1) huruf b,d,q bahwa penanggulangan kebakaran meliputi pencegahan, pengurangan dan pemadaman kebakaran, memberikan kesempatan jalan untuk menyelamatkan diri pada waktu kebakaran serta pengendalian penyebaran panas, asap dan gas. Selain itu pada (Kepmenaker 186/Men/1999) yang menjelaskan bahwa perusahaan wajib mencegah, mengurangi dan

memadamkan kebakaran di tempat kerja.

Jumlah kebakaran di Indonesia menurut (Mustajab, 2023), dari tahun 2018, dari tahun ke tahun. Trend terjadinya kebakaran tergolong semakin banyak dan semakin sering, hal ini dapat diakibatkan dengan bertambahnya bangunan baru seperti perumahan, industri, maupun perdagangan. Dari aktifitas inilah potensi terjadinya kebakaran timbul. Data statistik yang ini hasil dari keseluruhan penyebab terjadinya kebakaran.

Menurut (GULO, 2021) . Fungsi dari ruang kontrol panel listrik adalah untuk menempatkan komponen listrik sebagai pendukung dari mesin-mesin listrik agar bisa beroperasi sesuai dengan prinsip kerja dari mesin listrik itu sendiri. Pada pabrik manufaktur kimia Panel listrik merupakan komponen krusial untuk dapat menyediakan tenaga untuk proses produksi. Jika ruang kontrol panel tersebut mengalami kegagalan, skenario terburuk yang dapat terjadi ialah shutdown plant.

Pada ruang kontrol panel pabrik manufaktur kimia yang saya amati, terdapat server beserta panel listrik untuk menjalankan plant, ruang kontrol ini sangat krusial dan memiliki bahaya kebakaran yang cukup tinggi. Pada ruang kontrol panel sudah terdapat APAR berjenis CO<sub>2</sub> , namun hal tersebut kurang efektif sebagai media pemadaman dikarenakan tempatnya yang berada di dalam ruangan dan jauh dari tempat keramaian, sehingga waktu pemadaman kurang efektif dan hanya mencegah kebakaran kecil. Ukuran dari ruang kontrol panel listrik ini mempunyai luas ruangan seluas 573,75 m<sup>3</sup>, yang berisi beberapa kontrol panel listrik, lalu pada area sekitar terdapat plant CO<sub>2</sub> Liquid serta plant Reformer, Oleh karena itu, untuk meminimalisir dari kerugian tersebut maka diperlukan proteksi yang dapat sebagai media pemadaman dan kontrol terhadap ruang kontrol panel pabrik manufaktur kimia (GULO, 2021).

CO<sub>2</sub> Fire Suppression System merupakan salah satu jenis sistem pemadam kebakaran yang sering digunakan di ruang kontrol panel listrik. Sistem ini bekerja dengan cara melepaskan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub> ) yang dapat dengan cepat mengurangi konsentrasi oksigen di sekitar sumber kebakaran sehingga memadamkan api. Salah satu keunggulan utama CO<sub>2</sub> adalah kemampuannya untuk memadamkan kebakaran tanpa meninggalkan residu, yang penting dalam ruang berisi peralatan elektronik sensitif dibandingkan dengan clean agent lain yang dapat merusak kontrol panel listrik menurut (Hurley, 2016). Selain itu terdapat jenis lainnya yang menggunakan FM200 Fire Suppression System, adalah kombinasi antara perangkat sistem pendeteksi dini dan perangkat sistem penindakan yang mampu bekerja secara bersamaan dan secara otomatis dengan pemadaman kurang dari 10 detik, Nama formula kimia Gas FM-200 adalah HFC-227ea atau 1,1,1,2,2,3,3,3-Heptafluoropropane, namun lebih dikenal dengan nama Heptafluoropropane. (Arifin, 2024).

## 2. METODE

Perancangan instalasi CO<sub>2</sub> Fire Suppression System terdapat beberapa faktor:pertama faktor isi menurut NFPA 12 (2022). Faktor ini digunakan untuk dasar perhitungan jumlah gas CO<sub>2</sub> yang diperlukan untuk menurunkan oksigen dibawah 15% dengan konsentrasi gas 34%..

**Tabel 2.1** Faktor Isi CO<sub>2</sub>

Volume Ruangan (m <sup>3</sup> )	Faktor isi jumlah CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Faktor adanya lubang terbuka CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Perhitungan tidak kurang dari (Kg)
< 3,96	1,15	5	0
3,97 – 4,15	1,07	5	4,5
14,16 – 45,28	1,01	5	15,1
45,29 – 127,35	0,90	5	45,1
127,36 – 1415	0,8	5	113,5
> 1415	0,77	5	1135

Sumber : (NFPA 12, 2022)

Tabel 2.1, yang bersumber dari NFPA 12 (2022), menyajikan "Faktor Isi CO<sub>2</sub>" yang krusial untuk menentukan jumlah agen pemadam CO<sub>2</sub> yang dibutuhkan dalam sistem *total flooding*. Faktor ini bervariasi tergantung pada volume ruangan yang akan diproteksi. Untuk ruangan dengan volume antara 127,36 hingga 1415 m<sup>3</sup>, seperti pada studi kasus ini, faktor isi yang digunakan adalah 0,80 Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Tabel ini juga menyediakan faktor tambahan untuk mengkompensasi kebocoran agen melalui lubang terbuka, meskipun dalam perancangan ini diasumsikan ruangan tertutup rapat saat pelepasan agen

**Tabel 2.2** Faktor Konversi Material CO<sub>2</sub>

Design Concentration	Ft <sup>3</sup> /lb	Lb.CO <sub>2</sub> / Ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /Kg	Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Specific Hazard
----------------------	---------------------	--------------------------------------	--------------------	------------------------------------	-----------------

50%	10	0,62	0,62	1,6	<i>Dry electrical hazard in general</i>
50%	12	0,75	0,75	1,33	<i>Dry electrical hazard in general</i>
65%	8	0,125	0,5	2	<i>Record or bulk paper storage, duct &amp; coveres trenches</i>
75%	6	0,166	0,38	2,6	<i>Fur storage vaults, dusts collector, etc.</i>

Sumber : (NFPA 12, 2022)

Tabel 2.2 mengenai Faktor Konversi Material CO<sub>2</sub>, yang bersumber dari NFPA 12 (2022), berfungsi sebagai panduan esensial dalam perancangan sistem pemadam untuk bahaya spesifik. Tabel ini digunakan ketika sebuah bahaya, seperti bahaya kelistrikan (*Dry electrical hazard*) atau penyimpanan kertas dalam jumlah besar (*bulk paper storage*), memerlukan konsentrasi desain yang lebih tinggi (contohnya 50% atau 65%) daripada standar minimum untuk dapat dipadamkan secara efektif.

**Tabel 2.3** *Flooding Factor CO<sub>2</sub>*

Bahaya Khusus	Konsentrasi Design (%)	Faktor Isi (Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Faktor Lubang terbuka (Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )
Listrik dengan bahaya isolasi listrik > 90kg	50	1,33	10
Kabel listrik untuk mesin listrik kecil < 50,60 m <sup>2</sup>	50	1,60	10
Gulungan kertas, plastik, tekstil, dsb	65	2,0	15
Gudang woll, tumpukan penyedot debu, karet, dsb	75	2,66	20

Sumber : (NFPA 12, 2022)

Tabel 2.3 merinci "Flooding Factor CO<sub>2</sub>" untuk bahaya khusus berdasarkan standar NFPA 12 (2022). Tabel ini digunakan ketika proteksi memerlukan konsentrasi desain yang lebih tinggi dari standar minimum akibat adanya risiko spesifik. Sebagai contoh, untuk area dengan bahaya kelistrikan seperti ruang kontrol panel, diperlukan konsentrasi desain 50%. Tabel ini menetapkan bahwa untuk bahaya kelistrikan pada mesin-mesin kecil, faktor banjir (*flooding factor*) yang harus digunakan adalah 1,33 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Nilai inilah yang menjadi dasar utama dalam perhitungan kuantitas CO<sub>2</sub> pada penelitian ini untuk memastikan pemadaman yang efektif.

Perancangan Pemadaman CO<sub>2</sub> *Fire Suppression System* dengan langkah berikut :

$$\text{Hazard Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$\text{Kebutuhan CO}_2 = \text{Hazard Volume} \times \text{Flooding}$$

$$\text{Jumlah Tabung CO}_2 = \frac{\text{Kebutuhan CO}_2}{\text{Kapasitas CO}_2}$$

$$\text{Total Kebutuhan CO}_2 = \text{Melalui tabel material conversion factor}$$

$$\text{Flow Rate} = \frac{\text{Kebutuhan massa CO}_2}{\text{Waktu pemadaman efektif}}$$

$$\text{Jumlah Nozzle} = \frac{\text{Flow Rate}}{\text{Flow Rate Capacity Per Nozzle}}$$

Selanjutnya untuk Perancangan instalasi FM200 *Fire Suppression System* menurut (NFPA 2001, 2022), terdapat *Specific Factort Volume* untuk ketentuannya sebagai berikut :

**Tabel 2.4** *Specific Factort Volume* FM200 HFC 227 ea

Table A.7.3.1(j) HFC-227ea Total Flooding Quantity (SI Units)<sup>a</sup>

Temp(t) (°C) <sup>c</sup>	Specific Vapor Volume(s) (m <sup>3</sup> /kg) <sup>d</sup>	Weight Requirements of Hazard Volume, W/V (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>									
		Design Concentration (% per Volume) <sup>c</sup>									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-10	0.1215	0.5254	0.6196	0.7158	0.8142	0.9147	1.0174	1.1225	1.2301	1.3401	1.4527
-5	0.1241	0.5142	0.6064	0.7005	0.7987	0.8951	0.9957	1.0985	1.2038	1.3114	1.4216
0	0.1268	0.5034	0.5936	0.6858	0.7800	0.8763	0.9748	1.0755	1.1785	1.2839	1.3918
5	0.1294	0.4932	0.5816	0.6719	0.7642	0.8586	0.9550	1.0537	1.1546	1.2579	1.3636
10	0.1320	0.4834	0.5700	0.6585	0.7490	0.8414	0.9360	1.0327	1.1316	1.2328	1.3264
15	0.1347	0.4740	0.5589	0.6457	0.7344	0.8251	0.9178	1.0126	1.1096	1.2089	1.3105
20	0.1373	0.4650	0.5483	0.6335	0.7205	0.8094	0.9004	0.9934	1.0886	1.1859	1.2856
25	0.1399	0.4564	0.5382	0.6217	0.7071	0.7944	0.8837	0.9750	1.0684	1.1640	1.2618
30	0.1425	0.4481	0.5284	0.6104	0.6943	0.7800	0.8676	0.9573	1.0490	1.1428	1.2388
35	0.1450	0.4401	0.5190	0.5996	0.6819	0.7661	0.8522	0.9402	1.0303	1.1224	1.2168
40	0.1476	0.4324	0.5099	0.5891	0.6701	0.7528	0.8374	0.9230	1.0124	1.1029	1.1956
45	0.1502	0.4250	0.5012	0.5790	0.6586	0.7399	0.8230	0.9080	0.9950	1.0840	1.1751
50	0.1527	0.4180	0.4929	0.5694	0.6476	0.7276	0.8093	0.8929	0.9784	1.0660	1.1555
55	0.1553	0.4111	0.4847	0.5600	0.6369	0.7156	0.7960	0.8782	0.9623	1.0484	1.1365
60	0.1578	0.4045	0.4770	0.5510	0.6267	0.7041	0.7832	0.8641	0.9469	1.0316	1.1183
65	0.1604	0.3980	0.4694	0.5423	0.6167	0.6929	0.7707	0.8504	0.9318	1.0152	1.1005
70	0.1629	0.3919	0.4621	0.5338	0.6072	0.6821	0.7588	0.8371	0.9173	0.9994	1.0834
75	0.1654	0.3859	0.4550	0.5257	0.5979	0.6717	0.7471	0.8243	0.9033	0.9841	1.0668
80	0.1679	0.3801	0.4482	0.5178	0.5890	0.6617	0.7360	0.8120	0.8898	0.9694	1.0509
85	0.1704	0.3745	0.4416	0.5102	0.5803	0.6519	0.7251	0.8000	0.8767	0.9551	1.0354
90	0.1730	0.3690	0.4351	0.5027	0.5717	0.6423	0.7145	0.7883	0.8638	0.9411	1.0202

<sup>a</sup>The manufacturer's listing specifies the temperature range for operation.

<sup>b</sup>W/V [agent weight requirements (kg/m<sup>3</sup>)] = kilograms of agent per cubic meter of protected volume to produce indicated concentration at temperature specified.

Sumber : (NFPA 2001, 2022)

Minimum Extinguishing Concentration (MEC) adalah nilai yang diperoleh dari hasil penelitian dan pengujian terhadap setiap zat, bahan, atau material (bahan bakar) yang diuji atau dibakar berdasarkan klasifikasi golongan kebakarannya. Ketentuan (NFPA 2001, 2022),

Tabel 2.5 Specific Factort Volume FM200 HFC 227 ea

Table A.7.2.2.3(b) Class A Flame Extinguishing and Minimum Design Concentrations Tested to UL 2166 and UL 2127

Agent	Class A MEC	Class A Minimum Design Concentration	Class C Minimum Design Concentration
FK-5-1-12	3.3	4.5	4.5
HFC-125	6.7	8.7	9.0
HFC-227ea	5.2	6.7	7.0
HFC-23	15.0	18.0	20.3
IG-541	28.5	34.2	38.5
IG-55	31.6	37.9	42.7
IG-100	31.0	37.2	41.9

Note: Concentrations reported are at 70°F (21°C). Class A design values are the greater of (1) the Class A extinguishing concentration, determined in accordance with 7.2.2.1.1, times a safety factor of 1.2; or (2) the minimum extinguishing concentration for heptane as determined from 7.2.2.2.1 (2).

Sumber : (NFPA 2001, 2022)

Pada gambar 2.2 dikarenakan Agent yang digunakan merupakan HFC 227 ea dengan klasifikasi kebakaran C, maka nilai MEC nya adalah 5,2.

Perancangan Pemadaman FM 200 Fire Suppression System dengan langkah berikut :

$$\text{Hazard Volume} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$\text{Specific Vapor Volume} = 0,1373 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\text{Minimum Design Concentration} = 7$$

$$\text{Kebutuhan massa FM200 (w)} = \frac{\text{Hazard Volume}}{\text{SVV}} \times \frac{\text{MDC}}{(100 - \text{MDC})}$$

$$\begin{aligned} \text{Flow Rate} &= \frac{\text{Kebutuhan massa FM200}}{\text{Waktu pemadaman efektif}} \\ \text{Jumlah Nozzle} &= \frac{\text{Flow Rate}}{\text{Flow Rate Capacity Per Nozzle}} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan perpipaan sebagai berikut :

1. Perhitungan luas Pipa :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

A = Luas Pipa (M<sup>2</sup>)  
 $\pi$  = Nilai Phi (3,14 atau 22/7)  
 D = Diameter lingkaran (m)

2. Kecepatan Aliran Fluida

$$V = \frac{Q}{\rho A}$$

A = Luas Pipa (M<sup>2</sup>)  
 V = Flow velocity (m/s)  
 Q = Flowrate (m<sup>3</sup>/s)  
 $\rho$  = Desnitas fluida (Kg/m<sup>3</sup>)

3. Reynold Number

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$\rho$  = Desnitas fluida (Kg/m<sup>3</sup>)  
 V = Kecepatan aliran (m/s)  
 D = Diameter lingkaran (m)  
 $\mu$  = Viskositas dinamis fluida (Pa.s atau Kg/(m.s))

Keterangan nilai Re :

Re < 2300 aliran laminar (partikel fluida bergerak dengan arah dan kecepatan yang sama)

2300 = Re=400 aliran transisi

Re < 4000 aliran turbulence (partikel fluida bergerak acak dan berlawanan dengan kecepatan yang berbeda)

4. Friction Factor (f)

Diperoleh melalui literasi persamaan Colebrook-white. *Friction factor* didapat dari data yang ditentukan lalu menggunakan rumus Haaland.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log_{10} \left[ \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right]$$

$\epsilon$  = Kekasaran pipa = 0,00015 m (pipa Galvanis)  
 D = Diameter dalam pipa (m)  
 Re = Reynolds Number

5. Penurunan Tekanan

$$\Delta P = f \frac{L1}{D2} \frac{\rho V^2}{2}$$

f = Friction Factor  
 L = Panjang pipa (m)  
 D = Diameter pipa (m)  
 V = Kecepatan aliran (m/s)

Lalu setelah diketahui penurunan tekanan dilanjutkan dengan penentuan  $\Delta P$  minor:

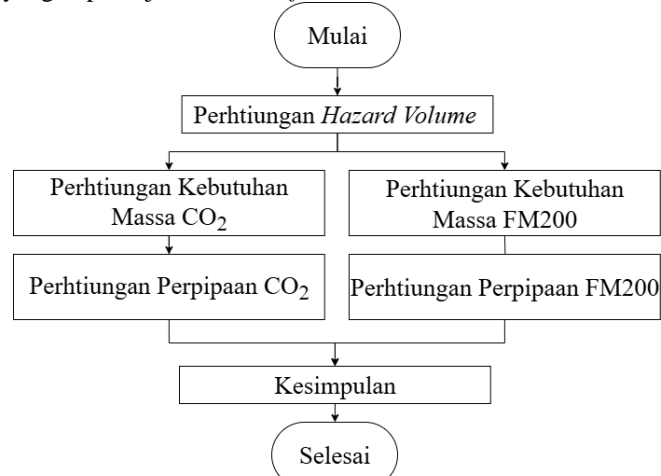
$$(\Sigma K) \frac{\rho V^2}{2}$$

Setelah itu ditotal untuk  $\Delta P_{total}$  :

$$\Delta P_{frikasi} + \Delta P_{minor}$$

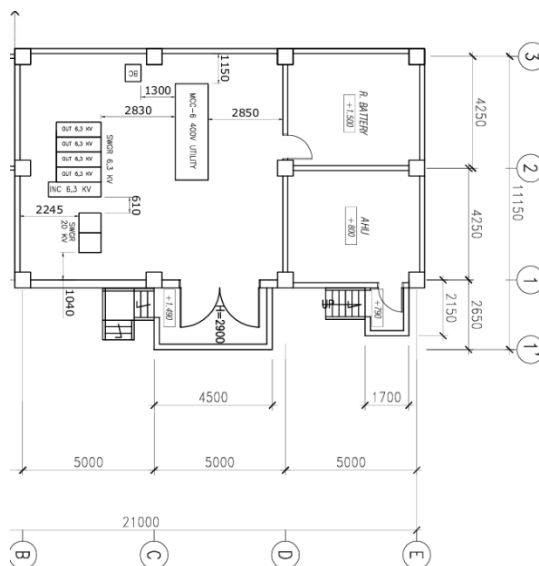
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pembahasan hasil, hal pertama yang dilakukan yaitu menyusun *flowchart* bagaimana isi dari hasil dan pembahasan yang dapat dijabarkan dari *flowchart* berikut :



**Gambar 3.1** Flowchart Hasil dan Pembahasan

Sebelum menentukan kebutuhan Clean Agent, pertama harus menghitung volume ruangan yang akan terproteksi.



**Gambar 3.2** Layout Ruang Kontrol Panel

Rumus untuk menghitung luas area yang akan diproteksi (*Hazard Volume*) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Hazard Volume} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \\
 &= 15 \text{ m} \times 8,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \\
 &= 573,75 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kebutuhan  $\text{CO}_2$  digunakan persamaan pada tabel 3 dengan flooding factor 1,33 ( $\text{Kg CO}_2 / \text{m}^3$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan massa CO}_2 &= \text{Hazard Volume} \times \text{Flooding Factor} \\
 &= 573,75 \text{ m}^3 \times 1,33 \text{ Kg CO}_2 / \text{m}^3 \\
 &= 763,09 \text{ Kg CO}_2
 \end{aligned}$$

Selanjutnya diperlukan kebutuhan volume tabung  $\text{CO}_2$  yang dibutuhkan untuk memadamkan ruangan tersebut dengan kapasitas tabung 45 kg, untuk perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tabung CO}_2 &= \frac{\text{Kebutuhan massa CO}_2}{\text{kapasitas tabung CO}_2} \\ &= \frac{763,0875 \text{ Kg CO}_2}{45 \text{ kg}} \\ &= 16.95 \text{ Tabung dibulatkan menjadi 17 Tabung dengan berat masing} \\ &\quad \text{masing 45 kg tabung} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan Flow Rate dari CO<sub>2</sub> ini yang dimana bersinggungan dengan berat massa dari CO<sub>2</sub> dan waktu pemadaman efektif, yang dimana waktu pemadaman efektif ini diharapkan dapat padam dalam waktu kurang dari 1 menit saja sehingga untuk perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Flow Rate} &= \frac{\text{Kebutuhan massa CO}_2}{\text{Waktu pemadaman efektif}} \\ &= \frac{763,09 \text{ kgCO}_2}{60 \text{ s}} \\ &= 12,72 \text{ kg/s.} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan *Nozzle* untuk pemancar dari media pemadaman ini, Menurut Kidde Untuk jarak nozzle dari langit ke lantai ruangan maksimal sejauh 4,87 meter. Sedangkan untuk tinggi ruangan kontrol panel listrik pabrik manufaktur kimia setinggi 4,5 meter. Untuk maksimum jarak nozzle sejauh 3 meter dengan tipe nozzle dengan Discharge Nozzle 120 Kg/menit untuk tiap nozzle. Untuk perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Nozzle} &= \frac{12,72 \text{ kg/s}}{1,91 \text{ kg/s}} \\ &= 6,66 \text{ unit Nozzle menjadi 7 unit Nozzle} \end{aligned}$$

Selanjutnya setelah menghitung untuk *Fire Supression System* CO<sub>2</sub> dilanjut dengan menghitung *Fire Supression System* FM200, pertama harus menghitung volume ruangan yang akan terproteksi.

Untuk mengetahui kebutuhan Spesifikasi Vapour FM200 digunakan persamaan pada gambar 2.8, Suhu minimum yang diantisipasi pada ruang kontrol panel listrik pabrik manufaktur kimia yaitu 20°C, sehingga SVV nya 0, 1373 m<sup>3</sup>/Kg. Selanjutnya diperlukan data dari *Minimum Extinguishing Concentration* (MEC) Pada gambar 2, dikarenakan Agent yang digunakan merupakan HFC 227 ea dengan klasifikasi kebakaran C, maka nilai MEC nya adalah 5,2%. Setelah itu dapat diketahui nilai dari *Minimum Design Concentration* (MDC) pada gambar 2 adalah 7%.

Setelah diketahui dari nilai MEC dan MDC nya selanjutnya diperlukan perhitungan untuk mengetahui kebutuhan massa FM200 nya, untuk perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan massa FM200} &= \frac{\text{Hazard Volume}}{\text{SVV}} \times \frac{\text{MDC}}{(100 - \text{MDC})} \\ &= \frac{573,75 \text{ m}^3}{0, 1373 \text{ m}^3/\text{Kg}} \times \frac{7}{(100 - 7)} \\ &= 314,59 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan *Flow Rate* dari FM200 ini yang dimana bersinggungan dengan berat massa dari FM200 dan waktu pemadaman efektif, yang dimana waktu pemadaman efektif ini diharapkan dapat padam dalam waktu kurang dari 1 menit saja sehingga untuk perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Flow Rate} &= \frac{\text{Kebutuhan FM200}}{\text{Waktu pemadaman efektif}} \\ &= \frac{314,59 \text{ Kg}}{60 \text{ s}} \\ &= 5,24 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan *Nozzle* untuk pemancar dari media pemadaman ini, Menurut Kidde Untuk jarak nozzle dari langit ke lantai ruangan maksimal sejauh 4,87 meter. Sedangkan untuk tinggi ruangan kontrol panel listrik pabrik manufaktur kimia setinggi 4,5 meter. Untuk maksimum jarak nozzle sejauh 3 meter dengan tipe nozzle dengan Discharge Nozzle 120 Kg/menit untuk tiap nozzle. Untuk perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Nozzle} &= \frac{5,24 \text{ Kg/s}}{8,16 \text{ kg/s}} \\ &= 0,66 \text{ unit Nozzle menjadi 1 unit Nozzle} \end{aligned}$$

Untuk pipa yang digunakan dalam Fire Suppression System CO<sub>2</sub> ini perhitungannya sebagai berikut:

1. Perhitungan Luas Pipa

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \frac{22}{7} 0,0525^2$$

$$= 0,002165 \text{ m}^2$$

2. Kecepatan Aliran Fluida

$$V = \frac{Q}{\rho A}$$

$$= \frac{12.72 \text{ kg/s}}{816 \times 0,002165}$$

$$= 7,21 \text{ m/s}$$

3. Reynold Number

$$Re = \frac{816 \text{ kg/m}^3 \times 7,21 \text{ m/s} \times 0,0525}{0.00007 \text{ kg/(m/s)}}$$

$$= 4411000$$

Keterangan nilai Re :  $Re > 4000$  aliran turbulence (partikel fluida bergerak acak dan berlawanan dengan kecepatan yang berbeda)

4. Friction Factor

Diperoleh melalui literasi persamaan Colebrook-white. *Friction factor* didapat dari data yang ditentukan lalu menggunakan rumus Haaland :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log_{10} \left[ \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log_{10} \left[ \left( \frac{0,00015/0,0525}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{4411000} \right]$$

$$f = 0,0258$$

5. Penurunan Tekanan

$$\Delta P = f \frac{L1}{D2} \frac{\rho V^2}{2}$$

$$= 0,0258 \frac{7,8}{0,0525} \frac{816 \times 7,21^2}{2}$$

$$= 81400 \text{ Pa}$$

Kerugian Fitting  $\Delta P_{minor}$  : Fiting pada segmen ini adalah 1 Main Valve ( $K \approx 0.1$ ) dan 1 Siku  $90^\circ$  ( $K \approx 0.9$ ). Maka,  $\Sigma K = 1.0$

$$\Delta P_{minor} = (\Sigma K) \frac{\rho V^2}{2}$$

$$= (1) \frac{816 \times (7,21)^2}{2}$$

$$= 19130 \text{ Pa}$$

Penurunan Tekanan Total ( $\Delta P_{total}$ ):

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{friksi} + \Delta P_{minor}$$

$$= 81400 + 19130$$

$$= 100530 \text{ Pa} \approx 1 \text{ bar}$$

Perhitungan Tekanan Akhir Segmen ( $P_{akhir}$ ):

$$P_{Akhir} = P_{awal} - P_{total}$$

$$= 58 - 1$$

$$= 57 \text{ bar}$$

Perhitungan lanjutan untuk segmen pipa P3 sampai P5, yang dilakukan dengan metode yang sama, hasilnya dapat dilihat pada Tabel berikut.

**Tabel 3.1** Perhitungan Manual Tekanan Pipa

Segmen	P awal (bar)	V (m/s)	Re	f	ΔP (bar)	P akhir (bar)
P1+P2	58	7,21	4.411.000	0,0258	1	57
P3	57	6,18	3.781.000	0,0258	0,22	56,78
P4	56,78	5,15	3.151.000	0,0259	0,15	56,63
P5	56,63	4,12	2.521.000	0,0259	0,1	56,53

Tabel 3.1 menyajikan ringkasan hasil perhitungan hidraulik manual untuk sistem perpipaan CO<sub>2</sub>. Perhitungan ini sangat penting untuk memastikan bahwa tekanan agen pemadam tetap memadai di seluruh jaringan pipa hingga mencapai *nozzle* terakhir. Dari tabel, dapat diamati bahwa terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*) di setiap segmen pipa (P1 hingga P5). Dimulai dengan tekanan awal 58 bar pada segmen pertama (P1+P2), terjadi penurunan tekanan sebesar 1 bar, sehingga tekanan di akhir segmen menjadi 57 bar. Penurunan ini disebabkan oleh kerugian gesek (*friction loss*) di sepanjang pipa dan kerugian minor akibat adanya katup dan siku (*fitting*). Pola penurunan tekanan yang gradual berlanjut di segmen-segmen berikutnya, dengan total penurunan yang sangat kecil. Tekanan akhir pada *nozzle* terjauh (di akhir segmen P5) adalah 56,53 bar.

Untuk pipa yang digunakan dalam Fire Suppression System FM200 ini perhitungannya sebagai berikut:

1. Perhitungan Luas Pipa

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= \frac{1}{4} \frac{22}{7} 0,0525^2$$

$$= 0,002165 \text{ m}^2$$

2. Kecepatan Aliran Fluida

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{5,243 \text{ kg/s}}{1410 \times 0,002165 \text{ m}^2}$$

$$= 1,72 \text{ m/s}$$

3. Reynold Number

$$Re = \frac{1410 \text{ kg/m}^3 \times 1,72 \text{ m/s} \times 0,0525}{2,1 \times 10^{-4}}$$

$$= 605528$$

Keterangan nilai Re : Re < 4000 aliran turbulence (partikel fluida bergerak acak dan berlawanan dengan kecepatan yang berbeda)

4. Friction Factor

Diperoleh melalui literasi persamaan Colebrook-white. *Friction factor* didapat dari data yang ditentukan lalu menggunakan rumus Haaland :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1,8 \log_{10} \left[ \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right]$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1,8 \log_{10} \left[ \left( \frac{0,000015/0,0158}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{605528} \right]$$

$$f = 0,026$$

5. Penurunan Tekanan

$$\Delta P = f \frac{L1}{D2} \frac{\rho V^2}{2}$$

$$= 0,0357 \frac{10,3}{0,0158} \times \frac{1,410 \times (0,1,72)^2}{2}$$

$$= 10612 \text{ Pa}$$

Kerugian Fitting ΔP<sub>minor</sub> : Koefisien hambatan total (ΣK) = K<sub>valve</sub> + 2 K<sub>siku</sub> = 0,1 + (2 \times 0,9) = 1,9.

$$\Delta P_{minor} = (\Sigma K) \frac{\rho V^2}{2}$$

$$= (1,9) \frac{1,410 \times (0,1,72)^2}{2}$$

$$= 3957 \text{ Pa}$$

Penurunan Tekanan Total (ΔP<sub>total</sub>):

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{friksi} + \Delta P_{minor}$$

$$\begin{aligned} &= 10612 + 3957 \\ &= 14569 \text{ Pa} \approx 0,146 \text{ bar} \\ \text{Perhitungan Tekanan Akhir Segmen (P\_akhir):} \\ P \text{ Akhir} &= P \text{ awal} - P \text{ total} \\ &= 42 - 0,146 \\ &= 41,85 \text{ bar} \end{aligned}$$

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisis komparatif sistem proteksi kebakaran untuk ruang kontrol panel bervolume 573,75 m<sup>3</sup>, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan Kebutuhan Agen: Terdapat perbedaan signifikan dalam jumlah agen yang dibutuhkan. Sistem CO<sub>2</sub> memerlukan massa total 763,09 Kg, yang membutuhkan 17 tabung berkapasitas 45 Kg. Sebaliknya, sistem FM200 secara substansial lebih efisien dalam hal massa, dengan kebutuhan hanya 314,59 Kg, yang memungkinkan penyimpanan dalam satu unit tabung.
2. Kelayakan Teknis dan Hidraulik: Kedua sistem terbukti layak secara teknis. Perhitungan hidraulik menunjukkan bahwa sistem perpipaan yang dirancang mampu menyalurkan agen pemadam ke seluruh area terproteksi dengan tekanan yang memadai. Untuk sistem CO<sub>2</sub>, tekanan awal 58 bar hanya mengalami penurunan menjadi 56,53 bar di *nozzle* terjauh. Sementara itu, sistem FM200 dengan tekanan awal 42 bar mengalami penurunan tekanan yang sangat kecil, berakhir pada 41,85 bar. Hal ini memastikan efektivitas pemadaman dalam waktu kurang dari 60 detik untuk kedua sistem.

#### 5. DAFTAR NOTASI

$P$  = tekanan [atm]

$A$  = Luas Pipa (M<sup>2</sup>)

$\pi$  = Nilai Phi (3,14 atau 22/7)

$D$  = Diameter lingkaran (m)

$V$  = Flow velocity (m/s)

$\mu$  = Viskositas dinamis fluida (Pa.s atau Kg/(m.s))

$Re$  = Reynolds Number

$f$  = Friction Factor

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1970, U. no 1 tahun. (1970). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja. *Presiden Republik Indonesia*, 14, 1–20. <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/uu-01-1970.pdf>
- Arifin, A. (2024). Apa itu Fire Suppression system? <https://Fm200.Co.Id/>. <https://fm200.co.id/tentang-fm200/apa-itu-fm200-suppression.html>
- GULO, R. T. (2021). Perakitan panel listrik cv. sumatera general engineering. *Universitas Medan Area*.
- Hurley, M. J. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (C. W. Morgan J. Hurley, Daniel Gottuk, John R. Hall, Kazunori Harada, Erica Kuligowski, Milosh Puchovsky, José Torero, John M. Watts (ed.); 5th editio). SpringerLink. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Kepmenaker. (1999). *Keputusan Menteri Tenaga Kerja No.KEP.186/MEN/1999 Tentang Unit Penanggulangan Kebakaran di Tempat Kerja*. 28.
- Mustajab, R. (2023). Kasus Kebakaran di Indonesia Cetak Rekor pada Juni 2023. *DataIndonesia.Id*. <https://dataindonesia.id/varia/detail/kasus-kebakaran-di-indonesia-cetak-rekor-pada-juni-2023>
- NFPA 12. (2022). *NFPA 12 Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems*. NFPA.
- NFPA 2001. (2022). *NFPA 2001 Standart on Cleant Agent Fire Extinguishing System*.
- Aeron Satria Bayu Aji, KGS. M. Ismail, T. (2021). *RANCANGAN CLEAN AGENT FIRE SUPPRESSION SYSTEM DI RUANG PANEL CHILLER TERMINAL 1 BANDAR UDARA INTERNATIONAL JUANDA DENGAN LUAS RUANGAN 29,43 METER*. 1, 223–232.

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Jumlah Peristiwa Kebakaran Menurut Penyebab Terjadinya Kebakaran dan Bulan*. <https://Surakartakota.Bps.Go.Id/Id>. <https://surakartakota.bps.go.id/id/statistics-table/2/MzcyIzI=/jumlah-peristiwa-kebakaran-menurut-penyebab-terjadinya-kebakaran-dan-bulan.html>
- BPDB. (2024). *Teknik Pemadaman Api*. <https://bpbd.kulonprogokab.go.id/detil/139/mengenal-bencana-kebakaran-damkar>.
- damkar. (2020). *Penyebab Kebakaran dan Klasifikasi Jenis Kebakaran*. Paserkab.Go.Id. <https://damkar.paserkab.go.id/detailpost/penyebab-kebakaran-dan-klasifikasi-jenis-kebakaran>
- Haramain, M. Al, Effendi, R., & Irianto, F. (2019). Perancangan Sistem Memadam Kebakaran Pada Perkantoran dan Pabrik Label Makanan PT. XYZ dengan Luas Bangunan 1125 m<sup>2</sup>. *Jurnal Mesin Teknologi*, 11(2), 129–150.
- Hurley, M. J. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (C. W. Morgan J. Hurley, Daniel Gottuk, John R. Hall, Kazunori Harada, Erica Kuligowski, Milosh Puchovsky, José Torero, John M. Watts (ed.); 5th editio). SpringerLink. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Ilmansyah, Y., Mahbubah, N. A., Widyaningrum, D., Studi, P., Industri, T., Gresik, U. M., & Bahaya, P. (2020). Penerapan Job Safety Analysis Sebagai Upaya. *Keselamatan Da Kesehatan Kerja (K3)*, 8(1).