

Perancangan Sistem Perpipaan Pemadam Kebakaran Pada Gudang Fabrikasi Menggunakan *Carbon Dioxide Extinguishing System*

Muhammad Faidhur Rohman^{1*}, Eko Julianto^{2*}, Heroe Poernomo³

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia¹

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{2,3}

Email: faidhur.rohman@student.ppns.ac.id¹; eko_julianto@ppns.ac.id²; poernomo_heroe@ppns.ac.id³;

Abstract - The fabrication warehouse in the industry serves as a production center and supports production activities. This warehouse has several jobs that are prone to fire. Therefore, a fire suppression system is required. The Carbon Dioxide (CO₂) extinguishing system was selected because it leaves no residue after the fire suppression process is complete. In designing the carbon dioxide extinguishing system, calculations were performed for the required amount of CO₂ media, flow rate, number of discharge nozzles, and the creation of 3D and isometric designs in accordance with NFPA 12 and FIKE codes and standards. Based on the calculations, 5,748.41 kg of CO₂ extinguishing agent with a concentration of 34% is required, resulting in a flow rate of 1,977.45 kg with a discharge time of 1 minute. The pipe sizes used are 3 inches for the main line, 2 inches for the cylinder connection pipe, 3 inches for the manifold, and 1 inch for the distribution pipe.

Keywords: Extinguishing System, Carbon Dioxide, NFPA 12, Flow Rate.

Nomenclature

FF	Flooding Factor (m ³ / kg)
NPS	Nominal Pipe Size (inc)
<i>mBD</i>	Base design quantity (kg)
<i>V_p</i>	Volume protection (m ³)
<i>N_{tabung}</i>	Quantity Tabung
<i>N_{nozzle}</i>	Quantity Nozzle

1. PENDAHULUAN

Gudang fabrikasi di Industri berfungsi sebagai pusat produksi dan penyimpanan komponen seperti solar, kayu, minyak dan peralatan elektrik yang esensial yang menunjang bagi kegiatan produksi.

Gudang fabrikasi dengan ukuran 82 m x 15 m. gudang ini memiliki beberapa pekerjaan yang riskan terhadap terjadinya kebakaran. Sesuai dengan peraturan menteri tenaga kerja dan transmigrasi No.PER.04/MEN/1980, untuk pemadaman terhadap alat *electrical* ini, di golongan kedalam kelas C, maka pemadaman yang tepat adalah CO₂, Serbuk kimia, dan pasir. Pilihan yang paling murah dan efektif untuk alat *electrical* ini adalah CO₂

Media pemadam yang digunakan adalah karbon dioksida (CO₂), karena tidak meninggalkan residu setelah pemadaman dan lebih aman digunakan di area yang mengandung peralatan instrumen dan kelistrikan. Untuk mengatasi risiko kebakaran di Gudang Fabrikasi, desain sistem pemadam dilakukan dengan menentukan titik nozzle, merancang jalur pipa, membuat desain 3D dan gambar isometri, serta menghitung flow rate sistem flooding, pressure drop, dan estimasi biaya material. Seluruh proses ini mengacu pada standar NFPA 12 (*Standard on Carbon Dioxide Extinguishing System*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap ini bertujuan untuk menemukan permasalahan yang menjadi landasan dasar penelitian melalui proses analisis, observasi, dan pemikiran kritis, sehingga dapat dijadikan objek kajian. Penelitian ini secara khusus membahas sistem perpipaan untuk pemadam kebakaran berbasis CO₂.

2.2 Tahap Pengolahan Data

Tahap ini merupakan kelanjutan dari proses sebelumnya, yaitu pengumpulan data, dan berfokus pada pendalaman serta analisis lebih lanjut terhadap data yang telah diperoleh. Tahapan pengolahan data dapat dijelaskan dengan rincian berikut :

1. Desain Sistem Pemadam Kebakaran.
2. Kalkulasi Sistem Pemadam Kebakaran.

2.3 Perhitungan Kebutuhan Media CO₂

Penentuan jumlah CO₂ yang diperlukan bergantung pada ukuran volume ruang yang akan diberikan perlindungan.

Berikut merupakan table dari data perusahaan.

Tabel 1 Data Luas Ruangan

No	Ruangan	Panjang	Lebar	Tinggi	Tinggi Atap
1.	Penyimpanan	61 m	15 m	6 m	0,75 m
2.	Fabrikasi	21 m	15 m	7 m	0,75 m

maka volume bangunan Gudang Urea Ekspor adalah:

$$V_{total} = V_{balok} + V_{prisma segitiga}$$

$$V_{total} = (p \times l \times t) + \left(\left(\frac{p \times t}{2} \right) \times l \right) \quad (1)$$

Untuk aplikasi total flooding, volume dapat dikurangi untuk mengecualikan struktur permanen, tidak dapat dipindahkan, atau kedap air dari keseluruhan volume ruang yang dilindungi. *Flooding factor* yang digunakan untuk desain sistem didasarkan pada bahaya spesifik yang dilindungi. Untuk menentukan jumlah dasar agen CO₂ yang diperlukan, kalikan volume bahaya dengan *total flooding* dan ventilation room.

$$mBD = V_p \times FF \times \text{Ventilation Room} \quad (2)$$

Dimana mBD adalah desain quantities (kg); V_p adalah volume proteksi (m³); FF adalah *flooding factor* (m³ / kg).

Jumlah tabung diperkirakan dengan membagi kebutuhan total CO₂ sistem dengan kapasitas aktual tiap tabung, lalu hasilnya dibulatkan ke atas. Detail ukuran dan isi tabung dapat ditemukan pada katalog produk yang digunakan.

$$\text{Jumlah tabung} = \frac{\text{Quantity of CO}_2}{\text{Kapasitas tabung}} \quad (3)$$

2.4 Flow Rate

Menghitung *flow rate* pada sistem perpipaan pemadam kebakaran CO₂ melibatkan beberapa langkah dan parameter penting, seperti kapasitas CO₂ dan Q30% pada sistem perpipaan. Berikut adalah langkah-langkah umum untuk menghitung *flow rate*:
 $Q_{30\%} = \text{Jumlah kebutuhan CO}_2 \times 0.688 \quad (4)$

$$\text{Flow rate} = \frac{Q_{30\%}}{2} \quad (5)$$

Dimana Q 30% adalah konsentrasi CO₂ (kg/ 2 min); Flow rate adalah laju aliran (kg/min)

2.5 Penentuan Jumlah Nozzle

Untuk perkiraan Jumlah *nozzle* dapat ditentukan dengan membagi total flow rate dengan flow rate tiap *nozzle*. Untuk informasi flow rate tiap *nozzle* dapat dilihat pada katalog *nozzle* yang digunakan.

$$N_{\text{nozzle}} = \frac{\text{total flow rate}}{\text{flow rate tiap nozzle}} \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Jumlah Kebutuhan CO₂

Perhitungan *volume* ruangan untuk kebutuhan CO₂ adalah langkah-langkah untuk mengukur ruangan dengan tujuan untuk mengetahui kapasitasnya yang berkaitan dengan penggunaan CO₂. Proses ini melibatkan pengukuran panjang, lebar, dan tinggi ruangan untuk menghitung total *volume* dalam satuan kubik. Gudang fabrikasi terdiri dari dua bagian yaitu ruangan penyimpanan, dan fabrikasi masing-masing memiliki tinggi yang berbeda. Gudang fabrikasi berbentuk prisma segitiga. pada Tabel 3.1 adalah lampiran dari panjang, lebar dan tinggi ruangan.

Tabel 2 Data Luas Ruangan

No	Ruangan	Panjang	Lebar	Tinggi	Tinggi Atap
1.	Penyimpanan	61 m	15 m	6 m	0,75 m
2.	Fabrikasi	21 m	15 m	7 m	0,75 m

Menghitung volume menggunakan Persamaan (1), hasil akan ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3 Volume Ruangan

No	Ruangan	Volume
1	Penyimpanan	5523,75 m ³
2	Fabrikasi	224,375 m ³
Total		778,125 m ³

Untuk menghitung kebutuhan CO₂, dibutuhkan volume total dari pabrik tersebut. Kebutuhan CO₂ dapat dihitung dengan cara mengkalikan bilangan *flooding factor* dengan volume hazard dan ventilation room. Dari persamaan (2) hasil akan ditampilkan sebagai berikut.

$$mBD_{34\%} = V_p \times FF \times \text{Ventilation Room}$$

$$mBD_{34\%} = 7768,12 \times 0,74 \times 0,964$$

$$mBD_{34\%} = 5748,41 \text{ kg}$$

Mengingat tabung CO₂ yang digunakan memiliki konsentrasi 99%, maka perhitungan kebutuhan CO₂ harus disesuaikan dengan konsentrasi tersebut guna menentukan jumlah tabung. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$mBD_{99\%} = \frac{mBD_{34\%}}{99\% / 34\%}$$

$$mBD_{99\%} = \frac{5748,41}{2,91}$$

$$mBD_{99\%} = 1975,40 \text{ kg}$$

Equipment yang digunakan untuk menampung CO₂ adalah tabung. Jumlah tabung yang dibutuhkan dari sebuah sistem pemadam dapat di hitung jika sudah menemukan jumlah CO₂ yang dibutuhkan untuk memadamkan api. Sistem ini menggunakan tabung CO₂ berukuran 45 kg. Untuk menentukan jumlah tabung CO₂ yang dibutuhkan, digunakan Persamaan (3) sebagai berikut:

$$N_{\text{tabung}} = \frac{mBD_{99\%}}{\text{kapasitas tabung}}$$

$$N_{\text{tabung}} = \frac{1975,40 \text{ kg}}{45 \text{ kg}}$$

$$N_{\text{tabung}} : 43,90 \text{ Tabung}$$

$$N_{\text{tabung}} : 44 \text{ Tabung}$$

3.2 Perhitungan Q 30%

Sistem bahaya yang terdalam diaktifkan pada laju aliran yang lebih lambat dan untuk durasi yang lebih lama untuk menanggapi karakteristik kebakaran yang menyala perlahan. Untuk kebakaran yang terdalam, konsentrasi desain harus tercapai dalam waktu 7 menit, tetapi dengan laju aliran yang akan memberikan konsentrasi sebesar 30% dalam waktu 2 menit perhitungan laju aliran sistem dilakukan menggunakan persamaan (4) berikut.

$$Q_{30\%} = \text{Jumlah kebutuhan CO}_2 \times 0,688$$

$$Q_{30\%} = 5749,36 \times 0.688$$

$$Q_{30\%} = 3955,56 \text{ kg/2 min}$$

3.3 Flow Rate

Menghitung *flow rate* menggunakan persamaan (5) Membagi jumlah CO₂ yang dihasilkan dengan dua akan menghasilkan *flow rate* yang diperlukan dalam kg CO₂ per menit.

$$\text{Flow rate} = \frac{Q \text{ 30\%}}{2}$$

$$\text{Flow rate} = \frac{3955,56}{2}$$

$$\text{Flow rate} = 1977,45 \text{ kg/min}$$

3.4 Perhitungan Jumlah Nozzle

Dalam sistem pemadam kebakaran CO₂ diperbolehkan menggunakan semua jenis *nozzle*, akan tetapi menurut FIKE disarankan menggunakan *nozzle* tipe *radial* dengan sudut penyemprotan 360°. Pada rancangan ini akan digunakan *nozzle* dengan ukuran ¾, karena dinilai lebih ekonomis dan efektif.

Tabel 4 Spesifikasi Nozzle

Nozzle Description	Flow Rates			Available Orifice Codes	Spacing and/or Height above Floor
	Minimum	Maximum	Recommended		
C80-041 – 360° 1/2" NPT	25 lbs./min (11.3 kg/min)	160 lbs./min (72.6 kg/min)	100 lbs./min (45.4 kg/min)	3.5 thru 13	20 feet (6.1 m)
C80-042 – 180° 1/2" NPT	25 lbs./min (11.3 kg/min)	160 lbs./min (72.6 kg/min)	100 lbs./min (45.4 kg/min)	3.5 thru 13	20 feet (6.1 m)
C80-043 – 360° 3/4" NPT	120 lbs./min (54.4 kg/min)	200 lbs./min (90.7 kg/min)	150 lbs./min (68.0 kg/min)	10 thru 19	25 feet (6.1 m)
C80-044 – 180° 3/4" NPT	120 lbs./min (54.4 kg/min)	200 lbs./min (90.7 kg/min)	150 lbs./min (68.0 kg/min)	10 thru 17	25 feet (6.1 m)
C80-045 – 360° 1" NPT	220 lbs./min (99.8 kg/min)	300 lbs./min (136.1 kg/min)	250 lbs./min (113.4 kg/min)	15 thru 25	30 feet (6.1 m)
C80-046 – 180° 1" NPT	220 lbs./min (99.8 kg/min)	300 lbs./min (136.1 kg/min)	250 lbs./min (113.4 kg/min)	15 thru 25	30 feet (6.1 m)

Untuk mencari jumlah *nozzle* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$N_{\text{nozzle}} = \frac{\text{total flow rate}}{\text{flow rate tiap nozzle}}$$

$$N_{\text{nozzle}} = \frac{1977,45}{68,0 \text{ kg/min}}$$

$$N_{\text{nozzle}} = 29,08$$

$$N_{\text{nozzle}} = 30 \text{ nozzle}$$

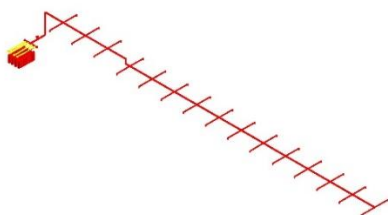
3.4 Desain Sistem Perpipaan

Sistem pemadam karbon dioksida ini dirancang menggunakan suplai bertekanan tinggi dengan pipa berbahan ASTM A-106 grade B. Beragam diameter pipa digunakan dalam desain, yaitu sebagai berikut:

Tabel 5 Diameter Pipa yang Digunakan

No	Pipa	Diameter
1	Pipa Conect Tabung	2"
2	Pipa Manifold	3"
3	Pipa Main Line	3"
4	Pipa Cabang	1"

Hasil *routing pipe* menggunakan software *AutoCAD Plant 3D* yaitu sebagai berikut :



Gambar 1 Desain 3D

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan bahwa jumlah kebutuhan media pemadam CO₂ adalah sebesar 5748,41 kg. Jumlah ini merupakan total keseluruhan CO₂ yang sistem pemadam kebakaran. perhitungan manual yang dilakukan pada bab sebelumnya, diperoleh nilai *flow rate* sebesar 1977,45 kg/min

6. PUSTAKA

- [1] Aji, S.B.A. (2020). Rancangan *Clean Agent Fire Supression System* di Ruang Panel Chiller Terminal 1 Bandar Udara Internasional Juanda dengan Luas Ruang 29,43 Meter. Jurnal Ilmiah Aviasi Langit Biru. Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
- [2] ANSUL. (2019). *HIGH PRESSURE CARBON DIOXIDE SYSTEMS*. Milwaukee, Wisconsin, Amerika Serikat.
- [3] Dharmayanti, V. D. (2023). Desain *Carbon Dioxide Extinguishing System* Pada Gudang Urea Ekspor. Proceeding 8th Conference of Piping Engineering and Its Application. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [4] FIKE. (2008). *Industrial Carbon Dioxide Extinguishing Systems*. Blue Springs, Missouri, Amerika Serikat.
- [5] Hisanah, N. F. (2023). Evaluasi Kinerja Jalur Perpipaan Sistem Pemadam kebakaran dengan Media Pemadam Api Jenis Gas Clean Agent Halocarbon HCFC Blend A (AF11E) pada Ruang Mesin Kapal Pendukung OMP. Proceeding 8th Conference of Piping Engineering and Its Application. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [6] NFPA 12. (2022). *Standard on Carbon Dioxide Exthinguishing System*. National Fire Protection Association. Massachusetts, Amerika Serikat.
- [7] NFPA 2001. (2018). *Standard on Clean Agent Fire Exthinguishing System*. National Fire Protection Association. Massachusetts, Amerika Serikat.
- [8] NFPA 10. (2022). *Standard for Portable Fire Exthinguishers*. National Fire Protection Association. Massachusetts, Amerika Serikat.
- [9] TYCO. (2007). *Carbon Dioxide Fire Fighting System*. Kiddle Fire System, Cork, Irlandia.
- [10] Umari, S. D. J. (2023). Perancangan Sistem Perpipaan Pemadam Kebakaran Pada Pabrik Kain Menggunakan *Carbon Dioxide Extinguishing System*. Proceeding 9th Conference of Piping Engineering and Its Application. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.