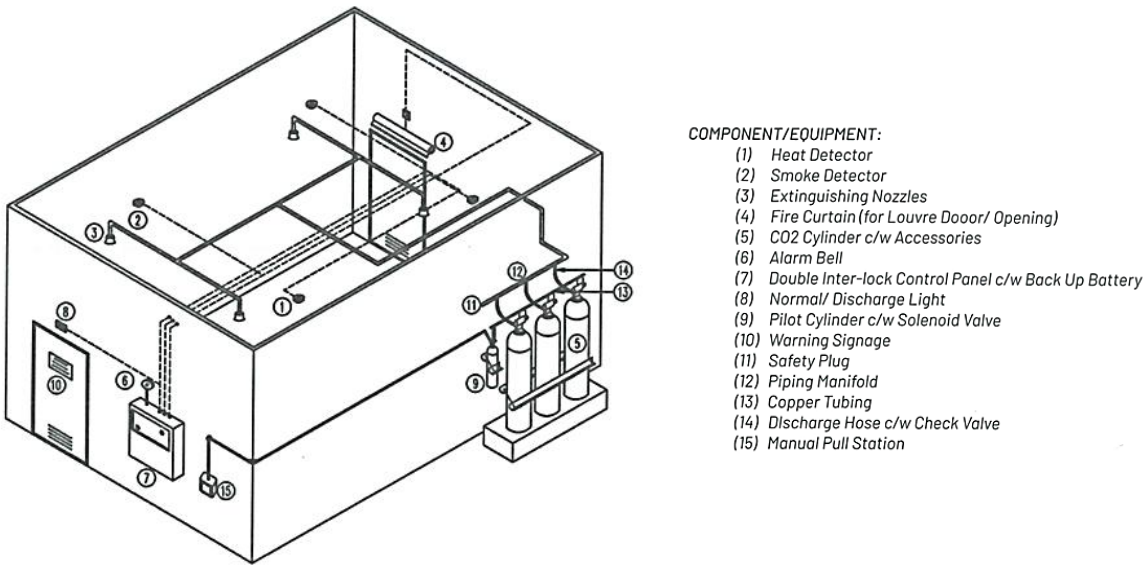
REKA BENTUK, KOMPONEN, DAN KESELAMATAN SISTEM PEMADAMAN KEBAKARAN KARBON DIOKSIDA

Pengarang: Ir. Dr. Justin LAI Woon Fatt | 23 Februari, 2026

PENDAHULUAN

Sistem pemadaman kebakaran karbon dioksida (CO_2) terdiri daripada silinder CO_2, paip keluli, muncung pelepasan, pengesan haba dan/atau asap, serta panel kawalan yang memantau kawasan yang dilindungi dan mengaktifkan penggera visual serta bunyi sebelum pelepasan gas dilakukan. Apabila kebakaran dikesan, gas CO_2 akan dilepaskan selepas tempoh kelewatan masa bagi memberi amaran kepada penghuni supaya meninggalkan bilik tersebut. Sistem pemadaman CO_2 biasanya dipasang di bilik transformer elektrik, bilik suis, dan bilik generator kecemasan. Selain itu, sistem pemadaman CO_2 tidak seharusnya dipasang di ruang yang biasanya diduduki manusia.



Gambar 1: Lukisan Biasa Susunan Sistem Pemadam Api Karbon Dioksida [1]

REKA BENTUK SISTEM PEMADAMAN KEBAKARAN CO_2

Undang-Undang Kecil Bangunan Seragam (UBBL) 1984 (Pindaan 2021), Undang-Undang Kecil 235 menyatakan bahawa sistem pemadaman kebakaran tetap hendaklah sama ada berbentuk sistem banjiran penuh atau sistem aplikasi tempatan, bergantung kepada jenis bahaya, proses dan penggunaan ruang, serta tertakluk kepada keperluan dan kelulusan Ketua Pengarah Jabatan Bomba dan Penyelamat Malaysia (JBPM). Piawaian yang digunakan bagi sistem pemadaman CO_2 ialah NFPA 12 dan MS 1590 [1].

Sistem pemadaman CO_2 direka untuk mencapai kepekatan pemadaman api sebanyak 50% CO_2 pada suhu 21°C. Bagi kebakaran permukaan (*surface fire*), pelepasan CO_2 hendaklah selesai dalam tempoh kurang daripada 1 minit. Bagi kebakaran jenis *deep-seated fire*, tempoh pelepasan keseluruhan tidak boleh melebihi 7 minit, atau pelepasan kepekatan 30% dalam masa 2 minit [1]. Peningkatan sebanyak 40% dalam kuantiti reka bentuk CO_2 diperlukan bagi aplikasi tempatan yang menggunakan penyimpanan tekanan tinggi kerana hanya bahagian cecair daripada pelepasan tersebut yang berkesan [1]. Sistem pemadaman CO_2 hendaklah direka berdasarkan prinsip *total flooding* dan/atau *local application*, dengan tempoh kelewatan pelepasan selama 30 saat, yang boleh dilaraskan sehingga maksimum 60 saat [1]. Semua komponen sistem mesti ditempatkan, dipasang atau dilindungi daripada kerosakan mekanikal, kimia atau kerosakan lain.

Selain itu, semua peranti yang berfungsi untuk menutup peralatan tambahan hendaklah disepadukan dengan sistem dan beroperasi bersama sistem tersebut [1].

Sistem CO_2 dikuasakan oleh bekalan elektrik utama 240 V AC, 50 Hz. Selain itu, panel kawalan turut mengecas bateri sandaran 24 V DC jenis bebas penyelenggaraan bagi memastikan sistem terus beroperasi secara automatik sekiranya berlaku gangguan atau kegagalan bekalan kuasa utama, serta menyediakan petunjuk kerosakan secara visual dan bunyi [1]. Bateri sandaran hendaklah dicas secara pengecasan perlahan semasa operasi normal. Kawasan yang dilindungi hendaklah dipasang dengan dua atau lebih pengesan haba atau asap, dan pengaktifan pengesan tersebut hendaklah ditunjukkan melalui lampu penunjuk serta bunyi amaran. Sekurang-kurangnya dua zon pengesan perlu diaktifkan sebelum sistem CO_2 dilepaskan secara automatik. Sementara itu, pengaktifan manual sistem CO_2 hendaklah disediakan melalui kotak tarik manual jenis “pecah kaca” (*break glass*), yang dipasang di luar pintu keluar ruang yang dilindungi. Dari segi penyelenggaraan, pendawaian pengesan hendaklah dipantau secara berterusan, dan sebarang kerosakan atau gangguan dalam pendawaian atau litar hendaklah ditunjukkan melalui lampu kerosakan pada panel kawalan dan bunyi buzzer.

PENYIMPANAN DAN KOMPONEN SISTEM

Sistem pemadaman CO_2 direka untuk menyimpan CO_2 dalam bentuk cecair pada suhu persekitaran sama ada dalam silinder tekanan rendah (2068 kPa, disejukkan dan dicairkan) atau silinder tekanan tinggi (5171 kPa pada suhu persekitaran) [1]. Biasanya, penyimpanan pada suhu persekitaran (tekanan tinggi) lebih digemari kerana lebih menjimatkan kos, memandangkan sistem tekanan rendah memerlukan sistem penyejukan tambahan yang meningkatkan kos dan keperluan penyelenggaraan. Silinder hendaklah dinilai pada 59 bar (pada 21 °C), diuji pada tekanan 228 bar, mesti mempunyai penunjuk kuantiti, label kekal (yang menyatakan nombor, berat pengisian dan tahap tekanan silinder), dan bersaiz seragam jika diagihkan oleh pancarongga yang sama [1]. Selain itu, dalam sistem yang menggunakan lebih daripada tiga silinder, satu silinder perintis (*pilot cylinder*) hendaklah disediakan untuk mengaktifkan pelepasan gas daripada setiap silinder. Setiap silinder dilengkapi dengan injap discaj (*discharge valve*) yang dikendalikan oleh solenoid bagi membolehkan CO_2 dilepaskan pada kadar yang diperlukan. Silinder juga dilengkapi dengan tiub sedutan dalaman (*dip tube*) yang memanjang ke dasar silinder bagi membolehkan pelepasan CO_2 dalam bentuk cecair. Selain itu, silinder hendaklah ditempatkan di luar kawasan bahaya dan dilindungi daripada vandalisme.

Panel kawalan pula hendaklah memaparkan status sistem, bahaya dan kerosakan, serta menyediakan penggera bagi keadaan pelepasan, pra-pelepasan dan kerosakan sistem. Panel ini juga perlu mengawal penutupan kipas ekzos dan mengaktifkan tirai keselamatan berkuasa solenoid, serta mematuhi piawaian MS 1404 [1]. Penggera bagi kegagalan peranti yang dipantau hendaklah berbeza daripada penggera operasi sistem atau keadaan berbahaya. Selain itu, suis tekanan paip pelepasan hendaklah dipasang untuk menghantar isyarat kembali ke panel kawalan bagi mengesahkan bahawa gas CO_2 telah dilepaskan.

Sebaliknya, muncung pelepasan CO_2 mesti memenuhi tekanan pelepasan minimum, tahan kakisan, dan ditanda dengan jelas untuk tujuan pengenalpastian serta memaparkan diameter orifis (*orifice*) yang setara, tanpa mengira bentuk dan bilangan muncung. Muncung pelepasan terdiri daripada orifis serta komponen tambahan seperti hon, penghadang atau dinding. Tekanan muncung hendaklah 1034 kPa bagi penyimpanan tekanan rendah, manakala bagi penyimpanan tekanan tinggi tekanan muncung hendaklah 2068 kPa [1]. Selain itu, bagi kawasan yang mempunyai risiko tinggi habuk atau serpihan yang boleh menyumbat muncung, muncung pelepasan hendaklah dilengkapi dengan cakera pecah (*frangible disc*) atau penutup pelepasan bagi mengelakkan penyumbatan oleh bahan asing.

Sistem pengesanan automatik dan loceng penggera hendaklah diaktifkan oleh pengesan haba atau asap yang tahan kakisan, dengan tahap bunyi sekurang-kurangnya 65 dB atau 5 dB melebihi bunyi persekitaran, yang mana lebih tinggi, dan dikuasakan oleh bateri sistem penggera kebakaran [1]. Tambahan lagi, loceng penggera hendaklah jenis loceng bergetar (*trembling bell*)

dan bukannya jenis ketukan tunggal (*single-stroke*). Sementara itu, paip dan kelengkapan CO_2 hendaklah diperbuat daripada bahan tidak mudah terbakar, mampu mengekalkan bentuk semasa kebakaran, serta mematuhi piawaian Jadual API 40 bagi sistem tekanan rendah. Sebaliknya, bagi sistem CO_2 tekanan tinggi, sistem paip CO_2 hendaklah mematuhi Jadual 40 untuk paip berdiameter 20mm dan ke bawah, manakala bagi paip berdiameter 25mm dan ke atas, paip hendaklah mematuhi Jadual 80 [1]. Paip fleksibel, tiub atau hos (termasuk sambungan) yang digunakan harus dapat menahan tekanan terkadar sistem. Tambahan pula, tanda amaran diperlukan di semua pintu masuk dan dalam kawasan terlindung di lokasi yang menonjol dan mudah dilihat.

APLIKASI

Sistem pemadam kebakaran CO_2 digunakan secara meluas kerana tindakan pantas, pemadaman tanpa sisa dan keupayaan pemadaman kebakaran yang sangat berkesan di mana kaedah pemadaman kebakaran lain boleh mengakibatkan kerosakan akibat air, bahan kimia atau sisa. Aplikasi utama sistem pemadaman kebakaran CO_2 termasuk [2]:

a) Persekitaran sensitif – Pusat data, arkib dan muzium di mana peralatan, dokumen dan artifak memerlukan perlindungan daripada kerosakan air atau bahan kimia.
b) Kemudahan perindustrian – Kawasan yang mengendalikan bahan mudah terbakar, gudang barangan berbahaya, turbin, transformer dan sistem pemprosesan logam khusus.
c) Industri marin – Bilik enjin kapal dan platform luar pesisir, di mana ruang terkurung memerlukan penyekatan bukan berasaskan air yang berkesan.
d) Penjanaan kuasa – Kabinet elektrik, bilik, penjana dan pencawang untuk memastikan bekalan kuasa tidak terganggu dan mencegah kerosakan sekunder.
e) Zon berisiko tinggi – Bilik cat, bilik salutan serbuk, sistem hidraulik, aci kabel, silo, penapis habuk dan mesin percetakan.

LANGKAH KESELAMATAN

Sistem pemadam kebakaran CO_2 memerlukan langkah keselamatan yang ketat untuk melindungi orang dan harta benda. Memandangkan CO_2 memadamkan kebakaran dengan mengurangkan tahap oksigen, pendedahan tidak sengaja di ruang terkurung boleh menyebabkan risiko kesihatan yang serius, seperti tidak sedarkan diri dan sesak nafas, yang juga boleh mengakibatkan kematian [3]. Untuk mengelakkannya, sistem pemadam kebakaran CO_2 harus dilengkapi dengan penggera, lengah masa dan protokol pemindahan yang jelas untuk memastikan semua kakitangan keluar sebelum pelepasan gas dilakukan.

Akses ke zon terlindung mesti dihadkan semasa pelepasan, dan hanya kakitangan terlatih sahaja yang boleh mengendalikan sistem, atau menyelia proses kemasukan semula ke ruang terlindung. Pemeriksaan dan penyelenggaraan rutin silinder, injap, pengesan dan paip adalah penting untuk prestasi yang boleh dipercayai. Selepas pengaktifan, pastikan pengudaraan yang betul untuk membuang sisa CO_2 sebelum kemasukan semula. Papan tanda amaran dan notis keselamatan mesti dipaparkan dengan jelas untuk menonjolkan potensi bahaya.

KESIMPULAN

Secara ringkasnya, sistem pemadaman CO_2 menawarkan kaedah pemadaman kebakaran yang cepat, berkesan dan bebas sisa, menjadikannya sangat sesuai untuk melindungi peralatan sensitif, infrastruktur kritikal dan persekitaran perindustrian berisiko tinggi. Keupayaannya untuk memadamkan kebakaran dengan cepat tanpa menyebabkan kerosakan air membantu memelihara aset berharga dan meminimumkan masa henti operasi. Walau bagaimanapun, memandangkan CO_2 berfungsi dengan menggantikan oksigen, protokol keselamatan yang ketat, reka bentuk sistem yang betul dan penyelenggaraan berkala adalah penting untuk memastikan keberkesanan sistem dan keselamatan penghuni.

Ir. Dr. Justin LAI Woon Fatt
CEO/ Pengasas
IPM Group

Rujukan:
[1] Mohammad, N,H. (2025). Guide to Fire Protection in Malaysia (Third Edition). Pertubuhan Akitek Malaysia (PAM).
[2] Jiangxi Aware Fire Technology Co.,Ltd (2025). Carbon Dioxide Fire Suppression: Main System Introduction. Retrieved on 23rd February 2026 from https://www.awarefire.com/carbon-dioxide-fire-suppression
[3] CO2Meter (2025). Dangers of CO2: What You Need to Know. Retrieved on 23rd February 2026 from https://www.co2meter.com/blogs/news/dangers-of-co2-what-you-need-to-know

***This Malay translation is for reference only. If the meaning of the Malay translation is inconsistent with the original English version, the original English version shall prevail.*