

**PROTEKSI KEBAKARAN GEDUNG BERTINGKAT  
LEBIH DARI EMPAT LANTAI MENGGUNAKAN  
SARANA PEMADAMAN DENGAN BAHAN KIMIA**

**MAKALAH**



**Ali Maliki**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
FEBRUARI 1986**

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	ii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Gambaran Umum	1
1.2 Tujuan Perencanaan	1
1.3 Bahaya yang Ditimbulkan Kebakaran Gedung	2
2.3.1 Asap dan Gas-gas	3
2.3.2 Panas dan Nyala Api	3
1.4 Sistem Proteksi Kebakaran Bangunan	4
1.4.1 Perencanaan Konstruksi	5
1.4.2 Bahan Bangunan	5
1.4.3 Pembatasan Hasil Pembakaran	9
2. SISTEM DAN JENIS INSTALASI PROTEKSI KEBAKARAN DENGAN MENGUNAKAN SARANA PEMADAMAN DENGAN BAHAN KIMIA	13
2.1 Sistem Gas CO <sub>2</sub> <sup>11,12)</sup>	13
2.2 Sistem Gas Halon <sup>6,10)</sup>	16
2.3 Pemadam Api Ringan (PAR) <sup>6,14)</sup>	20
3. PERENCANAAN SARANA PEMADAMAN DENGAN BAHAN KIMIA	21
3.1 Perencanaan Instalasi Sistem Gas CO <sub>2</sub> <sup>11)</sup>	21
3.2 Perencanaan Instalasi Sistem Gas Halon <sup>10)</sup>	26
3.3 Perencanaan Pemadam Api Ringan (PAR) <sup>1)</sup>	31
3.4 Identifikasi Biaya	33
4. PENUTUP	35
4.1 Kesimpulan	35
4.2 Saran	36
5. DAFTAR PUSTAKA	64

# **PROTEKSI KEBAKARAN GEDUNG BERTINGKAT LEBIH DARI EMPAT LANTAI MENGGUNAKAN SARANA PEMADAMAN DENGAN BAHAN KIMIA**

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Gambaran Umum**

Perencanaan keamanan bangunan terhadap kebakaran harus merupakan bagian dari disain bangunan secara keseluruhan untuk mendapatkan hasil yang efektif dan ekonomis. Masalah ini umumnya belum mendapat perhatian yang serius dari para perencana, padahal pada hakekatnya tanggung jawab merekalah untuk memperhitungkannya dalam disain. Ini mungkin karena mereka kurang menyadari bahwa kebakaran memberikan beban tambahan pada elemen bangunan dan merupakan 'countermeasures' yang dapat dimasukkan dalam disain.

### **1.2 Tujuan Perencanaan <sup>12)</sup>**

Sebelum perencana membuat disain yang efektif, dia harus mengetahui dengan jelas tuntutan-tuntutan khusus yang berhubungan dengan fungsi bangunan. Penyelidikan untuk mengetahui tujuan dari perencana keamanan bangunan terhadap kebakaran merupakan fungsi disain yang penting. Derajat resiko yang dapat ditanggung oleh pemilik dan penghuni bangunan adalah keputusan disain yang sulit. Konsekuensinya, hal ini sering tidak dapat diungkapkan dengan jelas dan ringkas yang memungkinkan perencana mewujudkan tujuan dari disain dengan semestinya.

Tujuan dari perencanaan keamanan bangunan terhadap kebakaran ini selalu berhubungan dengan:

- a. Keselamatan penghuni, orang-orang lain yang berada di sana dan regu pemadam kebakaran.

Dalam hal ini perencana harus mengetahui pola fungsional yang spesifik, kendala-kendala dan rintangan-rintangan yang ada sebagai hal-hal yang dapat menggambarkan kondisi penghuni, sebelum membuat disain. Ini semua adalah tambahan bagi analisa pola sirkulasi lalu lintas dalam bangunan. Alat-alat proteksi dapat dipasang pada lokasilokasi yang penting untuk menyelamatkan diri.

b. Perlindungan terhadap harta benda.

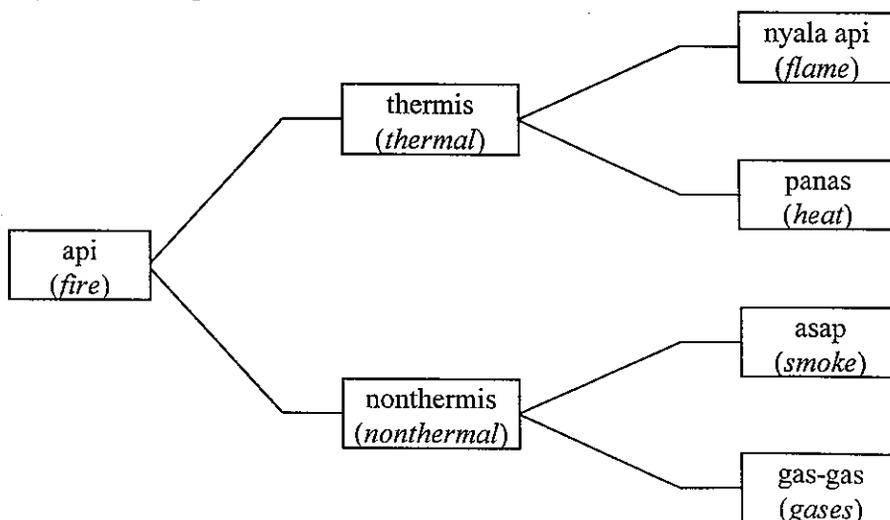
Masukan yang dibutuhkan untuk mendisain perlindungan terhadap harta-benda, umumnya lebih mudah dikenal dan dikontrol. Misalnya, apakah terdapat benda berharga yang memerlukan perlindungan khusus seperti: buku-buku dalam perpustakaan yang sangat peka terhadap api dan air.

c. Usaha untuk menjaga kesinambungan operasi.

Dalam hal ini, pemilik harus mengetahui 'down time' yang dapat diterima. Seringkali dalam menjaga kesinambungan operasi ini, ada suatu fungsi yang lebih penting daripada fungsi-fungsi lainnya sehingga memerlukan perlindungan yang lebih lengkap.

1.3 Bahaya yang Ditimbulkan Kebakaran Bangunan <sup>12)</sup>

Hasil-hasil pembakaran yang harus diperhatikan oleh perencana dapat dikategorikan sebagai berikut:



Gambar 1 Skema hasil-hasil pembakaran <sup>12)</sup>

Manusia dan harta benda dapat dilindungi dari bahaya yang diakibatkan oleh hasil-hasil pembakaran dengan disain bangunan yang efektif. Mengetahui jenis-jenis bahaya yang ditimbulkan tiap komponen dan kemudian menggabungkannya menjadi 'countermeasures' yang efektif dalam disain, merupakan tantangan bagi perencana.

### 1.3.1 Asap Dan Gas-Gas <sup>12)</sup>

Pengalaman menunjukkan bahwa kematian manusia pada waktu kebakaran sebagian besar disebabkan oleh asap dan gas-gas beracun. Biasanya kematian diakibatkan oleh kekurangan oksigen ( $O_2$ ), karena oksigen dalam haemoglobin darah digantikan oleh karbon monoksida (CO). Selain CO, banyak gas beracun lain yang timbul pada saat bangunan terbakar. Gas-gas ini menimbulkan gejala-gejala seperti: sakit kepala, mual, kelelahan, sukar bernapas, kebingungan dan melemahkan fungsi mental.

Bersama gas-gas beracun, asap juga mengakibatkan kematian secara tidak langsung. Asap yang tebal mengaburkan penglihatan dan merangsang mata sehingga penghuni tidak dapat melihat dan menggunakan jalan keluar yang ada, serta menyebabkan ketakutan, kepanikan dan guncangan emosi. Sebagai tambahan, asap juga mengganggu kelancaran kerja petugas pemadam kebakaran.

### 1.3.2 Panas dan Nyala Api <sup>12)</sup>

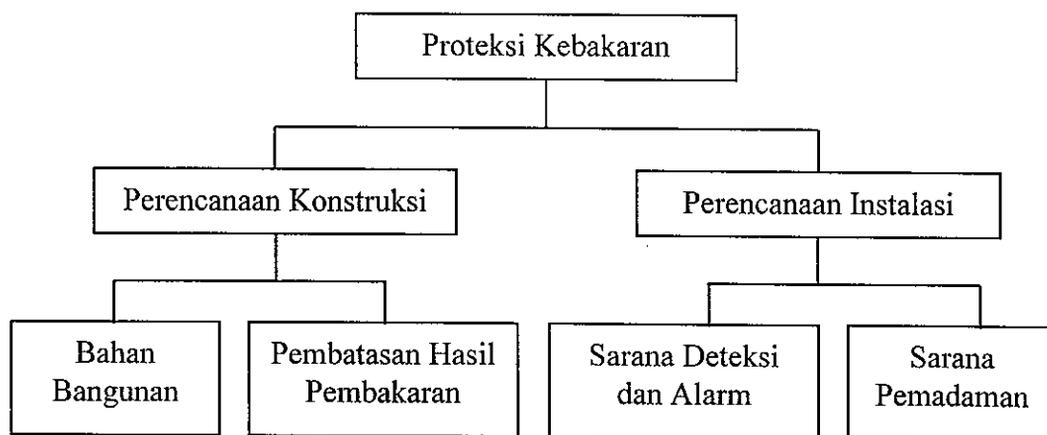
Panas dan nyala api merupakan penyebab utamadari kerusakan bangunan dan isi bangunan, karena itu menjadi pusat perhatian dalam menyusun sistem proteksi kebakaran bangunan.

Panas dan nyala api juga sering dianggap sebagai penyebab utama dari kematian dan luka-luka pada suatu kebakaran. Ini tidak benar, karena faktor-faktor non-thermis lebih dahulu mengancam manusia sebelum faktor-faktor thermis. Tetapi walaupun jumlah korban yang ditimbulkan lebih kecil, luka-luka akibat panas menyebabkan rasa sakit dan guncangan emosi yang serius pada korban.

#### 1.4 Sistem Proteksi Kebakaran Bangunan<sup>12)</sup>

Keamanan bangunan terhadap kebakaran dapat tercapai dengan mencegah terjadinya kebakaran, atau jika sudah terjadi kebakaran, dengan mengontrol pengaruhnya melalui disain struktur. Pencegahan terjadinya kebakaran dicapai dengan memisahkan penyebab nyala api dengan bahan-bahan yang mudah menyala. Tetapi walaupun pencegahan terjadinya kebakaran ini merupakan suatu aspek yang penting, pengalaman menunjukkan bahwa keamanan bangunan terhadap kebakaran tidak dapat bergantung sepenuhnya pada hal ini. Karena itu secara umum proteksi kebakaran mencakup juga hal-hal sebagai berikut: deteksi dan pemadaman api, memperkecil kerugian yang mungkin terjadi, dan melindungi keselamatan manusia dan harta benda.

Sedangkan dalam pengertian khusus, proteksi kebakaran hanya berhubungan dengan cara-cara pengendalian dan pemadaman api. Cara-cara tersebut secara garis besar dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2 Skema proteksi kebakaran

Dalam bab ini akan diuraikan sedikit tentang perencanaan konstruksi, sedangkan perencanaan instalasi, yang berhubungan langsung dengan masalah biaya yang akan dibahas, akan diuraikan dengan lebih terinci dalam bab-bab selanjutnya.

### 1.4.1 Perencanaan Konstruksi <sup>12)</sup>

Untuk mencegah terjadinya kebakaran besar, harus diadakan perencanaan konstruksi yang baik untuk mengendalikan perkembangan api, mencegah penyebarannya ke gedung-gedung yang berdampingan, melindungi sarana penyelamatan diri dan mencegah runtuhnya struktur.

Untuk memperkecil kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur, perencanaan harus memberikan ketahanan yang cukup pada elemen-elemen bangunan sehubungan dengan adanya beban tambahan akibat kebakaran. Ini menyangkut pengenalan perilaku bahan bangunan pada suhu tinggi. Dengan demikian kelemahan-kelemahan bahan harus dapat diketahui dan diberi perlindungan memadai. Sedangkan supaya api tetap dapat dikendalikan, diperlukan pembatasan hasil-hasil pembakaran dengan menggunakan dinding tahan api, lantai, pintu tahan api dan sebagainya.

### 1.4.2 Bahan Bangunan <sup>12,13)</sup>

Kenaikan suhu akibat kebakaran mempunyai pengaruh yang merugikan pada semua bahan bangunan yang digunakan pada konstruksi bangunan. Sampai sejauh mana pengaruh ini mempengaruhi struktur secara keseluruhan bergantung pada fungsi dari elemen dan proteksi yang diberikan. Kekuatan dan kekakuan struktur akan berkurang dengan naiknya suhu. Suhu yang tinggi juga akan menyebabkan pemuaian yang berlebihan.

Adapun sifat bahan bangunan yang diharapkan "tahan" terhadap api dapat dirinci sebagai berikut:

- a. Bahan bangunan harus terdiri dari unsur-unsur bahan yang tidak mudah rusak akibat panas yang tinggi
- b. Mempunyai koefisien ekspansi termis yang rendah sehingga tetap stabil
- c. Tidak mudah rusak berkerut bilamana tersiram air pada suhu tinggi
- d. Tidak mudah terbakar atau suhu penyulutannya tinggi

Berikut ini akan ditinjau sedikit beberapa bahan bangunan yang sering digunakan sehubungan dengan ketahanannya terhadap suhu tinggi:

## (1) Baja Struktur

Baja merupakan tulang punggung disain bangunan modern. Baik sebagai tulangan beton maupun sebagai rangka bangunan. Kekuatannya yang tinggi dan daktilitasnya yang baik menjadikan baja sebagai bahan bangunan yang ideal, tetapi seperti bahan-bahan yang lain, baja juga terpengaruh oleh api.

Baja tidak dapat terbakar dan tidak menyumbangkan bahan bakar pada kebakaran. Sifat-sifat ini memberikan rasa aman palsu dalam hal ketahanannya terhadap kebakaran, karena orang tidak melihat kenyataan bahwa baja kehilangan kekuatannya pada suhu yang mudah dicapai api dalam kebakaran. Kegentingan masalah ini bergantung pada beberapa faktor seperti fungsi elemen baja, tegangan yang terjadi, luas permukaan dan ketebalan, dan suhu baja itu sendiri. Semakin besar tegangannya, semakin cepat batang baja kehilangan kekuatannya pada suhu tinggi. Suhu  $593^{\circ}\text{C}$  dianggap sebagai suhu kritis, karena pada suhu ini tegangan leleh baja berkurang kira-kira 60% dari tegangan leleh baj pada suhu kamar.

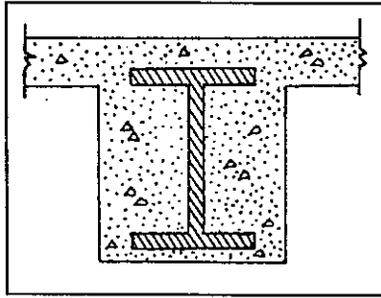
Karena baja merupakan penghantar panas yang baik, maka baja dapat memindahkan panas dari sumbernya dengan cepat. Kalau baja dapat mengalirkan panas ke daerah yang lebih dingin, waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu kritisnya relatif bertambah. Sebaliknya, bila permukaan yang terkena panas lebih luas, waktu ini akan sangat berkurang. Melihat sifat-sifat baja tersebut di atas, baja harus dilindungi agar tidak terkena api secara langsung pada waktu kebakaran. Perlindungan ini dilakukan dengan mengisolasi baja dari panas, contoh:

- Membungkus baja dengan beton.

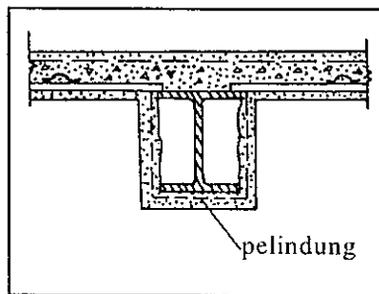
Pada pelat lantai beton yang dipikul oleh balok-balok baja, pembungkusan dapat dilakukan monolit dengan lantai.

Keberatannya terletak pada biaya, yang berhubungan dengan tambahan pekerjaan dan beton, juga menyebabkan adanya tambahan beban mati pada struktur (Gambar 3).

- Untuk mengurangi biaya, dapat digunakan bilah dan plester dari gips (Gambar 4).



Gambar 3 Penampang Baja <sup>12)</sup>



Gambar 4 Penampang Baja <sup>12)</sup>

## (2) Beton Bertulang

Beton sering digunakan untuk membungkus bahan-bahan lain. Dengan sendirinya bangunan terbuat dari beton bertulang memberikan rasa aman terhadap kebakaran. Walaupun keruntuhan struktur beton bertulang sangat jarang terjadi, api menyebabkan kehilangan kekuatan, 'spalling', dan kerusakan-kerusakan lain.

Besarnya penurunan kekuatan beton akibat kenaikan suhu dipengaruhi oleh jenis agregat, kadar air, jenis pembebanan dan besarnya tegangan pada waktu kebakaran. Jenis agregat memegang peranan penting dalam menentukan perubahan kekuatan dan karakteristik termal beton, sedangkan kadar air beton mempengaruhi penampilan termalnya.

## (3) Beton Prategang

Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku beton prategang hampir sama dengan faktor-faktor pada beton bertulang. Hanya sebagai tambahan, beton

dengan kekuatan yang lebih tinggi dan fungsi serta jenis bahan yang digunakan untuk penegangan perlu mendapat pertimbangan khusus. Ketahanan beton dengan mutu yang lebih tinggi, seperti yang digunakan pada beton prategang, lebih baik dibandingkan dengan mutu beton di bawahnya. Penjalaran panas pada kedua sistem ini dapat dikatakan sama. Tetapi kecenderungan beton prategang mengalami 'spalling' lebih besar, sehingga baja prategangnya terbuka. Yang menjadi persoalan utama pada beton prategang sehubungan dengan kenaikan suhunya adalah bajanya. Dalam disain beton prategang, selalu diperhitungkan kehilangan tegangan akibat deformasi dan rangkai. Bila suhunya bertambah, kehilangan tegangan ini akan dipercepat dan hal ini mengurangi kapasitas batang.

Jenis baja yang digunakan pada beton prategang lebih peka terhadap kenaikan suhu dibandingkan baja pada beton bertulang. Bukan saja kekuatannya berkurang pada suhu yang lebih rendah, tetapi kekuatan tersebut tidak akan kembali setelah pendinginan. Kabel beton prategang akan mengalami kehilangan kekuatan yang tetap bila mencapai suhu 4270C.

#### (4) Kayu

Merupakan bahan yang mudah terbakar. Faktor yang penting sehubungan dengan integritas struktur pada kebakaran adalah ukuran fisik dan kada airnya. Kayu yang terbakar akan membentuk arang pada permukaannya dengan kecepatan 0,64 mm per menit. Arang ini memberikan perlindungan yang mengisolasi kayu yang belum terbakar dan memisahkannya dari nyala api. Karena itu kayu berukuran besar dapat mempertahankan keutuhan struktur lebih lama dibandingkan kayu berukuran kecil. Kayu dapat ditingkatkan ketahanannya terhadap suhu tinggi antara lain dengan melapisi permukaannya dengan bahan kimia. Bahan-bahan kimia tersebut akan mencair pada saat kayu mulai terbakar dan membentuk semacam lapisan kaca yang menghalangi oksigen masuk lebih jauh ke dalam bahan kayu tersebut. Selain itu akibat suhu yang tinggi bahan kimia tersebut akan terurai dan membentuk gas yang menghalau api.

### 1.4.3 Pembatasan Hasil Pembakaran <sup>7,12)</sup>

Sebuah bangunan dapat melindungi manusia dan harta benda baik dengan cara membatasi penyebaran api dan hasil-hasil pembakaran maupun dengan menyediakan tempat berlindung dalam bangunan itu. Dalam kedua kasus tersebut diperlukan rintangan-rintangan yang mencegah api dan hasil-hasil pembakaran memasuki daerah-daerah lain.

Rintangan-rintangan yang diberikan harus sanggup menahan segala gaya yang dihasilkan sebuah kebakaran. Ini termasuk gaya-gaya termal dari nyala api dan panas, dan tekanan yang disebabkan pemuaian gas-gas akibat pembakaran. Evaluasi dari beban api dalam sebuah struktur merupakan dasar yang baik untuk memperhitungkan kekuatan dari rintangan-rintangan yang diperlukan. Beban api ini berhubungan langsung dengan durasi kebakaran, atau dengan kata lain, dengan ketahananpian struktur.

Beban api adalah dugaan jumlah bahan yang mudah terbakar maksimum dalam suatu ruangan atau kompartemen, biasanya dinyatakan dalam berat ekuivalennya dengan berat kayu per satuan luas lantai. Supaya dapat menggunakan prinsip beban api dalam mendisain bangunan, harus diketahui dulu klasifikasi isi bangunan yang direncanakan.

Pembatasan hasil pembakaran ini meliputi:

#### (1) Pembatasan hasil pembakaran thermis

Gagasan dari suatu pembatasan kebakaran yang kadang-kadang disebut juga kompartemenisasi adalah bahwa api, asap dan gas harus dapat dibatasi dalam suatu bagian dari bangunan yang disebut kompartemen. Oleh karena itu bangunan harus dibuat sedemikian rupa sehingga kompartemen-kompartemen lainnya tidak akan terpengaruh bila terjadi kebakaran di salah satu kompartemen. Dengan demikian segera setelah suatu kebakaran diketahui, para penghuni dapat meninggalkan kompartemen yang terbakar dan berlindung pada daerah-daerah yang aman. Kompartemenisasi ini harus mencakup seluruh bangunan, karena usaha-usaha untuk memperkirakan tempat awal kebakaran tidak dapat memberikan pendekatan yang rasional terhadap proteksi kebakaran. Besarnya suatu kompartemen ditentukan oleh

tinggi dan penggunaan bangunan. Pada gedung-gedung tinggi, suatu lantai (tingkat) dianggap sebagai satu kompartemen, dan berbagai peraturan bangunan membatasi luas satu kompartemen antara 600 - 2500 m<sup>2</sup>, bergantung pada jarak antara bangunan satu dengan bangunan yang lain. Di samping itu, untuk bangunan yang mempunyai lebih dari satu jenis penggunaan harus diadakan kompartemenisasi untuk setiap penggunaan. Pembatasan dimulai dengan dinding, atap dan lantai di sekitar kebakaran berasal dan di sekitar lubang-lubang yang ada. Peraturan yang ada menyatakan, derajat proteksi kebakaran yang harus diberikan pada elemen-elemen bangunan ini disesuaikan dengan tingkat bahaya sehubungan dengan penggunaan bangunan, tipe konstruksi bangunan, dan fungsi elemen-elemen tersebut (misalnya: dinding yang memikul beban atau tidak). Lubang-lubang lantai biasanya mendapat derajat proteksi yang lebih rendah karena umumnya perabot tidak ditempatkan langsung di dekatnya. Untuk mencegah penjalaran api ke gedung yang berdampingan, lubang jendela pada dinding luar membutuhkan proteksi khusus, selain itu harus diperhatikan juga jarak antar bangunan. Pencegahan penyebaran api dari jendela ke jendela pada gedung yang sama dapat dilakukan dengan menionolkan Pelat lantai atau memperluas daerah di antara jendela-jendela. Alat yang paling banyak digunakan untuk proteksi lubang-lubang horizontal dan vertikal adalah pintu tahan api. Pintu-pintu ini harus diuji terlebih dahulu sebelum dipakai supaya dapat diandalkan untuk proteksi yang efektif. Dinding tahan api didisain untuk tetap tegak dan menghentikan perialanan Panas dan nyala api dengan efektif sekalipun bagian bangunan di balik dinding tersebut telah mengalami kerusakan berat atau runtuh. Jelaslah bahwa pintu-pintu pada lubang-lubang dinding tahan api praktis harus mempunyai keefektifan yang sama dengan dinding itu sendiri. Mengingat bahaya dari asap dan hasil pembakaran lainnya, sekarang ini sedang dipertimbangkan penggunaan pintu yang benar-benar rapat. Ini memberikan perlindungan bagi orang-orang yang menggunakan selasar untuk menyelamatkan diri bila api berkobar dalam ruangan, dan bagi orang-orang di dalam ruangan bila api menyala di selasar. Satu hal yang penting yaitu tidak

membiarkan pintu dalam keadaan terbuka antara ruangan yang terbakar dengan selasar. Lubang-lubang lain pada dinding, atap dan lantai dari suatu ruangan meliputi lubang ventilasi, saluran pengatur suhu ruangan, lubang-lubang untuk pipa ledeng dan listrik, dan lain-lain. Lubang-lubang semacam ini tidak boleh diabaikan, karena tekanan yang bertambah akibat kebakaran dapat mendorong asap, panas dan gas-gas berbahaya menembus retak-retak dan lubang-lubang yang sangat kecil sekalipun. Tembusantembusan ini harus dilengkapi dengan penghenti api (*firestopped*), dan lubang-lubang tertentu sebaiknya diberi penutup yang bekerja secara otomatis.

(2) Pembatasan hasil pembakaran non-thermis

Bahaya-bahaya yang diakibatkan asap dan gas-gas beracun yang ditimbulkan kebakaran telah diuraikan di muka. Karena itu jelaslah bahwa pengendalian asap merupakan persoalan yang serius, terutama pada gedung-gedung tinggi. Sebelum sampai pada cara pengendalian asap, ada baiknya ditinjau terlebih dahulu mekanisme gerak penjalaran asap. Perbedaan tekanan yang disebabkan oleh adanya angin, kipas angin, atau alat pendingin, menyebabkan gerak penjalaran asap, akan tetapi perbedaan suhu antara lantai atas dan lantai bawah adalah penyebab utama dari penjalaran asap. Di tempat kebakaran panas akan bertambah dan udara akan berkembang sehingga mendesak dan menggerakkan asap (pengaruh cerobong). Bila kebakaran terjadi di lantai bawah asap akan terdesak ke atas dan melalui lubang-lubang tangga menyebar ke seluruh bangunan. Ada beberapa pendekatan untuk mengendalikan asap pada bangunan. Pertama membatasi isi bangunan yang menimbulkan asap bila terbakar. Pendekatan lainnya dengan mengandalkan pemadaman api yang cepat sebelum intensitas asap mulai membahayakan. Pendekatan-pendekatan lainnya menyangkut penggunaan lubang asap, rintangan asap, ventilasi, tekanan udara, atau kombinasinya. Metoda pengendalian asap menyangkut penipisan, pembuangan, atau pembatasan. Biasanya dipergunakan kombinasi dari hal-hal tersebut di atas. Prinsip-prinsip ini, dikombinasikan dengan ruang-ruang fungsional dan sistem

rekayasa dalam bangunan, dapat memberikan tempat perlindungan sementara bagi para penghuni. Penipisan asap adalah konsep pengendalian asap yang disukai. Secara teoritis, apabila gedung cukup luas dan asap dibuang melalui metoda ventilasi yang baik, pengaruh asap dan gas-gas hasil pembakaran lainnya akan dipertipis sampai tidak menimbulkan masalah lagi. Penipisan asap ini dapat berhasil hanya dengan memompakan sejumlah besar udara bersih atau setelah pembuangan udara yang tereemar dilakukan secara konstan dalam perioda tertentu. Tentu saja perioda ini harus sesuai dengan daya tahan manusia di daerah kritis. Karena itu, proteksi penghuni hanya dengan penipisan asap tidak mendatangkan hasil yang memuaskan. Penggunaannya terbatas pada kebakaran-kebakaran kecil yang mudah dipadamkan. Biasanya pada kasus ini dipakai sistem pemadam kebakaran otomatis. Metoda kedua menyangkut pembuangan asap. Membuang asap, terutama pada gedung-gedung tinggi atau ruangan-ruangann bawah tanah, memberikan banyak keuntungan. Supaya cara ini dapat berjalan dengan baik diperlukan jalan khusus tempat asap melintas dan tenaga yang cukup untuk menggerakkannya sepanjang jalan tadi. Lubang asap adalah sebuah jalan untuk menyalurkan udara buangan ke luar bangunan. Lubang asap ini berupa terowongan vertikal dalam bangunan dari dasar sampai ke puncak, ujungnya dibuat lebih tinggi dari atap. Tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan asap didapat dari pengaruh cerobong atau dari kipas angin pembantu. Metoda ketiga menyangkut pembatasan asap. Tujuannya adalah merintang jalannya asap ke daerah-daerah tertentu. Ada dua cara yang dapat dilakukan. Pertama dengan mempergunakan rintangan fisik seperti pintu, dinding, atau peredam yang menghalangi pergerakan asap. Rintangan fisik ini mengurangi ukuran dari bukaan, dengan demikian mengurangi jumlah asap yang masuk. Walaupun demikian belum ditemukan sistem yang tepat yang dapat membatasi asap hanya dengan mempergunakan rintangan fisik. Alternatif lain adalah penggunaan perbedaan tekanan antara udara berasap dengan udara pada daerah yang dilindungi. Penambahan tekanan udara ini, dengan

&tau; tanpa pembuangan simultan, memberikan rintangan yang efektif. Kombinasi dari kedua cara ini tampaknya merupakan metoda yang paling praktis untuk melindungi suatu daerah dari gangguan asap dan gas-gas beracun. Penggunaan lantai tahan api yang dikombinasikan dengan rintangan-rintangan fisik dan penambahan tekanan pada ruang di atas dan di bawah lantai yang terbakar dapat membatasi asap di dalam daerah kebakaran dan melindungi penghuni yang berada di tempat perlindungan dalam bangunan tersebut.

## **2. SISTEM DAN JENIS INSTALASI PROTEKSI KEBAKARAN MENGGUNAKAN SARANA PEMADAMAN DENGAN BAHAN KIMIA**

### **2.1 Sistem Gas CO<sub>2</sub> <sup>11,12)</sup>**

Gas CO<sub>2</sub> mempunyai sifat-sifat yang memungkinkan untuk dipakai sebagai pemadam kebakaran, antara lain tidak dapat terbakar, tidak bereaksi dengan kebanyakan bahan kimia, dan mempunyai tenaga sendiri untuk memancar keluar dari tabung penyimpanannya.

Sebagai gas, CO<sub>2</sub> dapat memasuki celah-celah sempit dan karena beratnya hanya 1,5 kali berat udara, maka CO<sub>2</sub> sangat cepat membaaur di udara tetapi akibatnya hanya dapat mencapai jarak pancaran yang dekat. Selain itu CO<sub>2</sub> tidak dapat membentuk campuran yang homogen dengan udara sehingga setelah beberapa saat akan terbentuk lapisan.

Walaupun CO<sub>2</sub> mempunyai kadar racun yang ringan tetapi dapat menyebabkan ketidaksadaran bahkan kematian bila terdapat dalam konsentrasi pemadaman kebakaran. Dalam kasus ini kematian umumnya disebabkan mati lemas bukan karena pengaruh racunnya. Orang dapat bertahan dalam beberapa menit tanpa kehilangan kesadaran pada konsentrasi CO<sub>2</sub> 9%, pada konsentrasi yang lebih tinggi biasanya sulit tertolong lagi. Oleh karena itu semua orang yang berada dalam ruangan pada saat CO<sub>2</sub> mulai dipancarkan harus segera meninggalkan ruangan sebelum konsentrasi kritisnya tercapai.

CO<sub>2</sub> disimpan dalam tabung bertekanan tinggi dalam bentuk cair. Bila klep pemancar dibuka, maka cairan CO<sub>2</sub> akan memancar keluar dengan tekanan sangat tinggi, kurang lebih 60 kg/cm<sup>2</sup>, melalui lubang orifis yang keeil. Pada udara

biasa, titik didih  $\text{CO}_2$  adalah  $-80^\circ\text{C}$ . Segera setelah cairan  $\text{CO}_2$  mencapai tekanan udara luar yang rendah, maka 75% langsung menguap dan menjadi gas. Dalam proses penguapan ini dibutuhkan panas yang diambil dari sisa cairan yang 25% sehingga sisa cairan tadi berubah menjadi beku dan berbentuk butiran-butiran es atau salju. Pancaran gas  $\text{CO}_2$  dan salju merupakan campuran yang sangat dingin sehingga terjadi proses kondensasi lembab udara yang menyebabkan kabut putih. Gas  $\text{CO}_2$  memadamkan kebakaran dengan cara menurunkan konsentrasi zat asam di udara sampai dibawah 14%. Pada konsentrasi zat asam dibawah 14%, api tidak dapat menyala.

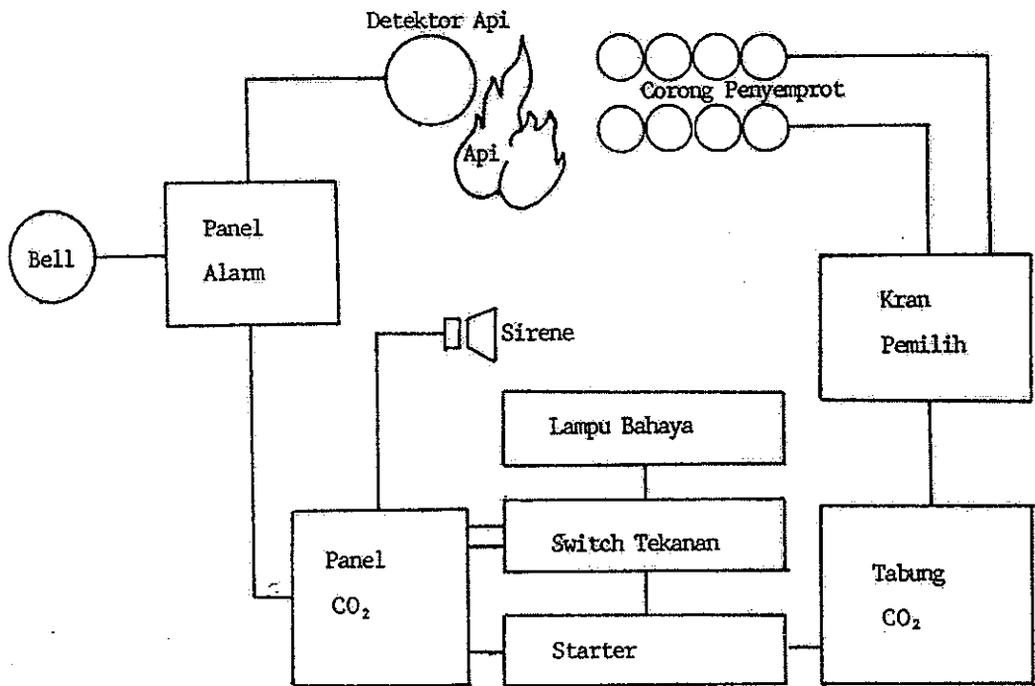
$\text{CO}_2$  dapat digunakan untuk memadamkan kebakaran pada semua jenis bahan yang mudah terbakar, kecuali beberapa logam aktif dan hidrida logam, serta bahan-bahan yang mengandung O (seperti: cellulose nitrate). Akan tetapi  $\text{CO}_2$  paling banyak digunakan untuk memadamkan kebakaran cairan karena dapat dengan cepat membentuk udara lembam sementara di atas permukaan cairan.

Sifat  $\text{CO}_2$  yang tidak merusak membuat  $\text{CO}_2$  digunakan dalam sistem proteksi pada ruangan-ruangan yang berisi barang-barang berharga seperti ruang penyimpanan arsip, Perpustakaan, dan sebagainya. Dan karena  $\text{CO}_2$  bukan penghantar listrik maka digunakan juga untuk proteksi peralatan listrik.  $\text{CO}_2$  juga digunakan untuk melindungi peralatan dan proses produksi, karena  $\text{CO}_2$  tidak atau sedikit saja menyebabkan kerusakan pada peralatan dan bahan-bahan dalam proses, dan tidak meninggalkan cairan atau residu padat yang harus dibersihkan, dengan demikian kerusakan dan 'downtime' setelah suatu kebakaran terjadi menjadi minimal.

Keuntungan lain dari penggunaan  $\text{CO}_2$  ialah karakteristiknya tidak berubah walaupun disimpan untuk jangka waktu lama dan ekonomis dalam biaya pengisian.

Api dalam atau api sekam dapat juga dipadamkan dengan mepergunakan  $\text{CO}_2$ , karena gas  $\text{CO}_2$  dapat memasuki celah-celah sempit dan mencapai api. Akan tetapi apabila api sekam tidak seluruhnya padam, api dapat menyala kembali karena beberapa waktu setelah memadamkan api permukaan konsentrasi padam menjadi berkurang dengan bercampurnya udara. Ini merupakan salah

satu kekurangan CO<sub>2</sub> yaitu tidak dapat mencegah teriadinya kebakaran kembali setelah api padam (reignitasi).



Gambar 5 Sistem pemadaman dengan gas CO<sub>2</sub> <sup>11)</sup>

Tipe sistem:

(1) Sistem pembanjiran total

Adalah cara pemadaman kebakaran dimana CO<sub>2</sub> disemprotkan merata ke seluruh ruangan sampai kebakaran dapat diatasi. Sistem ini umumnya digunakan untuk memadamkan kebakaran permukaan yang menyangkut cairan dan benda padat yang mudah terbakar, tetapi dapat juga digunakan untuk memadamkan api sekam (seperti: buku-buku, katun, dan lain-lain), dalam ruangan tertutup. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang digunakan pada sistem ini antara 30% - 60% sehingga berbahaya bagi manusia. Oleh karena itu sistem sebaiknya jangan bekerja sebelum penghuni ruangan dapat keluar. Untuk itu diperlukan alarm sebagai peringatan bagi penghuni dan beberapa saat kemudian baru sistem bekerja.

## (2) Sistem pemadaman setempat

Dalam hal ini pemadaman dilakukan dengan menyemprotkan gas  $\text{CO}_2$  langsung pada bahan yang terbakar. Prinsip dasar dari sistem ini adalah menyemprotkan  $\text{CO}_2$  secepat mungkin sehingga api dapat dipadamkan sebelum bahan-bahan lain dalam daerah proteksi menyerap panas yang berlebihan. Sistem ini cocok untuk kebakaran permukaan yang menyangkut cairan yang mudah menyala dan lapisan yang mudah terbakar (misalnya cat) di dalam ruangan yang besar atau banyak bukaan. Pemadaman setempat dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

### a. Cara luas permukaan

Dalam hal ini api biasanya hanya terdapat pada lapisan permukaan, sehingga luasnya dapat diperhitungkan untuk menentukan jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang diperlukan.

### b. Berdasarkan volume barang

Untuk api tiga dimensi, jumlah gas  $\text{CO}_2$  yang diperlukan bergantung pada volume barang yang mungkin terbakar.

## 2.2 Sistem Gas Halon<sup>6,10)</sup>

Zat pemadam halogen adalah hidrokarbon yang satu atau lebih atom hidrogennya digantikan oleh atom halogen. unsur-unsur dari golongan halogen adalah Fluor (F), Chlor (Cl), Brom (Br) dan Jod (J).

Hidrokarbon sendiri adalah zat yang sangat mudah menyala, tetapi umumnya penggantian dengan atom-atom Halogen menghasilkan suatu senyawa yang tidak dapat menyala bahkan dapat digunakan sebagai pemadam.

Dewasa ini zat pemadam halogen dikenal dengan nama Halon. Untuk menggambarkan komposisi kimia dari Halon tanpa menggunakan nama-nama kimia atau singkatan-singkatan yang mungkin membingungkan, dibuat suatu sistem penamaan yang sederhana. Contoh sistem penamaan ini terlihat pada Tabel 1. Angka pertama nomor Halon menunjukkan jumlah atom Carbon dalam satu molekul senyawa; angka kedua, jumlah atom Fluor; angka ketiga, jumlah

atom Chlor; angka keempat, jumlah atom Brom; angka kelima, jumlah atom Jod (bila ada).

Contoh: Bromotrifluorometan ( $\text{BrCF}_3$ )

Nomor Halon: 1301 artinya 1 = jumlah atom C

3 = jumlah atom F

0 = jumlah atom Cl

1 = jumlah atom Br

Tabel 1 Contoh Nomor Halon untuk Berbagai Zat Pemadam Halogen <sup>6)</sup>

Nama kimia	Rumus kimia	No. Halon
Metil bromida	$\text{CH}_3\text{Br}$	1001
Metil jodida	$\text{CH}_3\text{J}$	10001
Bromochlorometan	$\text{BRCH}_2\text{Cl}$	1011
Dibromodifluorometan	$\text{Br}_2\text{CF}_2$	1202
Bromochlorodifluorometan	$\text{BrCClF}_2$	1211
Bromotrifluorometan	$\text{BrCF}_3$	1301
Carbon tetrachloride	$\text{CCl}_4$	104
Dibromotetrafluoroetan	$\text{BrF}_2\text{CCBrF}_2$	2402

Unsur-unsur Halogen yang umum terdapat pada zat pemadam adalah F, Cl, dan Br. Penggantian atom H dengan ketiga unsur Halogen tersebut mempengaruhi sifat-sifat senyawanya. Fluor memberikan stabilitas, sifat tidak menyala, dan kadar racun rendah, tetapi sedikit mempengaruhi titik didih dan hanya memberikan sifat pemadaman yang terbatas. Chlor akan membuat senyawa lebih mudah bereaksi, sifat pemadamannya meningkat, demikian pula titik didih dan kadar racunnya. Bila Chlor diganti dengan Brom, sifat-sifat tersebut di atas akan semakin meningkat. Jadi tampaknya pemadaman yang efektif hanya dapat diberikan oleh zat yang beracun. Sesungguhnya ini tidak menjadi masalah karena beberapa senyawa yang mengandung F dan satu atom atau lebih atom Cl atau Br

(misalnya, Halon 1301, 1211) kadar racunnya dapat diterima dan mempunyai sifat pemadaman yang baik. Senyawa dengan Jod tidak digunakan karena kadar racunnya tinggi dan tidak stabil.

Baik dalam bentuk gas maupun cairan, Halon akan menguap dengan cepat pada kebakaran sehingga Halon tidak korosif dan tidak meninggalkan residu setelah digunakan. Halon tidak menghantarkan listrik dan mempunyai berat jenis cair yang tinggi sehingga dapat disimpan dalam tempat yang kecil.

Mekanisme pemadaman dari zat-zat Halogen tidak dapat dimengerti dengan jelas. Tetapi tidak diragukan lagi bahwa pemadaman dengan reaksi kimia dapat diperkirakan lebih efektif daripada penyingkiran panas atau 'smothering', karena dapat menghalangi proses pembakaran dengan memutuskan rantai reaksi kimia pembakaran.

Dalam pemadaman kebakaran, yang harus diperhatikan adalah pengaruh racun dan pengaruh-pengaruh lainnya yang mengganggu bila berhadapan langsung dengan uap Halon dan hasil penguraiannya.

Tabel 2 Konsentrasi Mematikan Berbagai Uap Pemadam Kebakaran Bila Terhirup Selama 15 Menit Berdasarkan Percobaan pada Tikus Putih <sup>6)</sup>

No. Halon	Konsentrasi mematikan (ppm)	
	Uap alamiah	Uap terurai
1301	832.000	14.000
1211	324.000	7.650
1202	54.000	1.850
1011	65.000	4.000
2402	126.000	1.600
104	28.000	300
1001	5.900	9.600

Dalam Tabel 2 terlihat bahwa Halon 1301 paling kecil bahayanya dan karena itu paling banyak digunakan. Dalam keadaan tidak terurai, Halon 1301 mempunyai ambang keselamatan sebagai berikut:

<u>Konsentrasi dalam volume</u>	<u>Lama ketahanan manusia</u>
7% atau kurang	5 menit
7 - 10%	1 menit

Kebakaran biasanya dapat cepat dipadamkan dengan konsentrasi kurang dari 7% sehingga uap dan gas yang tertinggal tidak atau hanya sedikit berbahaya dan jika terhirup dalam waktu 5 menit belum mempengaruhi kesehatan.

Apabila gas Halon terkena panas sampai 510°C maka akan terurai secara kimiawi menjadi gas Hidrogen Bromida (HBr), Hidrogen Fluorida (HF), dan Halogen bebas (Br<sub>2</sub>), dengan sedikit Karbonil Halida (CoF<sub>2</sub>. CoBr<sub>2</sub>), yang bila terlalu lama dihisap akan berbahaya bagi manusia.

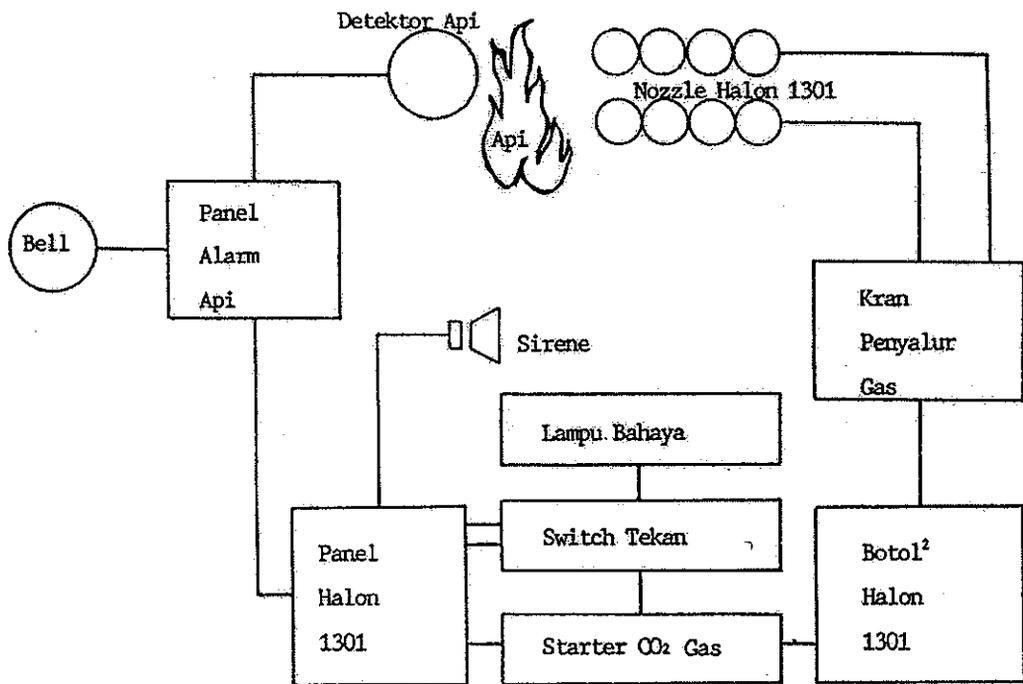
Sistem Halon biasanya dipertimbangkan untuk digunakan,

- bila dikehendaki bahan-bahan tetap bersih dan tidak ternoda setelah pemadaman
- bila terdapat jaringan listrik dan peralatan elektronik
- pada kebakaran gas dan minyak
- pada kebakaran permukaan benda-benda padat
- pada perlindungan proses atau obyek yang bernilai tinggi
- pada daerah yang biasa atau sering digunakan pegawai
- bila persediaan air atau ruangan untuk sistem zat pemadam lain terbatas.

Sistem Halon ini juga lebih ditujukan untuk melindungi isi bangunan, sedangkan sistem sringkler umumnya digunakan untuk melindungi struktur bangunan. Tetapi sistem Halon ini tidak efektif untuk dipakai pada:

- bahan bakar yang mengandung zat untuk oksidasi (seperti mesiu, bahan bakar roket, dan sebagainya)
- logam-logam reaktif (seperti Sodium, Potasium, Magnesium, dan sebagainya)
- hidrida logam, seperti Lithium Hidrida.

Tipe sistem Halon 1301 sama dengan sistem CO<sub>2</sub>



Gambar 6 Sistem pemadaman dengan Halon 1301<sup>10)</sup>

### 2.3 Pemadam Api Ringan (PAR)<sup>6,14)</sup>

Semua kebakaran bermula dari api kecil yang dapat dengan mudah dipadamkan bila tersedia zat pemadam yang tepat dengan jumlah yang tepat dan dapat digunakan sebagaimana mestinya. Untuk keperluan inilah diciptakan pemadam api ringan. PAR ini harus selalu dalam keadaan siap pakai dan tidak boleh membahayakan pemakainya, untuk itu diperlukan disain, konstruksi, dan pemeliharaan yang baik. Hal pokok yang juga harus diperhatikan pada penggunaan PAR ini ialah pemilihan PAR harus sesuai dengan jenis, ukuran, dan intensitas kebakaran yang mungkin terjadi.

Untuk memudahkan pemilihan PAR yang tepat sesuai dengan jenis kebakaran yang bersangkutan, diadakan penggolongan kebakaran berdasarkan macam bahan yang mula-mula terbakar pada saat awal kebakaran.

Penggolongan kebakaran tersebut adalah sebagai berikut:

Golongan A: Kebakaran bahan padat kecuali logam.

Dibagi dalam 4 sifat kebakaran:

- a. Kebakaran pada permukaan bahan seperti kayu, kertas, tekstil, dan sebagainya.
- b. Kebakaran sampai bagian dalam dari bahan seperti: kayu, arang batu.
- c. Kebakaran dari bahan-bahan yang langka dan berharga misal yang berada di museum-museum, arsip-arsip, dan sebagainya.
- d. Kebakaran dari bahan yang pada pemanasan mudah mengurai seperti karet, busa, plastik, dan sebagainya.

Golongan B: Kebakaran bahan cair dan gas yang mudah terbakar. Bahan cair yang mudah/dapat terbakar:

- a. Yang tidak dapat bereampur dengan air seperti bensin, premium, bensol, cat, tir, lak, lemak, minyak, dan sebagainya.
- b. Yang dapat bercampur dengan air seperti alkohol dan sejenisnya yang dapat melarut dalam air.

Gas yang mudah atau dapat terbakar:

- a. Gas yang mengalir
- b. Bahan-bahan yang dengan air dapat menimbulkan gas yang mudah atau dapat terbakar.

Golongan C: Kebakaran listrik ialah komponen-komponen listrik, bagian serta instalasi listrik yang bertegangan (spaning) misalnya: panel penghubung, peti penghubung, sentral telepon, trafo, dll.

Golongan D: Kebakaran logam seperti serbuk Aluminium, Kalium, Natrium, Magnesium.

### **3. PERENCANAAN SARANA PEMADAMAN DENGAN BAHAN KIMIA**

#### **3.1 Perencanaan Instalasi Sistem Gas CO<sub>2</sub> <sup>11)</sup>**

Perencanaan sistem gas CO<sub>2</sub>, yang dibahas di sini meliputi: penentuan jumlah gas CO<sub>2</sub> yang diperlukan untuk pemadaman, perencanaan pemipaan, perencanaan kepala pemancar.

##### **1. Penentuan jumlah gas CO<sub>2</sub> yang diperlukan**

- Pada kebakaran permukaan

Sebagai dasar perhitungan digunakan faktor isi dalam menentukan jumlah gas CO<sub>2</sub> yang diperlukan untuk memadamkan kebakaran, dengan konsentrasi gas sampai 34%. Pada keadaan-keadaan khusus yang mungkin mempengaruhi efisiensi pemadaman, misalnya lubang-lubang yang tidak dapat ditutup, jumlah gas CO<sub>2</sub> harus ditambah sebagai kompensasi terhadap gas CO<sub>2</sub> yang hilang. Penambahan ini dihitung berdasarkan faktor lubang terbuka. Faktor isi, faktor lubang terbuka dan jumlah gas CO<sub>2</sub> minimum yang diperlukan dalam berbagai isi ruangan dapat dilihat pada Tabel 3. Pada beberapa kebakaran gas atau cairan yang mudah menyala, diperlukan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang lebih besar dari 34%, seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 3 Faktor Isi dan Faktor Lubang Terbuka untuk Gas CO<sub>2</sub> <sup>11)</sup>

Isi Ruang (m <sup>3</sup> )	Faktor Isi (kg/m <sup>3</sup> )	Faktor Lubang Terbuka (kg/m <sup>2</sup> )	Perhitungan Tak Kurang dari (kg) CO <sub>2</sub>
s.d. 3.96	1.15	5.0	-
3.97 - 14.15	1.07	5.0	405
14.16 - 45.28	1.01	5.0	15.1
45.29 - 127.35	0.90	5.0	45.4
127.36 - 1415	0.80	5.0	113.5
>1415	0.77	5.0	1135.0

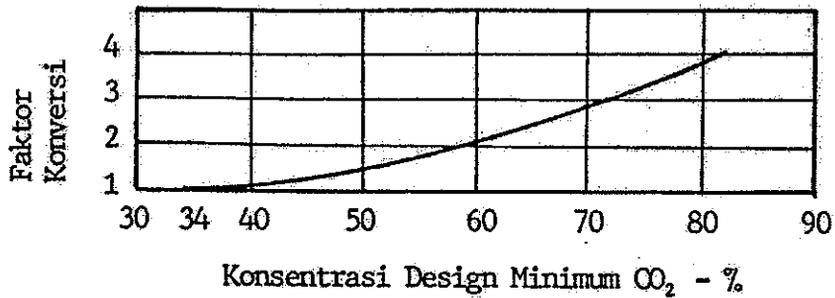
Tabel 4 Konsentrasi CO<sub>2</sub> Pada Kebakaran Gas dan Cairan yang Mudah Menyala <sup>11)</sup>

Material	Konsentrasi Min. CO <sub>2</sub> Teoritis (%)	Konsentrasi Min. CO <sub>2</sub> Disain (%)
Acetylene	55	66
Acetone	26	31
Benzol	31	37
Butadine	34	41
Butan	28	34

Tabel 4 Konsentrasi CO<sub>2</sub> Pada Kebakaran Gas dan Cairan yang Mudah Menyala <sup>11)</sup> [Lanjutan]

Material	Konsentrasi Min. CO <sub>2</sub> Teoritis (%)	Konsentrasi Min. CO <sub>2</sub> Disain (%)
Carbon Disulphide	55	66
Carbon Monoxide	53	64
Coal or Natural Gas	31	37
Ethane	33	40
Ethyl Ether	38	46
Ethyl Alcohol	36	43
Ethylene	41	49
Ethylene Dichloride	21	25
Gasoline	28	34
Hexane	29	35
Hydrogen	62	74
Isobutane	30	36
Kerosene	28	34
Methane	25	30
Methyl Alcohol	26	31
Pentane	29	35
Propane	30	36
Quench Lube Oils	28	34

Jika untuk pemadaman diperlukan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> lebih dari 34%, maka jumlah gas CO<sub>2</sub> yang diperlukan dihitung dengan suatu faktor yang dikalikan dengan nilai pada tabel di atas. Besarnya faktor konversi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Faktor konversi untuk perhitungan jumlah gas CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi lebih dari 34% <sup>11)</sup>

Pada keadaan khusus dimana temperatur ruang tertutup dalam keadaan normal lebih besar dari 93°C ( ruang pengering, oven dll.), maka untuk setiap kenaikan suhu 3°C di atas 93°C harus dihitung tambahan konsentrasi gas sebesar 1%. Demikian juga untuk ruang tertutup yang temperatur normalnya berada di bawah -18°C, tambahan konsentrasi gas sebesar 1% harus diberikan pada tiap penurunan suhu 0,5°C di bawah -18°C.

- Pada kebakaran dalam (sekam)

Berdasarkan hasil percobaan, diperlukan konsentrasi CO<sub>2</sub>, faktor isi dan faktor lubang terbuka yang lebih besar dalam memadamkan api sekam untuk bahaya khusus (Tabel 5).

Tabel 5 Konsentrasi CO<sub>2</sub>, Faktor Isi, Faktor Lubang Terbuka untuk Bahaya Khusus <sup>11)</sup>

Bahaya Khusus	Konsentrasi Disain (%)	Faktor Isi (kg/m <sup>3</sup> )	Faktor Lubang Terbuka (kg/m <sup>2</sup> )
Listrik – listrik, bahaya isolasi listrik (>90 kg)	50	1.33	10.0
Kabel – kabel listrik untuk mesin listrik kecil (<56.6 m)	50	1.60	10.0
Gulungan Kertas, gulungan plastik, katun, tekstil dll	65	2.00	15.0
Gudang-gudang wol, tumpukan penyedot debu, karet-karet dan lain-lain.	75	2.66	20.0

Dengan mengetahui isi ruang yang akan diproteksi dan luas lubang-lubang terbuka pada ruang tersebut, dapat dihitung jumlah gas CO<sub>2</sub> untuk melindungi ruang tersebut. Gas disimpan pada tabung dalam bentuk cairan. Berat isi dari tabung CO<sub>2</sub> yang standard adalah 45 kg, tetapi dapat juga diisi gas seberat 30 kg dan 40 kg.

## 2. Perencanaan pemipaan

Panjang Pipa diukur dari tempat tabung CO<sub>2</sub> Sampai ke kepala pemancar di ruang yang diproteksi. Kapasitas aliran untuk beberapa ukuran pipa dapat dilihat pada Tabel 6 . Tabel 'A' digunakan bila jarak tabung CO<sub>2</sub> dengan kepala pemancar kurang dari 50 m, Tabel 'B' bila jaraknya kurang dari 75 m, dan Tabel 'C' bila jaraknya kurang dari 100 m.

Tabel 6 Kapasitas Aliran CO<sub>2</sub> dalam berbagai ukuran pipa <sup>11)</sup>

Ukuran (mm)	Pipa (inc)	Kapasitas Aliran Maksimum		
		'A' (kg/menit)	'B' (kg/menit)	'C' (kg/menit)
15	0.5	40	35	30
20	0.75	85	75	65
25	1	155	135	130
32	1.25	300	270	238
50	2	760	700	650
65	2.5	1280	1200	1100
80	3	1850	1750	1600
90	3.5	2550	2400	2200
100	4	3400	3200	3000
125	5	5500	5200	4900

## 3. Perencanaan kepala pemancar

Tipe kepala pemancar berbeda-beda dan kecepatannya dalam memancarkan gas juga berbeda. Kapasitas pancaran gas CO<sub>2</sub> pada beberapa ukuran kepala

pemancar dapat dilihat pada Tabel 4.31, dengan tekanan gas kira-kira 25 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabel 7 Kapasitas Pancaran Gas CO<sub>2</sub><sup>11)</sup>

Kapasitas (kg/menit)	Ukuran Kepala Pemancar						
	4 mm	6 mm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.25"
	5	5	17	40	85	155	300

### 3.2 Perencanaan Instalasi Sistem Gas Halon<sup>10)</sup>

Sistem gas Halon yang dibahas disini adalah sistem Halon 1301, karena Halon 1301 yang paling banyak digunakan. Perencanaan yang dibahas disini meliputi penentuan jumlah Halon 1301 yang dibutuhkan untuk pemadaman suatu ruangan, perencanaan pemipaan, perencanaan kepala pemancar.

#### 1. Penentuan jumlah Halon 1301 yang dibutuhkan

Sebagai dasar perhitungan, digunakan faktor isi. Jumlah Halon 1301 yang diperlukan untuk pemadaman dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{V(C)}{s(100 - C)}$$

dimana:

W = berat Halon 1301 yang diperlukan untuk pemadaman (kg).

C = konsentrasi Halon 1301 untuk pemadaman (%)

V = isi ruangan yang diproteksi (m<sup>3</sup>)

s = isi spesifik dari uap superheated Halon 1301 (m<sup>3</sup>/kg)

Dalam rumus tersebut telah dimasukkan faktor kehilangan Halon 1301 yang lolos melalui lubang-lubang kecil karena sifat pengembangan gas.

- Konsentrasi Halon 1301.

Pada sistem pembanjiran total, konsentrasi Halon 1301 yang digunakan tidak boleh melebihi 10% untuk ruangan~ruangan yang biasa ditempati orang. Ruang~ruang yang boleh berisi Halon 1301 dengan konsentrasi 10% harus secepatnya dikosongkan pada saat Halon 1301 mulai dipancarkan. Bila

ruangan-ruangan tersebut dalam keadaan normal tidak dapat dikosongkan dari orang-orang dalam waktu 1 menit, maka konsentrasi Halon 1301 tidak boleh melebihi 7%. Sistem pembanjiran total dengan konsentrasi Halon 1301 10%-15% hanya boleh digunakan untuk ruangan-ruangan yang biasanya tidak ditempati orang dan lagi ruangan itu harus dapat dikosongkan dalam waktu 30 detik. Bila karena suatu hal diperlukan konsentrasi melebihi 15%, sedangkan ruangan tidak dapat dikosongkan dalam waktu yang secepat itu, maka harus disediakan peralatan-peralatan pernafasan untuk mencegah terhisapnya gas Halon 1301 dalam konsentrasi yang berbahaya.

- Pada kebakaran benda padat

Hampir semua benda padat dapat mulai terbakar pada permukaannya, seperti kebakaran plastik, kayu dan benda padat lainnya. Kebakaran semacam ini dapat dipadamkan dengan Halon 1301 pada konsentrasi rendah, yaitu sekitar 5%.

- Pada kebakaran benda cair dan gas

Disini konsentrasi Halon 1301 yang dibutuhkan berbeda-beda, tergantung dari jenis benda cair dan gas yang akan dipadamkan. Berikut ini adalah daftar konsentrasi minimum Halon 1301 untuk digunakan dalam disain (Tabel 8).

Tabel 8 Konsentrasi Minimum Halon 1301 pada Kebakaran Benda Cair dan Gas <sup>10)</sup>

Bahan Bakar	Konsentrasi Minimum Halon 1301
Acetone	7.6%
Benzene	5.0%
Ethanol	11.1%
Ethylene	13.2%
Hydrogen	31.4%
Methane	7.7%
n – Heptane	6.9%
Propane	6.7%

Dalam hal ini telah dimasukkan faktor keamanan sebesar 10% di dalam angka eksperimen.

- Pada kebakaran dalam (sekam)

Halon 1301 dalam proses pemadamannya menghentikan rantai reaksi oksidasi, dan mencegah penalaran api. Untuk mencapai api yang dalam atau sekam dibutuhkan waktu yang cukup lama. Konsentrasi Halon 1301 yang diperlukan untuk pemadaman juga sulit ditentukan karena bergantung pada hal-hal antara lain: sifat-sifat bahan bakar, keadaan distribusi butiran-butiran, berapa lama bahan telah terbakar, perbandingan luas permukaan dengan isi benda, keadaan ventilasi udara. Sebagai pedoman, konsentrasi minimum Halon 1301 untuk pemadaman api kebakaran sekam dapat ditentukan sebagai berikut:

- kebakaran kayu, kertas, tekstil ----- 7,7%
- kebakaran karet, plastik ----- 9,4%

- Isi spesifik dari uap superheated Halon 1301

Karena jumlah gas dan konsentrasi Halon 1301 sangat tergantung dan terpengaruh oleh temperatur di sekitarnya, maka isi spesifik dari uap superheated Halon 1301 ini juga tergantung pada temperature Isi spesifik dari uap Halon 1301 pada kondisi temperatur normal di Indonesia dapat diTabelkan sebagai berikut (Tabel 9):

Tabel 9 Isi Spesifik dari Uap Halon 1301 <sup>10)</sup>

Temp (°C)	Isi Spesifik Halon 1301 (m <sup>3</sup> /kg)	Temp (°C)	Isi Spesifik Halon 1301 (m <sup>3</sup> /kg)
-50	0.11946	20	0.15915
-40	0.12513	30	0.16482
-30	0.13080	40	0.17049
-20	0.13647	50	0.17616
-10	0.14214	65	0.18467
0	0.14781	80	0.19317
10	0.15348	95	0.20168

Dari rumus diatas dapat dihitung berat Halon 1301 per m<sup>3</sup> isi ruangan yang dibutuhkan untuk pemadaman bermacam~macam bahan pada temperatur tertentu, yang dapat diTabelkan (Tabel 10) sebagai berikut:

Tabel 10 Berat Isi Halon 1301<sup>10)</sup>

Temp	Berat Isi Halon 1301 (kg/m <sup>3</sup> )					
	Konsentrasi					
	5%	6%	7%	8%	9%	10%
(°C)						
-50	0.440	0.534	0.630	0.728	0.828	0.930
-40	0.420	0.510	0.620	0.695	0.790	0.888
-30	0.402	0.488	0.575	0.665	0.756	0.849
-20	0.386	0.468	0.562	0.637	0.725	0.814
-10	0.370	0.449	0.520	0.612	0.606	0.782
0	0.365	0.432	0.509	0.588	0.669	0.752
10	0.343	0.416	0.490	0.566	0.644	0.724
20	0.331	0.401	0.473	0.546	0.621	0.698
30	0.319	0.387	0.457	0.528	0.600	0.674
40	0.309	0.374	0.441	0.510	0.580	0.652
50	0.299	0.462	0.427	0.494	0.561	0.631
65	0.285	0.346	0.407	0.471	0.536	0.602
80	0.273	0.330	0.389	0.450	0.512	0.575
95	0.261	0.416	0.373	0.431	0.490	0.551

Pada keadaan khusus, di mana ruangan yang akan diproteksi mempunyai pintu-pintu, jendela-jendela dan lubang-lubang yang tidak dapat ditutup (seperti lubang ventilasi), perlu ada tambahan jumlah gas Halon 1301 sebagai kompensasi terhadap lolosnya gas. Penambahan ini dihitung berdasarkan faktor lubang terbuka, yang besarnya tergantung dari konsentrasi Halon 1301 yang dibutuhkan dalam disain, seperti terlihat pada Tabel 11 berikut:

Tabel 10 Faktor Lubang Terbuka Halon 1301<sup>10)</sup>

Konsentrasi Halon 1301 dalam Disain (%)	Faktor Lubang Terbuka (kg/m <sup>2</sup> )
5.0	2.4
7.7	3.9
9.4	4.8

Dengan mengetahui isi ruangan yang akan diproteksi dan luas lubang-lubang terbuka pada ruangan tersebut, dapat diketahui jumlah gas Halon 1301 yang diperlukan untuk memroteksi ruangan tersebut.

Halon 1301 disimpan dalam tabung-tabung. Berat isi tabung Halon 1301 yang standard adalah 60 kg, tetapi ke dalam tabung yang sama dapat diisi Halon 1301 seberat 45 kg, 50 kg dan 75 kg.

## 2. Perencanaan pemipaan

Dalam perencanaan, panjang pipa-pipa sebaiknya tidak lebih dari 100 m, diukur dari tempat tabung Halon 1301 sampai ke kepala pemancar di ruang yang diproteksi. Kapasitas maksimum Halon 1301 dengan ukuran pipa yang berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 12. Bila pada waktu penyemprotan direncanakan untuk 10 detik, panjang pipa maksimum yang boleh digunakan adalah 25 m.

Tabel 12 Kapasitas Aliran Maksimum Halon 1301<sup>10)</sup>

Ukuran Pipa		Kapasitas Maksimum Aliran Halon 1301			
(mm)	(inch)	kg/det	kg/10 det	kg/30 det	kg/menit
15	0.5	0.6	6.0	18.0	36.0
20	0.75	1.2	12.0	36.0	72.0
25	1	2.4	24.0	72.0	144.0
32	1.25	4.8	48.0	144.0	288.0
40	1.5	7.0	70.0	210.0	420.0
50	2	14.0	140.0	420.0	840.0
65	2.5	25.0	250.0	750.0	1500.0
80	3	38.0	380.0	1140.0	2280.0
90	3.5	55.0	550.0	1650.0	3300.0
100	4	80.0	800.0	2400.0	4800.0
125	5	140.0	1400.0	4200.0	8400.0

### 3. Perencanaan kepala pemancar

Tipe-tipe dari kepala pemancar berbeda-beda dan kecepatan dalam memancarkan gas juga berbeda. Dalam perencanaan, tipe serta kecepatan gas yang diperlukan harus ditentukan dengan cermat agar pemadaman dapat berhasil dengan baik.

Kapasitas pemancaran gas Halon 1301 dalam berbagai ukuran pipa dapat dilihat pada Tabel 13 berikut:

Tekanan gas pada saat memancar kira-kira adalah  $24 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabel 13 Kapasitas Pemancaran Halon1301 dalam Berbagai Ukuran Kepala Pemancar <sup>10)</sup>

Ukuran Kepala Pemancar	Kapasitas		
	kg/detik	kg/10 detik	kg/30 detik
6 mm	0.07	0.7	2.1
$\frac{3}{8}$ "	25	2.5	7.5
$\frac{1}{2}$ "	0.60	6.0	18.0
$\frac{3}{4}$ "	1.20	12.0	36.0
1 "	2.40	24.0	72.0
1.5 "	4.80	48.0	144.0

### 3.3 Perencanaan Pemadam Api Ringan (PAR) <sup>1)</sup>

#### 1. Perencanaan pemakaian PAR

Pemakaian PAR harus disesuaikan dengan jenis PAR dan golongan kebakaran, sesuai dengan Tabel 14.

Tabel 14 Penggunaan PAR Disesuaikan Golongan Kebakaran <sup>1)</sup>

Golongan kebakaran	Bahan yang terbakar	Pemadam Api Ringan yang efektif			
		Jenis PAR	Prinsip pemadaman	Zat / bahan pemadam api	Tanda pengenal PAR
A Bahan padat bukan logam	Bahan mengandung selulosa, kayu, bambu, kertas, karot, berbagai jenis plastik.	A	Menurunkan suhu dengan cepat dengan semburan air atau cairan; atau menghalangi pembakaran.	Air bertekanan, zat-zat kimia larut air bertekanan; asam soda, busa, mono-amonium fosfat, diamonium fosfat, dalam tabung bertekanan.	Bertuliskan huruf A besar pada dasar berbentuk segi tiga warna hijau.
B Cairan dan gas	Produk minyak bumi, cairan mudah terbakar pelarut organik, pengencer, cat, bensin, ter, dsb.	B	Menghilangkan oksigen / menghalangi nyala api.	Zat-zat kimia peredam api seperti : zat asam arang (CO <sub>2</sub> ) zat kimia kering pakai Natrium dan Kalium bikarbonat, zat-zat kimia serba guna bromotrifluorometan, karbon tetraklorida, Klorobromometan, busa.	Bertuliskan huruf B besar pada dasar berbentuk segi empat berwarna merah.
C Perlengkapan listrik yang bertegangan.	Jaringan kabel, perlengkapan listrik bertegangan.	C	Memutus konduktivitas di elektrik/ isolasi dari oksigen.	Zat-zat yang tidak menghantar listrik, zat asam arang (CO <sub>2</sub> ) zat kimia kering pakai Natrium dan Kalium bikarbonat ; Bromotrifluorometan, karbon tetraklorida, Klorobromometan.	Bertuliskan huruf C besar pada dasar berbentuk lingkaran warna biru.
D Logam yang terbakar	Jenis-jenis logam seperti magnesium, zirkonium, titanium, natrium, uranium, lithium, senyawa natrium-kalium.	D	Melapisi permukaan logam yang terbakar / isolasi dari oksigen.	Zat pemadam khusus berupa bubuk kering, antara lain : senyawa mengandung garam dapur, Grafit, grafit-fosfor.	Bertuliskan huruf D besar pada dasar berbentuk bintang warna kuning.

### 1. Perencanaan pemasangan dan penempatan PAR.

Pemasangan dan penempatan PAR harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Setiap PAR harus dipasang pada posisi yang mudah dilihat, dicapai, diambil serta dilengkapi dengan pemberian tanda - tanda pemasangan.
- PAR harus ditempatkan di dekat daerah bahaya, tetapi jangan terlalu dekat. Jika dalam ruangan tersimpan bahan yang sangat mudah terbakar, PAR diletakkan di luar ruangan.
- Penempatan PAR tidak boleh tersembunyi atau terhalang oleh tumpukan barang-barang atau mesin-mesin dan harus disimpan pada tempat yang aman dan tidak korosif.
- Pemasangan PAR harus sesuai dengan jenis dan penggolongan kebakaran.
- Setiap PAR harus dipasang menggantung pada dinding dengan penguatan sengkang atau dalam lemari kaca dan dapat digunakan dengan mudah pada saat diperlukan.
- Pemasangan PAR dilakukan sedemikian rupa sehingga bagian paling atas berada pada ketinggian 1,2 m dari permukaan lantai, terkecuali untuk jenis

CO<sub>2</sub> dan bubuk kimia kering yang penempatannya minimum 1,5 m dari permukaan lantai.

- PAR tidak boleh dipasang di dalam ruangan yang mempunyai temperatur lebih dari 49°C dan kurang dari 4°C.
- Penempatan PAR juga didasarkan kepada kemampuan jangkauan serta jenis bangunan sesuai dengan Tabel 15.

Tabel 15 Penempatan PAR <sup>1)</sup>

Jenis Bangunan	Berat Minimum	Luas Jangkauan	Jarak Maksimum
Industri	2 kg	150 m <sup>2</sup>	15 m
Umum	2 kg	100 m <sup>2</sup>	20 m
Perumahan	2 kg	250 m <sup>2</sup>	25 m
Campuran	2 kg	100 m <sup>2</sup>	20 m
Parkir	2 kg	135 m <sup>2</sup>	25 m
Bangunan Tinggi >14 m	2 kg	100 m <sup>2</sup>	20 m

### 3.4 Identifikasi Biaya

#### 1. Identifikasi biaya sistem gas CO<sub>2</sub> dan sistem gas Halon 1301

Biaya-biaya untuk pemasangan kedua sistem tersebut hampir sama, yaitu meliputi:

- Biaya untuk jumlah gas CO<sub>2</sub> /Halon 1301 yang dibutuhkan dalam disain. Biaya ini mencakup biaya untuk unit tabung CO<sub>2</sub> /Halon 1301 yaitu kumpulan tabung-tabung CO<sub>2</sub> /Halon 1301, pipa koleksi, pipa penghubung, peralatan pembuka otomatis, kerangka, klem pemegang tabung dll.
- Biaya untuk pemipaan dengan ukuran pipa dan ukuran kepala pemancar seperti yang direncanakan.
- Biaya untuk Perlengkapan-perengkapan lainnya:
  - Starter solenoid untuk tabung starter CO<sub>2</sub> /Halon 1301, yaitu suatu alat electrons yang bila mendapat isyarat dari panel pengontrol CO<sub>2</sub> /Halon

1301 akan langsung memecahkan plat penutup pengeluaran dari tabung starter secara otomatis. Tabung starter dengan gas tekanan tinggi gunanya untuk membuka kran-kran pemilih dan rangkaian tabung-tabung CO<sub>2</sub>/Halon 1301. Isi dari tabung starter adalah 1 liter dan berisi 0,6 kg gas.

- Kran keselamatan, untuk membuang tekanan gas yang mungkin masih ada karena kebocoran atau bekas pakai.
- Box operasi, yang dipasang di dinding atau tiang-tiang dekat pintu masuk ruang yang dilindungi. Gunanya untuk memulai sistem secara manual dan menghentikan sistem secara darurat bila ada alarm yang salah.
- Lampu tanda bahaya, yang dipasang di atas pintu-pintu masuk ke ruang yang dilindungi. Bila sistem bekerja, lampu akan menyala sebagai peringatan agar orang di luar tidak memasuki ruangan.
- Panel kontrol CO<sub>2</sub>/Halon 1301, yang berfungsi menerima dan menunjukkan tanda sinyal yang diberikan oleh detektor atau box operasi, memberikan tanda bahaya (dengan lampu, sirine, bel), mematikan a/c, fan, ventilasi dan kemudian menyalakan serta menyemburkan gas ke ruang yang terbakar.
- Sumber tenaga listrik darurat, yang menggunakan batere dengan ampere yang besar dan selalu dalam keadaan penuh dengan sistem pengisian otomatis. Bila terjadi listrik mati, sumber tenaga langsung berganti secara otomatis ke sumber listrik batere dan bila listrik menyala lagi, secara otomatis aliran akan berpindah ke sumber listrik.
- Panel alarm kebakaran, yang berfungsi menerima isyarat-isyarat kebakaran yang ditangkap oleh detektor dan mengirimkannya ke panel pengontrol.
- Kran pemilih, yang dipasang pada tiap ruang bila sistem digunakan untuk melindungi lebih dari satu ruangan. Alat ini dapat bekerja secara otomatis, dapat juga secara manual. Gas yang telah keluar dari tabung akan disalurkan ke tempat kebakaran melalui kran pemilih yang bekerja secara otomatis.

- Switch tekanan, untuk memberi tanda bahaya pada ruang yang terbakar jika tekanan di dalam pipa melebihi 1,1 kg/cm<sup>2</sup> sewaktu gas dipancarkan.

## 2. Identifikasi biaya Pemadam Api Ringan

Biaya-biaya untuk Pemadam Api Ringan ini hanya meliputi biaya untuk tabung yang digunakan beserta isinya. Besarnya biaya ini tergantung antara lain dari: berat isi tabung, jenis bahan pemadam yang digunakan dan kualitas Pemadam Api Ringan.

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Sistem gas CO<sub>2</sub> memadamkan kebakaran secara otomatis dengan menurunkan konsentrasi zat asam di udara sampai di bawah 14%, pada konsentrasi ini api tidak dapat menyala.

Ada dua tipe sistem pemadaman dengan gas CO<sub>2</sub>, yaitu:

1. CO<sub>2</sub> disemprotkan merata ke seluruh ruangan, untuk memadamkan kebakaran cairan dan benda padat dalam ruang tertutup.
2. CO<sub>2</sub> disemprotkan langsung pada bahan yang terbakar, untuk memadamkan kebakaran pada permukaan cairan dan lapisan yang mudah terbakar dalam ruang yang luas atau mempunyai banyak bukaan.

Cocok digunakan sebagai sistem proteksi ruangan yang berisi barang-barang berharga, seperti perpustakaan, tempat penyimpanan arsip dan sebagainya, karena CO<sub>2</sub> tidak merusak.

Karakteristik CO<sub>2</sub> tidak berubah walaupun disimpan dalam waktu lama dan ekonomis dalam biaya pengisian.

Sistem gas Halon sangat efektif untuk memadamkan kebakaran karena dapat menghalangi proses pembakaran dengan memutuskan rantai reaksi kebakaran.

Yang umum dipakai adalah Halon 1301 sebab daya pemadamannya baik dan kadar racunnya rendah bila dibandingkan jenis Halon yang lain.

Sistem gas halon ini mempunyai tipe sistem yang sama dengan sistem gas CO<sub>2</sub>.

Halon menguap dengan cepat sehingga tidak korosif dan tidak meninggalkan residu, juga tidak menghantarkan listrik. Karena itu Halon dapat digunakan untuk melindungi proses atau obyek yang bernilai tinggi, juga peralatan elektronik.

Hampir semua kebakaran berasal dari api kecil yang sebagian besar disebabkan aktifitas manusia sehari-hari sehingga dapat dideteksi dengan cepat oleh manusia. Di sinilah pemadam api ringan memegang peranan dalam memadamkan api.

Supaya pemadaman api ringan dapat berfungsi dengan baik, perlu diperhatikan hal-hal berikut:

- Jenis pemadam api ringan yang digunakan harus disesuaikan dengan golongan kebakaran yang terjadi.
- Jumlah dan penempatan pemadam api ringan harus memenuhi syarat
- Perlu diadakan pemeliharaan dan pemeriksaan berkala.

Biaya pemadam api ringan terutama hanya untuk tabung beserta isinya. Pada studi kasus di muka, biaya pemadam api ringan adalah 4,5 % dari biaya sarana proteksi kebakaran.

## 4.2 Saran

Ruangan yang diproteksi dengan sistem gas CO<sub>2</sub> dan Halon seyogyanya mempunyai jalan keluar yang mudah dicapai agar semua orang dalam ruangan tersebut sudah berada diluar ruangan pada waktu sistem bekerja.

Cara penggunaan pemadam api ringan perlu diketahui oleh orang-orang yang biasa berada disekitarnya sehingga mereka dapat bertindak secepat mungkin tanpa memberi kesempatan pada api untuk membesar.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum, Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 02/KPTS/1975 tentang "Ketentuan Pencegahan dan Penanggulangan Kebakaran pada Bangunan Gedung", Jakarta, 1985, Pasal 3, Hlm. 17-22.
2. Direktorat Jendral Pembinaan Hubungan Perburuhan dan Perlindungan Tenaga Kerja, Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi, "Pedoman

- Instalasi Alarm Kebakaran Otomatik", Buku Pedoman K & KK, NO.: 17, 1980, hlm. 11-20, 27-31, 34-38, 40, 42, 45.
3. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jendral Ciptakarya, Departemen Pekerjaan Umum, "Pedoman Sarana Pengamanan Bangunan terhadap Kebakaran (konsep), sektor : Hidran, Baridung, 1983, halaman 1-6.
  4. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jendral Ciptakarya, Departemen Pekerjaan Umum, "Permasalahan Bahaya Kebakaran dan Pengendaliannya", disusun untuk diajukan dalam persiapan rapat EKUIN, 1983, halaman 1, 5, 8-10.
  5. Direktorat Teknik Penyehatan, Departemen Pekerjaan Umum, "Pedoman Penanggulangan Bahaya Kebakaran dengan Menggunakan Air Sistem Springkler Otomatis 1980", cetakan kesatu, 1980, halaman 1-4, 11-40, 45-67, 70, 71, 87-92.
  6. Egan, M. David, "Concepts in Building Firesafety", New York, John Wiley & Sons, 1978, halaman 112, 128, 133-134.
  7. Hariman, A., Ir., "Keamanan dan Pencegahan Kebakaran Pada Gedung-Gedung Tinggi", Kertas Kerja Seminar Nasional Penanggulangan Kebakaran, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta, 21-24, Desember, 1979, 1979, halaman 3, 7-12.
  8. Kartoatmodio, Praptono, "*Fire Protection* Bangunan Gedung", halaman 137-140.
  9. Kartoatmodio, Praptono, "Pencegahan dan Penanggulangan Kebakaran dalam Pabrik-pabrik dan Hotel-hotel", halaman 81-83.
  10. Kartoatmodio, Praptono, "Peralatan Deteksi dan Sistem Pemadaman Kebakaran", halaman 2, 7-10, 16, 23-30, 34, 40-84.
  11. Kartoatmodjo, Praptono, "Sistem Pemadam Kebakaran Lanjutan", halaman 94-123.
  12. Mc.Kinnon, Gordon P. , et.al.p eds., "FIRE PROTECTION HANBOOK", Fourteenth Edition, Bosta, Massachusetts, National Fire Protection Association, 1976. section 6: halaman 6-2, 6-3, 6-82 s.d. 6-84, 6-86, section 14: halaman 14-2 s.d. 14-4, 14-58, section 16:hala.man 16-2.

13. Suprpto, Ir. , "Aspek Bahan dan Instalasi/Kelengkapan Bangunan di dalam Perencanaan Sistem Keamanan dan Pencegahan Kebakaran dalam Bangunan", Kertas Keria untuk Seminar Nasional Penanggulangan Kebakaran, LIPI, Jakarta, 21-24, Desember, 1979, halalaman 12, 24-30.
14. Proceedings Seminar Pemeriksaan & Pengujian Instalasi Bangunan, disusun dalam rangka kerja sama antara Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (DPMB) dengan Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri Institut Teknologi Bandung (LAPI-ITB) Bandung, 14-15, September, 1979, halaman 299-300.