

KAJIAN PENERAPAN SISTEM PENGENDALIAN ASAP KEBAKARAN PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT

Oleh: Achmad Hidajat Effendi

Pusat Litbang Peremukiman Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan – Kab. Bandung 40393

E-mail : achmadhe53@yahoo.com

Tanggal masuk naskah: 17 April 2008, Tanggal revisi terakhir : 19 Juni 2008

Abstrak

Kajian penerapan sistem pengendalian asap kebakaran pada bangunan gedung bertingkat atau gedung tinggi maupun pada gedung-gedung berukuran besar dimaksudkan untuk mengetahui sejauhmana penerapan sistem pengendalian asap tersebut. Sedangkan tujuannya adalah untuk memperoleh data mengenai sistem pengendalian asap yang telah diterapkan. Penelitian dilakukan dengan metode survey lapangan terhadap 33 bangunan gedung di Jakarta, Surabaya dan Bandung meliputi bangunan gedung perkantoran, perhotelan dan pusat perbelanjaan/mall/atrium. Selanjutnya metode lain yang digunakan eksperimen di laboratorium, untuk memperoleh data/informasi tentang teknik yang dipergunakan untuk mengevaluasi karakteristik fisik pergerakan asap pada bangunan terbakar. Hasil penelitian sistem pengendalian asap kebakaran, menunjukkan bahwa pada bangunan gedung perkantoran, perhotelan dan pusat perbelanjaan/mall/atrium umumnya telah menerapkan sistem pengendalian asap kebakaran. Penerapan sistem pengendalian asap dengan cara penekanan udara pada sumur tangga 100 % telah digunakan pada bangunan gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan/mall/atrium, sedangkan sekitar 90,91 % telah digunakan pada bangunan gedung perhotelan. Sistem pengendalian asap dengan sistem injeksi tekanan udara, masih menggunakan cara yang beragam yaitu 26,09 % menggunakan sistem injeksi tekanan udara tunggal dan 41,97 % menggunakan sistem injeksi tekanan udara ganda, kemudian 25,89 % menggunakan sistem injeksi tekanan udara gabungan. Sistem fan pada umumnya bekerja secara otomatis bila terjadi kebakaran, dengan digerakan oleh sinyal dari detektor kebakaran atau detektor asap dan bila terjadi kebakaran sistem tata udara berhenti secara otomatis. Dari 33 bangunan gedung yang disurvei menunjukkan belum ada satupun bangunan gedung yang menerapkan sistem tata udara sebagai sistem pengendalian asap kebakaran. Hasil pengujian laboratorium tercatat, laju pembangkitan asap berdasarkan estimasi kasar adalah 0,47 m³/detik, sementara udara masuk (ventilasi) sebesar 0,46 m³/detik, hasil tersebut menunjukkan kemiripan dan memenuhi hukum kekekalan massa, sedangkan ketinggian asap yang dicapai dari lantai adalah 180 cm dengan temperatur 220°C.

Kata Kunci : Pengendalian asap, injeksi tekanan udara, sumur tangga, detektor asap.

Abstract

Study on smoke control in storeyed or high-rise buildings as well as in large scale buildings aimeds at understanding the system used for it. Detailed data was expected to be obtained through this research. Research was conducted through field surveys to 33 buildings located in Jakarta, Surabaya and Bandung covering office buildings, hotels and shopping centres/mall/atrium. Laboratory experiments was also conducted to evaluate smoke movement when the fire occured in the buildings. Based on the surveys undertaken it showed that smoke control system has been applied in those buildings. However there were

some variation in using certain systems. Stair pressuriser was used 100 % in office buildings and shopping centres/mall/atrium, while only 90.91 % in hotel buildings. There were variation in using air pressure injection. 26.09 % used single air pressure injection and 41.97 % used double air pressure injection, while only 25.89 % used combined systems. Air conditioning system were made shut-down in case of fire, while was operated automatically initiated by signal from fire or smoke detectors. None of 33 buildings surveyed used air conditioning system in the buildings as part of smoke control means. Result from laboratory tests showed that smoke production was 0.47 m³/second, whereas ventilation rate was 0.46 m³/second. This results indicated similarity and in compliance with mass conservation law, while achieved height of smoke was 180 cm from the floor with the temperature of 220°C.

Keywords : *Smoke control, air pressure injection, stair pressuriser, smoke detector.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Asap adalah salah satu produk pembakaran tidak sempurna dari suatu bahan, produk pembakaran tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena terdiri dari partikel-partikel gas dan uap serta unsur-unsur yang terurai (terdekomposisi) yang dilepaskan oleh suatu bahan yang terbakar. Jika suatu bahan dalam suatu ruangan terbakar, maka diatas nyala api yang timbul akan terdapat suatu kolom gas-gas asap yang panas dengan densitas yang lebih rendah dari udara disekitarnya, akibatnya asap bergerak ke atas menuju langit-langit ruangan membentuk cendawan dan menyebar secara horizontal ke berbagai arah (gambar 1).

Udara sekitar nyala api akan mensuplai oksigen yang diperlukan untuk proses pembakaran selanjutnya, apabila oksigen yang diperlukan untuk proses pembakaran ini berkurang, maka asap yang timbul akan semakin banyak. Dengan memasukan sejumlah udara atau oksigen ke arah objek yang terbakar, maka asap yang timbul dapat dikurangi. Semua bahan yang mudah terbakar, apabila terbakar akan melepaskan karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂), oleh karena itu dalam asap selalu

terkandung CO dan CO₂ dalam jumlah yang besar, disamping gas-gas racun lainnya sebagai produk tambahan dari pembakaran.

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang bersifat racun bagi manusia dan merupakan penyebab utama kematian pada peristiwa kebakaran dalam bangunan, sebagaimana data statistik *National Bureau of Standards USA* (1983), bahwa 74 % penyebab utama kematian penghuni bangunan pada peristiwa kebakaran diakibatkan oleh asap, sedangkan akibat luka bakar sebesar 10 %, tersengat panas tinggi sebesar 8 % dan jatuh, serangan jantung dan lain-lain sebesar 8%.¹⁾

Selain sifat asap yang beracun, akibat lain dari asap akan mengurangi jarak penglihatan, sehingga pada waktu kebakaran para penghuni bangunan tidak dapat melihat pintu/jalur ke luar dan tanda "EXIT" serta menyulitkan petugas pemadam kebakaran untuk mencari lokasi sumber api. Dalam kaitan ini sistem pengendalian terhadap asap kebakaran merupakan unsur penting, dengan besarnya dampak negatif yang disebabkan oleh asap terhadap penghuni bangunan yang terbakar. Pemerintah Indonesia mewajibkan dilengkapinya suatu bangunan gedung dengan sarana

pengendalian asap, sebagaimana tercantum dalam Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 10/KPTS/2000, bahwa pengendalian asap harus disediakan pada bangunan kelas 2 sampai kelas 9 dan suatu bangunan yang mempunyai atrium, atau yang terpisah secara khusus.²⁾

Butcher & Parnell (1979) membagi area pengendalian asap ke dalam tiga area, yakni pengendalian asap pada zona kebakaran, pada jalur penyelamatan (*escape route*), dan pada ruang tertutup dengan presurisasi.³⁾

John Klote (1980) dalam perencanaan sistem pengendalian asap pada bangunan gedung tinggi telah mengembangkan prinsip dasar pengendalian asap, yaitu aliran udara dapat mengendalikan asap, bila memiliki kecepatan aliran tertentu, kemudian beda tekanan antara bidang-bidang pembatas dapat berlaku sebagai pengendali gerakan asap, prinsip tersebut selanjutnya diterapkan pada berbagai sistem kontrol asap, seperti *smoke ventilation, smoke purging, pressurisation and stairwell pressurisation*.⁴⁾

Mengenai penerapan sistem pengendalian asap di Indonesia, hasil evaluasi yang dilakukan oleh Suprpto dan Nugraha (1995) pada bangunan gedung Wisma Nusantara dan President Hotel menunjukkan bahwa meskipun sistem tersebut ada, namun masih mengandalkan pada ventilasi udara alami dan penerapan sistem tata udara untuk pengendalian asap belum diterapkan. Shafwan A.R (1987) menyatakan pada bangunan Gedung DKI Jakarta Blok 6 khususnya terhadap sistem presurisasi menunjukkan bahwa efektivitas sistem kontrol asap dapat ditingkatkan apabila diterapkan bersama dengan *smoke zoning, kompartemenisasi* dan pesan suara.⁵⁾

Beberapa bangunan gedung tinggi di Jakarta, Surabaya dan Bandung berdasarkan pengamatan sementara telah memasang sistem pengendalian asap, namun belum dapat diketahui efektivitasnya. Metode sistem pengendalian asap dan penerapannya pada bangunan gedung bertingkat maupun pada bangunan gedung berukuran besar masih beragam dan belum diterapkannya sistem tata udara sebagai sistem pengendalian asap kebakaran, maka dalam kaitan inilah akan dikaji secara komprehensif mengenai sistem pengendalian asap, khususnya pada bangunan gedung bertingkat maupun pada bangunan gedung berukuran besar.

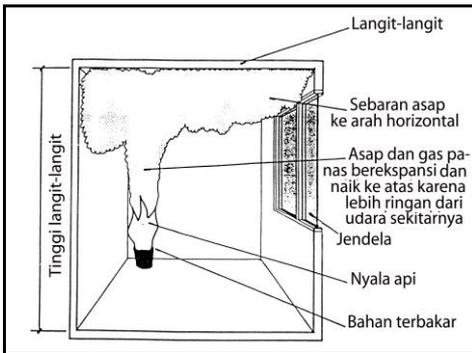
Tujuan Pengkajian

Tujuan kajian ini adalah untuk mengetahui dan memperoleh data, sejauhmana penerapan sistem pengendalian asap pada bangunan gedung bertingkat dan bangunan gedung berukuran besar telah diterapkan, serta meminimasi dampak bahaya asap kebakaran melalui peningkatan keandalan sistem pengendalian asap.

Lingkup Pengkajian

Dalam kajian ini, ruang lingkup meliputi :

1. Bangunan gedung perkantoran, mewakili bangunan semi terbuka ke arah horisontal;
2. Bangunan gedung perhotelan, mewakili bangunan yang terpisah pada tiap unit hunian;
3. Bangunan gedung pusat perbelanjaan/ mall / atrium, mewakili bangunan terbuka horisontal dan vertikal.



Gambar 1. Pergerakan Asap dari Suatu Bahan Terbakar dalam Ruang dan Membentuk Cendawan

METODE PENGKAJIAN

Metode yang digunakan dalam kajian ini, adalah metode survey dan eksperimen laboratorium. Dalam metode survey, penggalan sumber informasi dilakukan dengan penyebaran kuesioner dan wawancara, penelaahan sumber-sumber tertulis seperti brosur-brosur, *as built drawing* dan sebagainya. Sedangkan dalam metode eksperimen dilakukan percobaan pembakaran kayu (*woodcrib*) dengan ukuran 2 cm x 3 cm dengan panjang 60 cm dalam sebuah ruangan terbuat dari dinding batako, langit-langit dari asbes, dilengkapi bukaan (pintu) berukuran 185 cm x 80 cm dengan jendela kaca tertutup untuk memantau pergerakan asap yang terjadi dalam ruangan yang berukuran 4,12 m x 3,78 m x 3,28 m.

Untuk menetralsasi pengaruh angin dari luar, dibuat bangunan pelindung berukuran 12 m x 11 m, tinggi 5 m dengan dinding seng gelombang dan atap asbes (gambar 2).

Data hasil survey lapangan diolah dengan analisis statistik atau analisis kuantitatif, dengan cara analisis rata-rata hitung, menggunakan rumus :

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

$$\text{atau : } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$



Gambar 2. Tes Pembangkitan Asap dalam Ruang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Survey Lapangan

Dalam pelaksanaan survey lapangan, sampel bangunan gedung bertingkat yang diobservasi berjumlah 42 bangunan gedung, terdiri dari bangunan gedung perkantoran, perhotelan dan pusat perbelanjaan / mall / atrium berlokasi di Jakarta, Surabaya dan Bandung, namun yang berhasil diperoleh data sejumlah 33 bangunan gedung bertingkat. Hasil analisis dari 33 bangunan gedung tersebut, sebagaimana terdapat pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3.

Hasil Percobaan Laboratorium

Hasil percobaan laboratorium memberikan informasi tentang teknik yang dipergunakan untuk mengevaluasi

karakteristik fisik pergerakan asap menembus bangunan, baik rendah maupun tinggi sebagai dasar pendekatan yang dipergunakan untuk menguji efektivitas dari desain sistem pengendalian asap dengan teori model dua lapisan (*two layers model*) yang digunakan untuk menjelaskan fenomena

kebakaran dalam ruangan. Dalam teori ini digunakan pendekatan lapisan gas panas dan lapisan gas dingin yang keduanya mempunyai batas pemisahan secara tegas. Adapun hasil percobaan laboratorium untuk laju pembangkitan asap terdapat pada tabel 4.

Tabel 1.
Hasil Analisis Sistem Pengendalian Asap pada Bangunan Gedung Perkantoran

Sistem Pengendalian Asap yang Digunakan (satuan %)								
Sumur Tangga	Ventilasi Mekanis	Injeksi Tunggal	Injeksi Ganda	Injeksi Tunggal dan Ganda	Tanpa Injeksi	Detektor Asap	Pintu Kebakaran	AC Sentral
100	20	10	49	43	-	100	98	89,8
100	23	3,1	52	44	-	100	100	94
100	20,3	28	67	43	-	100	93	100
100	22	15	49	40,6	-	100	100	100
100	15,6	4,2	48,6	38	-	100	98	96
100	19	12	54	31,2	-	100	90	99
100	20	8,7	39,8	44	-	100	98,7	97
100	22	13	40	40	-	100	87,8	89
100	26,2	34	47	48	-	100	98	98
100	24	30	26,9	52,4	-	100	59,9	100
100	21,4	20	48,9	42,8	-	100	88	88
100	20	2	56	39	-	100	89,8	97
100	19,5	10	48	40	-	100	100	93
100	15	7	30	24	-	100	100	98,7
100	12	3	44	30	-	100	98,8	60,5
RATA – RATA :								
100	20	13,33	46,68	40	-	100	93,33	93,33

Sumber : Hasil penelitian Pusat Litbang Permukiman.

Tabel 2.
Hasil Analisis Sistem Pengendalian Asap pada Bangunan Gedung Perhotelan

Sistem Pengendalian Asap yang Digunakan (satuan %)								
Sumur Tangga	Ventilasi Mekanis	Injeksi Tunggal	Injeksi Ganda	Injeksi Tunggal dan Ganda	Tanpa Injeksi	Detektor Asap	Pintu Kebakaran	AC Sentral
96	9	38	40	11	15	92,5	95	100
100	12	35	34,2	9	18	70	98	100
98	7,8	43	42,9	9,3	22	71,4	100	100
89	4,9	26,5	25	10	22,2	90	90	100
90	10	36	37	6,9	10	62	95,4	100
99,4	10	47	46	9	17,4	48,4	100	100
79,6	12	39	40	13,8	16	80	100	100
100	14	31,6	33,2	12	20	73	81,8	100
85	8	36	35,2	7,5	24	64,7	83	100
79	6,5	26	24	6,7	16,4	70	78,8	100
84	5,8	41,9	42,5	4,8	19	78	78	100
RATA – RATA :								
90,91	9,09	36,36	36,36	9,09	18,18	72,73	90,91	100

Sumber : Hasil penelitian Pusat Litbang Permukiman.

Tabel 3.
Hasil Analisis Sistem Pengendalian Asap pada Bangunan Gedung
Pusat Perbelanjaan/Mall/Atrium

Sistem Pengendalian Asap yang Digunakan (satuan %)								
Sumur Tangga	Ventilasi Mekanis	Injeksi Tunggal	Injeksi Ganda	Injeksi Tunggal dan Ganda	Tanpa Injeksi	Detektor Asap	Pintu Kebakaran	AC Sentral
100	-	14	54	25	-	100	95	100
100	-	27	70	39,3	-	100	100	100
100	-	40	25	36,5	-	100	97,8	100
100	-	30	40	10	-	100	95	100
100	-	35,5	42	25,4	-	100	64,9	100
100	-	38,5	37	31,8	-	100	81,3	100
100	-	15	32	32	-	100	66	100
RATA – RATA :								
100	-	28,57	42,86	28,57	-	100	85,71	100

Sumber : Hasil penelitian Pusat Litbang Perbukitan.

Tabel 4.
Hasil Analisis Pembangkitan Asap

Tinggi asap (cm)	Temperatur asap pada ketinggian 100 cm dari atap atau 180 cm dari lantai (°C)	Slope pembangkitan asap (SPA) (cm/detik)	Laju pembangkitan asap volumetrik (LPAV) (m ³ /detik)	Laju udara masuk (LUM) (m ³ /detik)
165	199	3	0,47	0,47
180	195	3,5	0,47	0,48
194,1	265	3	0,65	0,20
195	200,6	2,9	0,90	0,30
195	260,9	4	0,47	0,47
100	240	3,4	0,37	0,36
183,8	220	3,8	0,39	0,40
195	193,9	2,3	0,20	0,55
198	200,6	2,1	0,30	0,90
194,1	225	2	0,48	0,47
RATA – RATA :				
180	220	3	0,47	0,46

Sumber : Hasil penelitian Pusat Litbang Perbukitan.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 1 diatas, sistem yang digunakan dalam pengendalian asap pada bangunan gedung perkantoran seluruhnya atau 100 % menggunakan sistem penekanan udara pada sumur tangga, 20 % menggunakan sistem ventilasi mekanis. Kemudian dalam sistem sumur tangga 13,33 % menggunakan sistem injeksi udara tunggal, 46,88 % menggunakan sistem injeksi udara ganda dan 40 %

menggunakan sistem injeksi udara gabungan (tunggal dan ganda). Pada bangunan gedung perkantoran sesuai dengan hasil analisis, seluruhnya atau 100 % menggunakan detektor asap, 93,33 % dilengkapi dengan pintu kebakaran dan 93,33 % sistem pengkondisian udara menggunakan AC sentral.

Hasil analisis sistem pengendalian asap pada bangunan gedung perhotelan sebagaimana terdapat pada tabel 2, menunjukkan bangunan gedung

perhotelan di Jakarta, Surabaya dan Bandung 90,91 % telah menerapkan sistem pengendalian asap dengan sistem penekanan udara pada sumur tangga dan 9,09 % menggunakan sistem ventilasi mekanis, sedangkan pada sumur tangga sebesar 36,33 % menggunakan sistem injeksi udara tunggal, begitu pula 36,33 % menggunakan sistem injeksi udara ganda, dan yang menggunakan sistem injeksi udara gabungan sebesar 9,09 %. Penggunaan detektor asap dan pintu kebakaran masing-masing sebesar 72,73 % dan 90,91 %, kemudian pada bangunan gedung perhotelan sistem pengkondisian udara (tata udara) seluruhnya atau 100 % menggunakan sistem AC sentral.

Sesuai dengan tabel 3, hasil analisis sistem pengendalian asap pada bangunan gedung pusat perbelanjaan/mall/atrium diperoleh hasil bahwa bangunan gedung tersebut, seluruhnya atau 100 % telah menerapkan sistem pengendalian asap dengan sistem penekanan udara pada sumur tangga, 28,57 % menggunakan sistem injeksi udara tunggal, 42,86 % sistem injeksi udara ganda dan sebesar 28,57 % sistem injeksi udara gabungan (tunggal dan ganda).

Seluruh bangunan gedung pusat perbelanjaan/mall/atrium 100 % telah menggunakan detektor asap dan 85,71 % dilengkapi dengan pintu kebakaran. Demikian pula bangunan gedung pusat perbelanjaan/mall/atrium seluruhnya atau 100 % menggunakan tata udara dengan sistem AC sentral.

Fan atau kipas pada bangunan gedung perkantoran, perhotelan dan pusat perbelanjaan/mall/atrium dipasang pada bagian atas shaft sumur tangga dan bekerja secara otomatis, digerakkan oleh sinyal dari detektor asap.

Penggunaan pengkondisian udara (tata udara) dengan sistem AC sentral, apabila terjadi kebakaran akan berhenti secara otomatis, dengan demikian sistem tata udara tidak dapat diterapkan sebagai sistem pengendalian asap.

Berdasarkan hasil uji laboratorium pada tabel 4, diperoleh hasil yaitu ketinggian asap 180 cm, temperatur asap pada ketinggian terendah (100 cm dari atap atau 180 cm dari lantai) mencapai 220°C. Laju pembangkitan asap secara kasar dapat ditentukan dengan slope (gradien) pembangkitan asap, sebagai berikut :

SPA : KA/T
 SPA : Slope (gradien) pembangkitan asap
 KA : Ketinggian asap dari atap
 T : Waktu

Maka diperoleh nilai SPA = $180/60 = 3$ cm/detik.

Dengan diasumsikan bahwa asap tersebar merata pada luas permukaan atap, maka laju pembangkitan asap secara volumetrik dapat ditentukan sebagai berikut :

$$LPAV = LA \times SPA$$

dimana :
 LPAV : Laju pembangkitan asap volumetrik
 LA : Luas atap (4,13 m x 3,80 m)
 SPA : Slope (gradien) pembangkitan asap

Maka diperoleh nilai :
 LPAV = $156940 \text{ cm}^2 \times 3 \text{ cm/detik}$
 LPAV = $470820 \text{ cm}^3/\text{detik}$
 LPAV = $0,47 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Pengukuran kecepatan angin menggunakan alat ukur kanomax diperoleh rata-rata kecepatan angin 0,45 m/detik, ukuran pintu sebagai bukaan ventilasi 80 cm x 185 cm, dengan demikian laju udara masuk dapat dihitung sebagai berikut :

$$LUM = LV \times KA \times Kv$$

dimana :

LUM : Laju udara masuk

LV : Luas ventilasi

KA : Kecepatan angin

Kv : Koefisien ventilasi (diambil 0,7)

Maka diperoleh nilai :

$LUM = 15200 \text{ cm}^2 \times 0,45 \text{ m/detik} \times 0,7$

$LUM = 0,46 \text{ m}^3/\text{detik}$

Hasil uji laju udara masuk menunjukkan kemiripan dengan laju pembangkitan asap sebesar 0,47 m³/detik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil survey dan analisis terhadap 33 bangunan gedung di Jakarta, Surabaya dan Bandung yang terdiri dari 15 bangunan gedung perkantoran, 11 bangunan gedung perhotelan dan 7 bangunan gedung pusat perbelanjaan/mall/ atrium, dapat disimpulkan, sebagai berikut :

1. Bangunan gedung perkantoran, perhotelan dan pusat perbelanjaan / mall /atrium pada umumnya telah menerapkan sistem pengendalian asap.
2. Sistem penekanan udara pada sumur tangga telah 100 % digunakan oleh bangunan gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan/mall/atrium, sedangkan 90,91 % oleh bangunan gedung perhotelan.
3. Pengendalian asap dengan sistem injeksi tekanan udara masih menggunakan sistem yang beragam, 26,09 % menggunakan sistem injeksi udara tunggal, 41,97 % sistem injeksi tekanan udara ganda dan 25,89 % menggunakan sistem injeksi tekanan udara gabungan (tunggal dan ganda).
4. Fan (kipas) pemberi tekanan umumnya dipasang pada bagian atas shaft sumur tangga dan bekerja secara otomatis dengan digerakan oleh sinyal dari detektor asap.

5. Sistem pengkondisian udara atau tata udara pada bangunan perkantoran, perhotelan dan pusat perbelanjaan / mall /atrium seluruhnya menggunakan sistem AC sentral, namun apabila terjadi kebakaran sistem tata udara berhenti secara otomatis.
6. Dari 33 bangunan gedung yang di survey belum ada bangunan gedung yang menerapkan sistem tata udara sebagai sistem pengendalian asap.
7. Hasil uji laboratorium tentang pembangkitan asap, diperoleh ketinggian asap 180 cm dengan temperatur asap 220°C dan laju pembangkitan asap sebesar 0,47 m³/detik serta laju udara masuk melalui ventilasi sebesar 0,46 m³/detik, hasil tersebut menunjukkan kemiripan dan memenuhi hukum kekekalan massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Suprpto, Ir., M.Sc., 1992, *Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung*, Lembaga Pengabdian pada Masyarakat Institut Teknologi Bandung-PT. Jaya Teknik Indonesia, Jakarta, hlm. 30.
- Republik Indonesia, Keputusan Menteri Negara Pekerjaan Umum Nomor 10/KPTS/2000, *Ketentuan Teknis Pengamanan terhadap Bahaya Kebakaran pada Bangunan dan Lingkungan*, Kantor Menteri Negara Pekerjaan Umum, Jakarta, 1 Maret 2000, hlm. 137.
- Butcher, E.G. & Parnell, A.C., 1979, *Smoke Control in Fire Safety Design*, E & F.N. Span Ltd., 11 New Fetter Lane, London, p. 39, 71, 107.
- Klote, John, H. & Fothergill, John, W. Jr., 1983, *Design of Smoke Control System for Buildings*, National

Bureau of Standards, Washington,
p.2.
Shafwan, AR., 1986, *Sistim
Pengendalian Asap pada Sumur
Tangga Bangunan Tinggi*, Tugas

Akhir S1 Sarjana Teknik Fisika,
Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Bandung, hlm.
140.