



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH JENIS PEMBAKARAN DAN BENTUK  
GEOMETRI RUANG TERHADAP AKTIVASI DETEKTOR  
ASAP**

**SKRIPSI**

**AHMAD BUDIMAN  
0606072906**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH JENIS PEMBAKARAN DAN BENTUK  
GEOMETRI RUANG TERHADAP AKTIVASI DETEKTOR  
ASAP**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**AHMAD BUDIMAN  
0606072906**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI  
DEPOK  
JUNI 2010**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **PENGARUH JENIS PEMBAKARAN DAN BENTUK GEOMETRI RUANG TERHADAP AKTIVASI DETEKTOR ASAP**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Ahmad Budiman

NPM : 0606072906

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Juni 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Budiman  
NPM : 0606072906  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PENGARUH JENIS PEMBAKARAN DAN BENTUK  
GEOMETRI RUANG TERHADAP AKTIVASI  
DETEKTOR ASAP

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc, PhD

Penguji 1 : Dr. Agus S. Pamitran, M.Sc, S.T

Penguji 2 : Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng

Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. Nandy Setiadi D.P

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 30 Juni 2009

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan banyak nikmat, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul:

### **PENGARUH JENIS PEMBAKARAN DAN BENTUK GEOMETRI RUANG TERHADAP AKTIVASI DETEKTOR ASAP**

Atas kerja sama yang baik dari semua pihak, penulis telah berhasil dengan baik menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Skripsi ini ditulis guna memenuhi salah satu persyaratan pendidikan Sarjana Reguler pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu yang telah mendidik penulis sejak kecil hingga saat ini. Juga tak lupa pula untuk adik tercinta tika dan abi yang sudah mewarnai kehidupan penulis serta keluarga besar yang telah menyokong dan memberikan semangat.
2. Guru-guru/dosen-dosen penulis yang telah banyak membimbing penulis dalam menjalani karier akademis semenjak TK sampai dengan kuliah S1 reguler di Teknik Mesin Universitas Indonesia.
3. Bapak Yulianto S. Nugroho sebagai pembimbing skripsi, seluruh dosen teknik mesin dan staf-staf DTM lainnya yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan skripsi ini.
4. Rekan kerja penulis Asep Rachmat yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan data dalam penulisan skripsi ini.
5. Edwin W, Gunawan M, Danal A, Apriyos N, Rikko D, Wahyu dan Tegar P serta rekan-rekan mahasiswa departemen teknik mesin FTUI lainnya yang senantiasa memberikan inspirasi dalam pembuatan laporan ini.
6. Keluarga besar Universitas Indonesia yang senantiasa memberikan semangat dan dukungannya.

Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan juga dalam penulisan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya.

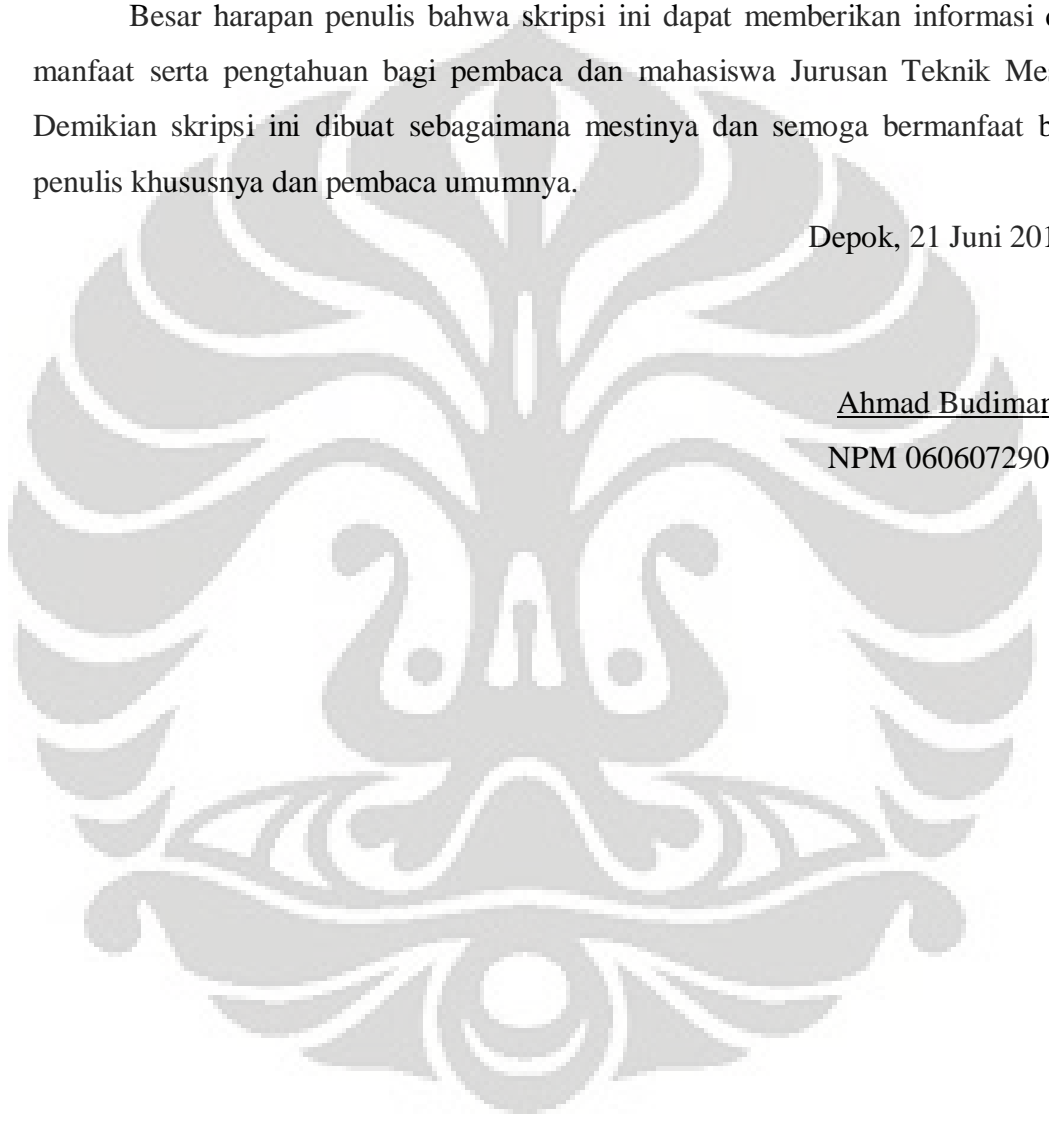
Penulis juga minta maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak atas kesalahan yang sengaja maupun tidak sengaja selama pelaksanaan penelitian. Dan juga penulis menyadari adanya ketidaksempurnaan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik dimasa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa skripsi ini dapat memberikan informasi dan manfaat serta pengetahuan bagi pembaca dan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Demikian skripsi ini dibuat sebagaimana mestinya dan semoga bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya.

Depok, 21 Juni 2010

Ahmad Budiman

NPM 0606072906



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Budiman

NPM : 0606072906

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

**PENGARUH JENIS PEMBAKARAN DAN BENTUK GEOMETRI RUANG  
TERHADAP AKTIVASI DETEKTOR ASAP**

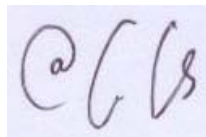
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusive ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pengkalaan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 21 Juni 2010

Yang menyatakan



(Ahmad Budiman)

## ABSTRAK

Nama : Ahmad Budiman  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Pengaruh Jenis Pembakaran dan Bentuk Geometri Ruang  
terhadap Aktivasi Detektor Asap

Deteksi awal kebakaran mempunyai peranan yang sangat penting terhadap keselamatan penghuni suatu bangunan. Penggunaan detektor asap merupakan salah satu upaya pencegahan kebakaran dalam suatu bangunan. Selama ini pemanfaatan detektor asap masih kurang efektif sehingga kinerja detektor asap tersebut tidak optimal. Penelitian ini difokuskan pada kajian simulasi menggunakan program FDS dan eksperimental untuk mengetahui waktu respon dari dua tipe detektor asap yaitu tipe ionisasi dan fotoelektrik terhadap jenis pembakaran yang berbeda dan pengaruh konfigurasi bentuk geometri yang berbeda yaitu dengan menggunakan sekat dan tanpa sekat terhadap aktivasi detektor asap. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa waktu aktivasi suatu detektor asap pada saat pengujian relatif lebih lama dibandingkan waktu aktivasi yang didapat dari hasil simulasi FDS pada lokasi dan kondisi yang sama. Selain itu didapatkan bahwa jenis pembakaran mempengaruhi waktu aktivasi dari detektor asap. Pola aktivasi detektor asap juga berubah akibat penambahan sekat pada suatu ruangan. Selain itu, ditemukan fenomena bahwa detektor asap yang ditempatkan didekat sekat akan mengalami perlambatan waktu respon.

Kata kunci: jenis pembakaran, detektor asap, waktu aktivasi, sekat, FDS



## ABSTRACT

Name : Ahmad Budiman

Study Program : Mechanical Engineering

Title : Effect of Burning Types and Room Geometry on Smoke  
Detector Activation

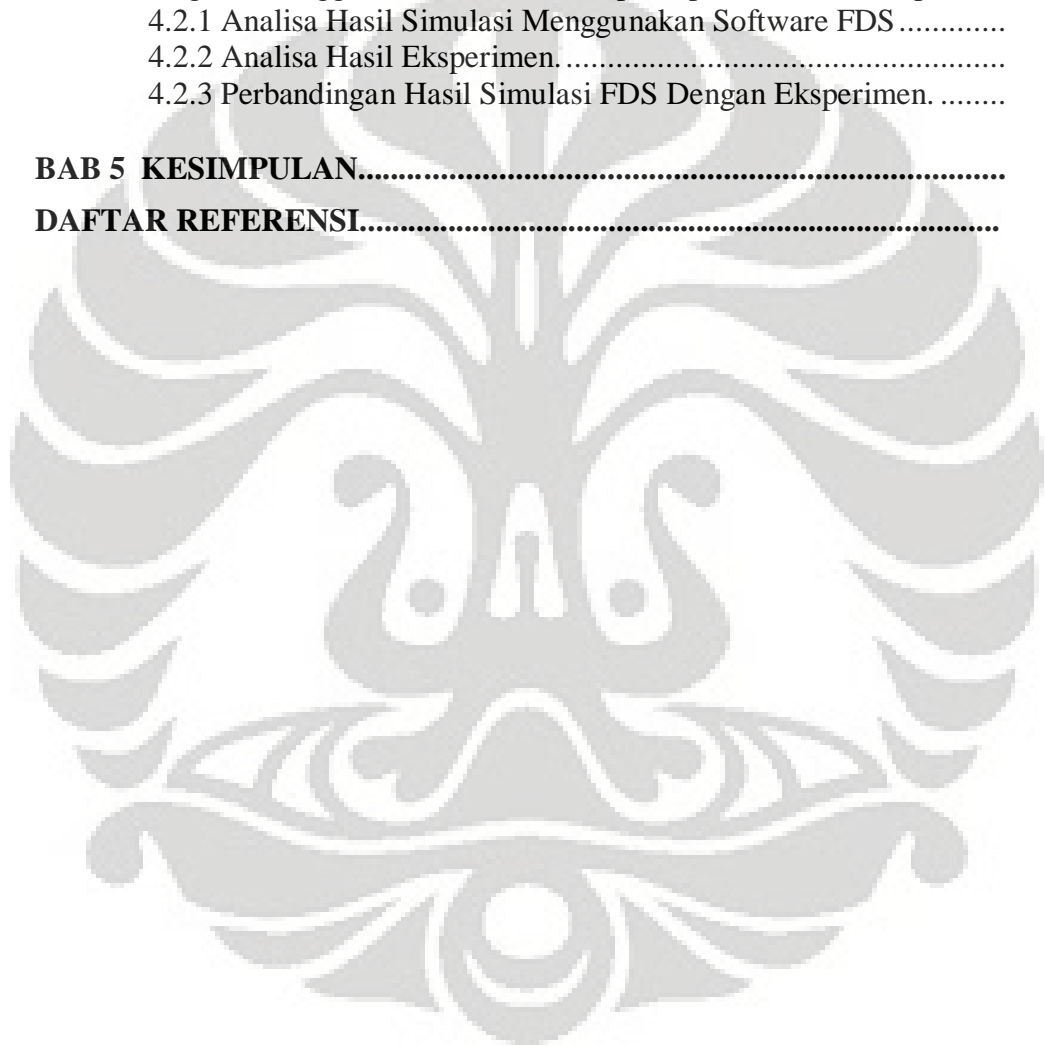
Early detection of fire has a very important role on the occupier safety in a building. The use of smoke detectors is one of the ways to prevent fire accident in a building. Nowadays, the use of smoke detectors in a building is still not optimal and ineffective. This study is focused on computer simulation using FDS and experiment to determine the response time of two types of smoke detectors, ionization and photoelectric against the variations of burning type and the effect of different room geometry, using smoke curtain and without smoke curtain on smoke detector response. Experiment result shows that the required response time of smoke detector in experiment is longer than the results from FDS simulation with the same location and condition. From the experiment result was also found that burning type can affect the response time of smoke detector. Smoke detector response is also changed with the addition of smoke curtain in the room configuration. Beside that, smoke detectors which are placed close to the smoke curtain will have slower response time.

*Keywords: burning type, smoke detector, time response, curtain, FDS.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH .....	iii
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Permasalahan .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Pembatasan Masalah .....	5
1.5 Metodologi Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Api dan Pembakaran .....	8
2.2 Asap Sebagai Hasil Pembakaran.....	10
2.2.1 Pengukuran Partikulat Asap.....	10
2.2.2 Pergerakan Asap.....	11
2.3 Fenomena Kebakaran.....	12
2.3.1 Kelas Kebakaran.....	13
2.3.2 Sistem Penanggulangan Kebakaran .....	15
2.3.3 Permodelan Kebakaran.....	17
2.4 Definisi atrium dan Koridor.....	20
2.5 Sistem Detektor Asap Sebagai Pencegah Kebakaran .....	21
2.5.1 Panel Kontrol Alarm Kebakaran.....	21
2.5.2 Detektor asap.....	22
2.5.2 Detektor asap Tipe Ionisasi.....	22
2.5.2 Detektor asap Tipe Fotoelektrik.....	23
2.6 Software FDS .....	24
<b>BAB 3 EKSPERIMENTAL.....</b>	<b>29</b>
3.1 Tahap Persiapan .....	29
3.1.1 Peralatan Keamanan .....	29
3.1.2 Kalibrasi Respon Detektor Asap .....	31
3.2 Peralatan Pengujian .....	32
3.3 Pemodelan Simulasi dengan FDS .....	35
3.3.1 Domain.....	36
3.2.3 Geometri .....	36
3.2.3 Properties Material dan Alat .....	38
3.4 Teknik Pengambilan Data .....	39

3.4.1	Prosedur Pengambilan Data Respon Time Detektor Asap Menggunakan Bensin .....	39
3.4.1	Prosedur Pengambilan Data Respon Time Detektor Asap Menggunakan Foam.....	41
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS .....</b>	<b>44</b>
4.1	Pengaruh Jenis Pembakaran Terhadap Respon Detektor Asap .....	44
4.1.1	Analisa Hasil Simulasi Menggunakan Software FDS .....	45
4.1.2	Analisa Hasil Eksperimen.....	51
4.1.3	Perbandingan Hasil Simulasi FDS Dengan Eksperimen. ....	53
4.2	Pengaruh Penggunaan Sekat Terhadap Respon Detektor Asap.....	55
4.2.1	Analisa Hasil Simulasi Menggunakan Software FDS .....	56
4.2.2	Analisa Hasil Eksperimen.....	60
4.2.3	Perbandingan Hasil Simulasi FDS Dengan Eksperimen. ....	64
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>66</b>
	<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>67</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Posisi Detektor Pada Ruang Uji .....	38
Tabel 3.2	Properties Material Pada Simulasi.....	39
Tabel 4.1	Waktu Aktivasi Detektor Asap Simulasi FDS .....	58
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Waktu Respon Detektor Asap Dengan Konfigurasi Geometri Berbeda .....	63



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peristiwa Kebakaran di Bekasi.....	1
Gambar 1.2	Penggunaan Smoke Curtain Pada Mall.....	3
Gambar 2.1	Segitiga Api.....	7
Gambar 2.2	Proses Perubahan Wujud Benda.....	8
Gambar 2.3	Produksi Asap.....	9
Gambar 2.4	Model Zona Pada Ruangan .....	18
Gambar 2.5	Model CFD.....	18
Gambar 2.6	Panel Alarm Kebakaran .....	20
Gambar 2.7	Detektor Asap.....	21
Gambar 2.8	Skema Detektor Asap Tipe Ionisasi .....	22
Gambar 2.9	Skema Detektor Asap Tipe Fotoelektrik.....	23
Gambar 2.10	Tampilan Smokeview di FDS .....	24
Gambar 2.11	Model Detektor Asap di FDS .....	26
Gambar 3.1	Contoh Pool Fire.....	29
Gambar 3.2.	Masker.....	30
Gambar 3.3	Pelindung Telinga.....	31
Gambar 3.4	Wadah Bahan Bakar .....	33
Gambar 3.5	Igniter .....	34
Gambar 3.6	Temperatur Controller .....	35
Gambar 3.7	Konfigurasi Ruang Uji .....	37
Gambar 3.8	Proses Penyalaan Bensin.....	40
Gambar 3.9	Ruang Uji Detektor Asap .....	41
Gambar 3.10	Proses Penyalaan Foam.....	41
Gambar 3.11	Ruang Uji Dengan Penambahan Sekat.....	43
Gambar 4.1	Lokasi Detektor Asap Pada Simulasi.....	45
Gambar 4.2	Waktu Aktivasi Detektor Asap Terhadap Posisi Penempatan a) Bagian Sisi 1 b) Bagian Sisi 2 .....	46
Gambar 4.3	Profil Kecepatan Asap Foam dan Bensin .....	47
Gambar 4.4	Tingkat Opasitas Terhadap Penempatan Detektor Asap .....	49
Gambar 4.5	Gambar Soot Yield Bahan .....	50
Gambar 4.6	Respon Detektor Asap Hasil Eksperimen a) Bahan Bensin b) Bahan Foam .....	51
Gambar 4.7	Perbandingan Waktu Respon Detektor Asap FDS dan Eksperimen a) Bahan Foam b) Bahan Bensin.....	54
Gambar 4.8	Konfigurasi Geometri Ruang Uji a) Tanpa Sekat b) Dengan Sekat.....	55
Gambar 4.9	Respon Detektor Asap Pada Simulasi FDS a) Sisi 1 b) Sisi 2 .....	56
Gambar 4.10	Pola Persebaran Asap a) Dengan Sekat b) Tanpa Sekat .....	58
Gambar 4.11	Grafik Opasitas Terhadap Waktu Tanpa Sekat .....	58
Gambar 4.12	Grafik Opasitas Terhadap Waktu Dengan Sekat.....	59
Gambar 4.13	Pola Opasitas Asap Pada Posisi 4.....	60
Gambar 4.14	Waktu Respon Detektor Asap Eksperimen a) Tanpa Sekat b) Dengan Sekat.....	61
Gambar 4.15	Diagram Selisih Waktu Respon Antara Posisi 1 dan 2.....	62

Gambar 4.16	Grafik Kecepatan Asap Pada Posisi 2.....	63
Gambar 4.17	Perbandingan Aktivasi Detektor Asap.....	64



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Kebakaran senantiasa menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan, baik menyangkut kerusakan harta benda, kerugian materi, gangguan terhadap kelestarian lingkungan, terhentinya proses produksi barang serta jasa, serta bahaya terhadap keselamatan jiwa manusia. Kebakaran yang terjadi di permukiman padat penduduk bisa menimbulkan akibat-akibat sosial, ekonomi dan psikologi yang luas. Kebakaran di gedung tinggi sering berakibat fatal akibat sulitnya upaya pemadaman dari luar gedung.



**Gambar 1.1** Peristiwa kebakaran di Bekasi

Peristiwa kebakaran termasuk peristiwa yang menimbulkan kerugian cukup besar bila dibandingkan dengan bentuk bencana yang lain, baik dari segi ekonomi, lingkungan maupun manusia. Berdasarkan data statistik yang dihimpun oleh Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana (DPKPB) DKI Jakarta tercatat telah terjadi 769 kasus kebakaran selama tahun 2009 yang

menimbulkan kerugian material sekitar Rp 253 miliar sedangkan pada tahun sebelumnya mengalami peningkatan yaitu 819 kasus kebakaran. Dari data tersebut terbukti bahwa peristiwa kebakaran, disamping peristiwa bencana alam, menimbulkan resiko yang tinggi terhadap bahaya kematian serta kerugian material yang cukup besar. Untuk itu diperlukan berbagai upaya pencegahan timbulnya kebakaran.

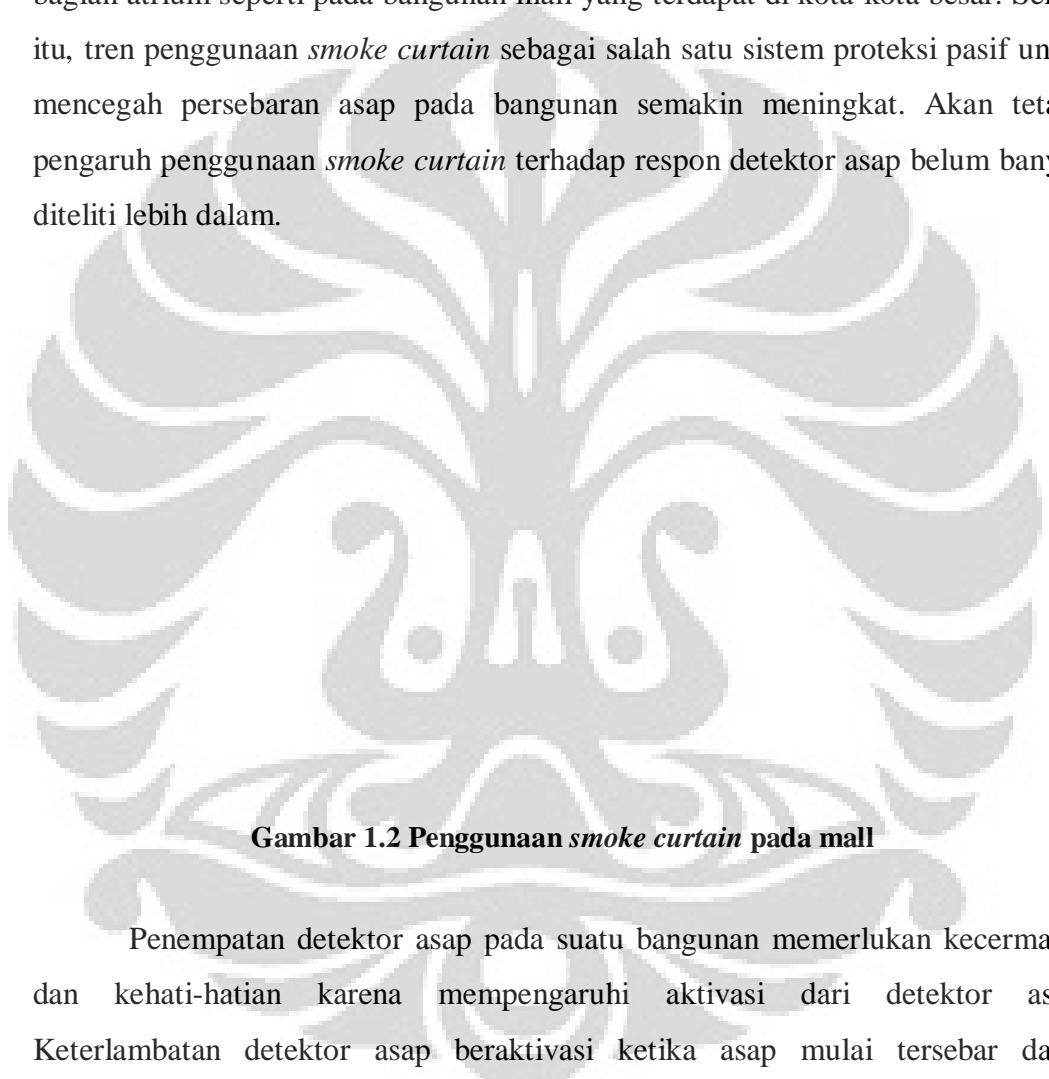
Pencegahan kebakaran dapat didefinisikan sebagai usaha untuk mewaspadai faktor-faktor yang menjadi sebab munculnya atau terjadinya kebakaran dan mengambil langkah-langkah untuk mencegah kemungkinan tersebut menjadi kenyataan. Faktor-faktor yang dapat memudahkan timbulnya kebakaran diantaranya, iklim yang relatif panas, angin yang kencang, pemukiman yang padat, kelalaian manusia dsb. Pencegahan kebakaran membutuhkan suatu program pendidikan dan pengawasan, rencana pemeliharaan yang cermat dan teratur atas bangunan dan kelengkapannya, inspeksi/pemeriksaan, penyediaan dan penempatan yang baik dari peralatan pemadam kebakaran termasuk memeliharanya baik segi siap-pakainya maupun dari segi mudah dicapainya.

Kebakaran sebenarnya dapat dikendalikan dengan sistem proteksi aktif dan sistem proteksi pasif. Sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, maka bangunan gedung dipersyaratkan memenuhi kriteria keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Persyaratan kemampuan bangunan gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran merupakan kemampuan bangunan gedung untuk melakukan pengamanan terhadap bahaya kebakaran melalui sistem proteksi pasif dan/atau proteksi aktif.

Deteksi awal kebakaran mempunyai peranan yang sangat penting terhadap keselamatan penghuni suatu bangunan. Kemampuan untuk memprediksikan kinerja sistem deteksi kebakaran secara akurat adalah bagian dari analisis yang berhubungan dengan perencanaan penyelamatan kebakaran dan rekonstruksi kebakaran. Penelitian menunjukkan bahwa kehadiran suatu detektor asap pada suatu area atau lingkungan tempat tinggal bisa mengurangi angka resiko bahaya dan kematian yang diakibatkan oleh kebakaran[1].



Dalam bangunan tinggi detektor asap banyak digunakan karena dapat bekerja secara efektif dan mampu memberikan respon yang sangat cepat pada tahapan awal terjadinya kebakaran. Secara umum, penelitian tentang penempatan detektor asap terfokus pada bagian koridor dari suatu bangunan seperti yang telah diteliti oleh Gottuk[2] sedangkan untuk bagian atrium masih belum diteliti secara mendalam. Padahal, cukup banyak bangunan gedung di Indonesia yang memiliki bagian atrium seperti pada bangunan mall yang terdapat di kota-kota besar. Selain itu, tren penggunaan *smoke curtain* sebagai salah satu sistem proteksi pasif untuk mencegah persebaran asap pada bangunan semakin meningkat. Akan tetapi, pengaruh penggunaan *smoke curtain* terhadap respon detektor asap belum banyak diteliti lebih dalam.



**Gambar 1.2 Penggunaan *smoke curtain* pada mall**

Penempatan detektor asap pada suatu bangunan memerlukan kecermatan dan kehati-hatian karena mempengaruhi aktivasi dari detektor asap. Keterlambatan detektor asap beraktivasi ketika asap mulai tersebar dapat mengakibatkan bahaya yang serius terhadap penghuni area. Kebakaran yang terus meluas bisa menyebabkan kematian apabila penghuni tidak cepat menyadari adanya kebakaran yang ditandai dengan kehadiran asap. Oleh karena itu, desain suatu sistem pendeteksi asap memerlukan metode yang akurat untuk menentukan waktu aktivasi dan penempatan detektor asap yang paling efektif

pada suatu bangunan dengan bentuk geometri tertentu agar suatu detektor asap dapat bekerja secara optimal.

Perkembangan pesat yang dicapai oleh bidang Pemodelan Kebakaran (Fire Modeling) telah memungkinkan dilakukannya simulasi kebakaran menggunakan pendekatan *Zone Model* maupun *Field Model*[3]. Pemodelan penyebaran asap yang akan dilakukan pada penelitian ini berbasis pada *Field Model* menggunakan *Fire Dynamic Simulator* (FDS) yang dikembangkan oleh NIST[4]. FDS merupakan model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk fire-driven fluid flow. Dalam model ini partikel Lagrangian digunakan untuk mensimulasikan pergerakan asap, semburan sprinkler maupun semburan bahan bakar. Penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa hasil simulasi FDS dapat mendukung laporan investigasi kebakaran dari pihak Kepolisian[5].

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini akan mengkaji secara mendalam pengaruh jenis pembakaran dan bentuk geometri ruangan terhadap aktivasi dari detektor asap. Bahan foam dan bensin digunakan sebagai representasi bahan yang umum dipakai di masyarakat. Pemodelan dan simulasi pergerakan asap memungkinkan diketahuinya pengaruh jenis pembakaran dan geometri ruangan pada parameter aktivasi detektor. Hasil pemodelan dan simulasi FDS akan divalidasi dengan hasil pengujian di lapangan.

## **1.2 Perumusan masalah**

Skripsi ini akan dibahas rancang bangun peralatan penelitian skala laboratorium untuk mengetahui pergerakan asap yang dihasilkan dari berbagai sumber asap yang berbeda dalam ruang pengujian dan menganalisis pengaruh bentuk geometri dan jenis pembakaran terhadap aktivasi detektor asap pada koridor dan atrium. Penelitian ini juga akan mempelajari karakteristik pergerakan dan konsentrasi asap dari berbagai sumber asap yang berbeda yang dihasilkan dari bahan bakar yang berasal dari pembakaran flaming dan smouldering sebagai representasi dari bahan-bahan yang umum dipakai dalam kegiatan rumah tangga dan membandingkannya dengan hasil simulasi menggunakan FDS sehingga dapat dijadikan pertimbangan penempatan detektor asap yang efektif.

### **1.3 Tujuan penelitian**

Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi tugas akhir untuk jenjang sarjana. Tujuan dari penulisan ini yaitu pembaca dapat memahami arti penting penggunaan detektor asap pada suatu bangunan sebagai deteksi awal kebakaran, Identifikasi karakteristik pergerakan asap pada suatu koridor dan atrium, Identifikasi pengaruh bentuk geometri ruangan terhadap aktivasi detektor, Validasi kesesuaian hasil pemodelan dengan hasil pengujian sehingga dapat dilihat tingkat kesesuaian antara pengujian dan simulasi. Dengan demikian, apabila tujuan tersebut dapat tercapai maka diharapkan detektor asap dapat digunakan dengan fungsi yang optimal.

### **1.4 Pembatasan Masalah**

Arah penelitian ini difokuskan pada kajian simulasi dan eksperimen aktivasi detektor asap yang meliputi :

1. Pengaruh jenis pembakaran terhadap respon detektor asap.
2. Pengaruh bentuk geometri ruangan terhadap respon detektor asap.

### **1.5 Metodologi Penelitian**

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur setelah mendapatkan tema yang akan dibahas. Tema yang akan dibahas yaitu penelitian detektor asap. Literatur berupa jurnal-jurnal penelitian yang telah banyak dilakukan oleh berbagai pihak, dan coba mengaitkan sumber-sumber tersebut kepada tema penelitian yang akan dilakukan.
2. Merancang alat uji sesuai dengan tujuan yang akan didapatkan. Pada penelitian ini alat uji yang kami rancang dan buat berupa ruangan uji, detektor asap dengan panel, serta kamera sebagai *tools* pengambilan data.
3. Melakukan pengujian/pengambilan data setelah alat uji selesai dibuat. Pengambilan data dan pengujian dilakukan sesuai prosedur percobaan yang telah ditentukan sebelumnya.

4. Melakukan pengolahan data dan menganalisis data yang telah didapat. Dalam menganalisis sebaiknya mengacu kepada literatur yang telah ada.
5. Dari data yang telah diolah dan dianalisis, akan didapatkan kesimpulan tentang penggunaan detektor asap agar bisa dimanfaatkan secara optimal sebagai sistem proteksi aktif.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian, agar mudah dalam memahami dan mempelajarinya. Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Bagian ini berisi landasan teori dalam melakukan penelitian. Dasar teori yang terdapat dalam penelitian ini yaitu mengenai proses pembakaran pada bahan bakar cair dan padat, karakteristik pergerakan asap, sistem proteksi kebakaran, sistem proteksi kebakaran detektor asap, dan dasar-dasar pemrograman FDS.

### **BAB III METODOLOGI PENGUJIAN**

Pada bagian ini akan dibahas mengenai peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan dalam pengambilan data pengujian. Persiapan alat uji sebelum dilakukan pengujian, dan metode/cara pelaksanaan pengambilan data juga terdapat pada bagian ini.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISIS**

Bab ini berisi data-data hasil penelitian, perhitungan data-data tersebut, grafik, serta analisis mengenai hasil yang diperoleh. Bagian ini akan membahas data-data yang terkumpul dari pemodelan dan eksperimen. Dari data yang

diperoleh tersebut kemudian dianalisa untuk mendapat kesimpulan sesuai dengan tujuan yang telah dicantumkan.

## BAB V KESIMPULAN dan SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian dan hasil yang didapat serta saran-saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Api dan Pembakaran

Api merupakan sebuah proses pembakaran, dimana terjadi sebuah reaksi kimia kompleks antara bahan bakar, oksigen dan sumber-sumber *ignition* seperti terlihat pada gambar segitiga api dibawah. Pembakaran dapat didefinisikan sebagai reaksi kimia antara bahan bakar dan *oxidizer* yang melibatkan pelepasan energi signifikan dalam bentuk panas[6] sedangkan bahan bakar adalah segala zat yang melepaskan energi ketika dioksidasi. Istilah ‘bahan bakar’ akan digunakan untuk menjelaskan suatu benda yang terbakar, dalam fase apapun, baik dalam fase gas, uap, cair, atau padat. Adapun bahan bakar yang akan dibahas lebih lanjut pada makalah ini adalah bahan bakar yang berbasis karbon, karena sebagian besar bahan bakar yang ada di dunia ini berbasis karbon.

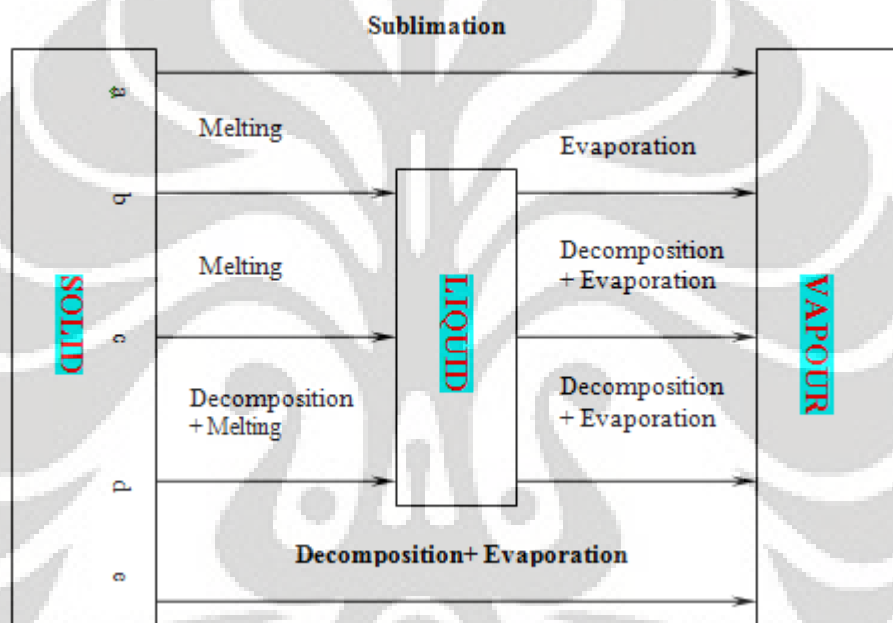


Gambar 2.1 Segitiga api[6]

Api merupakan fenomena dalam fase gas, sehingga pembakaran dengan nyala api pada bahan bakar cair dan padat, harus didahului dengan proses perubahan fase bahan bakar tersebut menjadi fase gas. Untuk bahan bakar cair, proses ini pada umumnya berupa penguapan sederhana dari hasil pendidihan pada permukaan, tetapi untuk hampir semua padatan, dekomposisi kimia atau pirolisis dibutuhkan agar menghasilkan produk dengan berat molekular rendah yang dapat melayang dari permukaan, dan memasuki api. Perubahan fase tersebut dapat

dilihat pada gambar 2.2 dibawah. Pada dasarnya, dekomposisi termal atau pirolisis dari bahan bakar padatan hanya akan terjadi pada tingkat temperatur tertentu pada permukaan padatan itu sendiri.

Selanjutnya gas dan uap hasil dekomposisi termal tersebut akan bercampur dengan oksigen atau udara sebagai *oxidizer* untuk membentuk campuran yang dapat terbakar. *Oxidizer* adalah segala zat dimana didalamnya terdapat oksigen yang bereaksi dengan bahan bakar[6]. Udara merupakan oxidizer alami, karena udara pada keadaan normal memiliki kandungan oksigen sebesar 21%.



Gambar 2.2 Proses perubahan wujud benda[1]

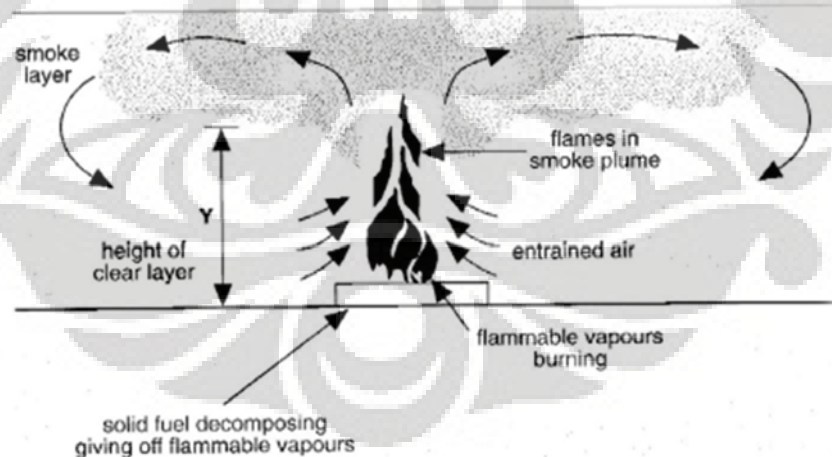
Aliran atau semburan dari gas hidrokarbon yang telah bercampur dengan udara dapat dipicu dengan *igniter* agar membentuk api, dimana terlihat bahwa sebagian volum di dalam campuran tersebut sedang mengalami proses oksidasi. Pada saat yang bersamaan dengan proses oksidasi campuran bahan bakar, terjadi pula proses emisi kalor. Karena pembakaran melepaskan sejumlah panas, maka proses ini digolongkan ke dalam reaksi eksotermik, dimana terjadi perpindahan energi dari sistem ke lingkungan.

Pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu pembakaran jenis *flaming* dan *smouldering*. Perbedaan mendasar antara kedua jenis pembakaran

tersebut yaitu *smouldering* merupakan bentuk kebakaran yang terjadi tanpa adanya nyala api, pergerakannya lambat, dan temperatur yang rendah yang disertai dengan perambatan panas ketika oksigen mengenai permukaan bahan bakar pada fasa kondensasi sedangkan flaming merupakan pembakaran yang disertai dengan nyala api, pergerakannya cepat dan temperaturnya tinggi.

## 2.2 Asap Sebagai Hasil Pembakaran

Produk sampingan yang dihasilkan dari pembakaran selain timbulnya panas yaitu asap yang akan menyebar ke lingkungan sekitarnya. Asap yang dihasilkan ini dapat menghalangi jarak pandang sehingga dapat menyulitkan proses evakuasi atau penyalamatan dari penghuni bangunan. Asap adalah produk gas dari pembakaran material *organic* dimana partikel kecil padat dan cair terdispersikan[6]. Asap merupakan salah satu hasil pembakaran yang sangat berbahaya karena menurut data statistik yang diperoleh di Inggris dan Amerika menunjukkan bahwa lebih dari 50% kematian yang diakibatkan oleh kebakaran disebabkan karena terhirupnya partikulat-partikulat asap yang mungkin mengandung zat-zat.



Gambar 2.3 Produksi asap[7]

### 2.2.1 Pengukuran Partikulat Asap

Partikulat asap dari hasil pembakaran suatu material dapat diperkirakan dengan salah satu metode di bawah ini[6]:



- a) Menyaring asap dan menentukan berat dari partikulat zat tersebut ( hanya cocok untuk experiment skala kecil ).
- b) Mengumpulkan asap pada suatu ruangan yang telah diketahui volumenya dan tentukan *optical density* ( hanya untuk experiment skala kecil dan menengah) .
- c) Mengalirkan asap pada suatu saluran dan ukurlah *optical density* ketika asap mulai terukur oleh alat ukur, ukurlah secara berkesinambungan terhadap waktu untuk mendapatkan pengukuran partikulat asap total.

Jumlah partikulat asap yang dihasilkan dari *experiment* harus dihasilkan dalam bentuk hasil yang dibangkitkan oleh tiap satuan massa bahan bakar yang terbakar.

$$m = 0,071Qc^{1/3}z^{5/3}[1 + 0.026Qc^{2/3}z^{-5/3}]kg/s \quad 2.1$$

Jumlah partikel asap yang terbentuk dari test harus ditampilkan dalam sebuah hasil yaitu jumlah yang dihasilkan per unit massa dari jumlah bahan bakar yang terbakar. Definisi dari asap telah dijelaskan sebelumnya meliputi udara yang telah bercampur. Masa dari pertumbuhan asap besarnya mengikuti persamaan 2.1 yang digunakan untuk menyesuaikan konsentrasi dari partikel asap. Jadi, jika *optical density* digunakan untuk mengukur jumlah dari asap, volume dari partikel asap yang terpencah harus diketahui. *Optical density* dapat dicari dengan mengukur pengurangan intensitas cahaya yang melalui asap.

### 2.2.2 Pergerakan Asap

Asap adalah gas panas yang mengapung yang pada dasarnya merupakan udara panas yang berkontaminasi. Asap juga mengikuti hukum-hukum dasar dari mekanikal fluida. Jumlah produksi asap dari setiap sumber api sangat bervariasi dari api ke api dan waktu ke waktu dari sebuah pembakaran yang sama. Jumlah produksi asap mempunyai fungsi bergantung dari ukuran dan panas dari api serta bentuk geometri dari tempat yang akan dilewati oleh asap. Khususnya terkait dengan peningkatan *plume* dari asap tersebut, keliling dan tingginya. Hal ini diakibatkan gerakan *turbulence* dari sekeliling *plume* yang meningkat memasuki

udara. Udara ini menahan laju pertumbuhan *plume*, meningkatkan volume dari asap tetapi mengurangi temperature dari asap tersebut.

Produksi asap sangat tergantung dari ukuran api, tidak terlalu terpengaruh dari luas lantai atau volume dari compartmentnya kecuali hal ini mempengaruhi besarnya api dan laju pertumbuhan asap. Massa jenis dan racun yang terkandung di dalam asap tergantung dari bahan bakar yang terbakar, tetapi total volume dari asap yang terbentuk tergantung dari ukuran api dan bangunan tempat asap terbentuk.

Asap merupakan fluida yang bergerak berdasarkan pengaruh dari adanya gaya yang mendorong, yaitu berupa gradient tekanan yang mendorong fluida. Untuk gerakan asap di dalam gedung, gaya-gayanya dihasilkan oleh:

- a. Gaya apung yang dihasilkan langsung oleh api.
- b. Gaya apung yang terjadi akibat adanya perbedaan antara internal dan eksternal *temperature ambient*.
- c. Efek dari angin dan udara yang bergerak.
- d. Sistem tata udara yang ada di dalam gedung.

### **2.3. Fenomena Kebakaran**

Kebakaran adalah peristiwa terbakarnya material baik itu padat, cair atau gas dalam skala besar yang disertai terbentuknya asap dan penyebaran nyala api pembakarannya tidak terkendali dan terprediksi. Semakin banyak material yang terbakar maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya penyebaran nyala api akibat kalor pembakaran yang dilepaskannya.

Dalam memadamkan api atau kebakaran, diperlukan alat pemadam yang tepat sesuai dengan jenis atau asal api. Ada beberapa jenis api yang dihasilkan, dimana perbedaan terletak pada sumber bahan yang terbakar. Sumber bahan/material yang terbakar akan menentukan karakteristik api dan asap yang akan terbentuk, sehingga memerlukan alat pemadam api yang berbeda untuk hal tersebut.

### 2.3.1 Kelas Kebakaran

Kebakaran memiliki kelas-kelas yang berbeda tergantung pada material yang terbakar. Kebakaran di Indonesia dibagi menjadi tiga kelas, yaitu:

1. Kelas A



Kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda padat, misalnya kertas, kayu, plastik, karet, busa dan lain-lainnya. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: air, pasir, karung goni yang dibasahi, dan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering.

2. Kelas B



Kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda mudah terbakar berupa cairan, misalnya bensin, solar, minyak tanah, spirtus, alkohol dan lain-lainnya. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: pasir dan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering. Dilarang memakai air untuk jenis ini karena berat jenis air lebih berat dari pada berat jenis bahan di atas sehingga bila kita menggunakan air maka kebakaran akan melebar kemana-mana

3. Kelas C



Kebakaran yang disebabkan oleh listrik. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering. Matikan dulu sumber listrik agar kita aman dalam memadamkan kebakaran

#### 4. Kelas D

Kebakaran yang terjadi pada material-material logam. Kebakaran jenis ini dapat memicu terjadinya kebakaran kelas A. Pemadamannya biasa menggunakan bubuk kimia kering.

#### 5. Kelas K

Kebakaran yang disebabkan oleh minyak penggorengan. Kebakaran ini merupakan bagian kebakaran kelas B, tetapi karakteristiknya yang berbeda membuat kebakaran jenis ini perlu mendapat perhatian khusus.

Dalam peristiwa kebakaran dalam bangunan, penyebaran api yang cepat umumnya didukung oleh adanya bahan bakar yang cukup, dalam hal ini berupa furnitur dan isi yang berada di dalam bangunan tersebut. Berdasarkan kajian skala penuh, maupun kajian skala laboratorium, maka dalam peristiwa kebakaran, kinerja material terhadap api dapat dikategorikan berdasarkan:

- Waktu nyala
- Laju produksi kalor
- Laju produksi asap

Dengan pengukuran terhadap parameter-parameter di atas maka ketahanan suatu material dan pengaruhnya terhadap kebakaran, serta kontribusi produk-produk bangunan tersebut terhadap kebakaran ruang dapat diramalkan. Dengan demikian, kemampuan untuk melakukan deteksi dini maupun manajemen asap dapat memperbesar peluang penyelamatan penghuni maupun properti bangunan. Hasil penelitian terdahulu menggunakan kalorimeter api memperlihatkan bahwa opasitas asap dipengaruhi oleh laju kehilangan massa sampel uji[8]. Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa laju produksi asap yang terjadi pada tahapan pirolisis lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tahapan nyala (*flaming*).

### 2.3.2 Sistem Penanggulangan Kebakaran

Sebagai suatu sistem, bangunan terdiri dari sub-sub sistem yang membentuknya secara integral dalam satu kesatuan. Sub-sub sistem tersebut

antara lain arsitektur, struktur, mekanikal, elektrikal, desain ruang dalam (*interior*), desain ruang luar (*landscape*), utilitas, dan sistem-sistem lain seperti manajemen/pengelolaan, *maitenance/service*, sistem penanggulangan kebakaran */fire safety*. Sistem-sistem ini haruslah terintegrasi dengan baik dalam bangunan.

Sistem Penanggulangan Kebakaran adalah sistem proteksi yang perlu disertakan di dalam bangunan. Khususnya untuk bangunan fasilitas umum dan/atau bangunan yang mewadahi orang banyak, hal ini menjadi suatu kewajiban untuk disediakan. Pada pelaksanaannya, tentu penataan atau perencanaannya harus dilibatkan secara kontinyu pada saat proses konstruksi secara keseluruhan. Proses konstruksi yang dimaksudkan di atas adalah dari mulai tahap perencanaan, perancangan, pembangunan, pengoperasian serta perbaikan dan perawatan.

Tujuan perencanaan penanggulangan kebakaran (*fire safety*) adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia dan untuk kemudian sebisanya menghindari kerusakan seminimal mungkin. Dasar-dasar penyelamatan terhadap bahaya kebakaran pada bangunan, dilandasi oleh sifat alamiah api yang signifikan membahayakan baik itu yang menimbulkan kerugian material ataupun keselamatan jiwa manusia. Beberapa item yang sekaligus juga merupakan tujuan langkah penyelamatan terhadap bahaya kebakaran, antara lain :

- mencegah terjadinya kebakaran
- mencegah berkembangnya api sehingga tidak terkendali
- mendeteksi terjadinya api sedini mungkin
- memadamkan api dengan cepat
- memudahkan evakuasi penghuni dan barang property
- meminimalkan kerusakan yang timbul

Sedangkan implementasi dari tindakan-tindakan penyelamatan di atas bisa disimpulkan menjadi empat bagian utama yaitu :

- menyelamatkan jiwa manusia
- menyelamatkan bangunan dan isinya
- menjadi acuan/pedoman proses penanggulangan dan penyelamatan
- meminimalkan kerusakan pada lingkungan

Ada beberapa cara yang dikenal dalam mengklasifikasikan sistem penanggulangan kebakaran pada bangunan. Beberapa di antaranya yang sering digunakan antara lain :

1. Klasifikasi berdasarkan implementasi dan cara pelaksanaannya, berdasarkan implementasi dan cara pelaksanaannya, sistem penanggulangan kebakaran diklasifikasikan dalam dua bagian, yaitu :
  - sistem proteksi aktif, proteksi melalui sarana aktif atau secara mekanis.
  - sistem proteksi pasif, proteksi melalui sarana pasif.
2. Berdasarkan pentahapan cara pelaksanaan penanggulangan kebakaran, sistem dibagi dalam 5 tahap yaitu :
  - *Prevention* (Sistem Preventif), memastikan api dan kebakaran tidak timbul, dengan mengontrol sumber api dan bahan yang terbakar.
  - *Communications* (Sistem Komunikasi)
  - *Escape System* (Sistem Jalur penyelamatan)
  - *Containment System* (Sistem Pengisolasian Api)
  - *Extinguishment System* (Sistem Pemadaman)

Untuk Indonesia, umumnya sistem pengklasifikasian yang biasa dipakai adalah berdasarkan implementasi dan cara pelaksanaannya dibagi dua, yaitu sistem proteksi aktif dan sistem proteksi pasif.

Dari hal-hal tersebut di atas dapat terlihat bahwa deteksi awal kebakaran mempunyai peranan yang sangat penting terhadap keselamatan penghuni suatu bangunan. Kemampuan untuk memprediksikan kinerja sistem deteksi kebakaran secara akurat adalah bagian dari analisis yang berhubungan dengan perencanaan penyelamatan kebakaran dan rekonstruksi kebakaran.

### **2.3.3 Permodelan Kebakaran**

Munculnya *performance based regulation* tentang *fire safety* baru – baru ini dan semakin kompleknya desain suatu bangunan telah mendorong peningkatan dalam penggunaan teknologi komputer dalam memodelkan ataupun

mensimulasikan pergerakan asap dan api dalam suatu ruangan maupun bangunan. Untuk dapat menerapkannya secara benar, *user* harus cukup mengerti mengenai dasar – dasar dari pemodelan untuk mendapatkan keakuratan dan kevalidaan terhadap hasil yang diperoleh. Secara umum, permodelan kebakaran dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu probabilistik model, zone model serta CFD model.

#### **a. Probabilistik Model**

Model probabilistik merupakan suatu tipe permodelan kebakaran yang tidak langsung menggunakan prinsip-prinsip fisika dan kimia dalam menjelaskan fenomena kebakaran. Model ini menggunakan prediksi statistik mengenai transisi dari satu tahap pertumbuhan api ke tahap yang lain. Model ini menggambarkan pertumbuhan api sebagai serangkaian tahapan berlainan yang merangkum karakteristik api. Probabilitas terhadap waktu dianggap sebagai kemungkinan api berubah dari satu tahap ke tahap lain. Perubahan ditentukan dari data eksperimen dan statistik insiden kebakaran yang tercatat. Secara umum ada tiga jenis model probabilistik yang digunakan yaitu : jaringan, statistik, dan model simulasi. Masing-masing model tersebut berhubungan dengan ketidakpastian terkait dengan proses pertumbuhan api.

Model jaringan merupakan model yang merepresentasikan grafis, jalur, atau rute, dimana benda, energi, informasi, atau logika dapat mengalir dari satu titik ke titik lain. *Decision trees* adalah salah satu jenis model jaringan. Pada model jaringan ini setiap peristiwa berhubungan dengan cabang pohon yang menggambarkan dua atau lebih hasil yang lebih memungkinkan mengikuti sebuah peristiwa. *Event tress* atau *fault trees* adalah jenis kedua model jaringan. Hubungan antara penyebab suatu peristiwa digambarkan dengan menggunakan dua simbol dasar gates-logic yaitu *DAN gates* dan *OR gates*. *Decision trees* hanya merepresentasikan *OR gates*, sehingga jenis model ini memberikan fleksibilitas lebih besar dalam menjelaskan suatu proses.

Model statistik merupakan model yang melibatkan deskripsi fenomena acak dengan distribusi probabilitas yang tepat. Distribusi probabilitas dapat dianggap sebagai fungsi matematika yang mendefinisikan probabilitas dari suatu peristiwa. Beberapa model statistik yang lebih canggih menggunakan prinsip teori

distribusi probabilitas untuk menggabungkan dua atau lebih variabel acak. Penetapan distribusi probabilitas dapat didasarkan pada data riwayat, evaluasi teknik, atau keduanya.

Model simulasi merupakan model yang digunakan untuk menjelaskan simulasi komputer dimana parameter kondisi berbeda dicoba berulang kali untuk melihat pengaruh yang ditimbulkan pada hasil keluaran. Prosedur simulasi yang paling umum yaitu simulasi monte carlo. Pertumbuhan api bisa digambarkan sebagai deret geometri dari satu bagian ke bagian lain yang ditentukan oleh parameter, variabel, atau proses dari daerah kebakaran seperti pemicu, penyebaran api, beban api, ventilasi, dll.

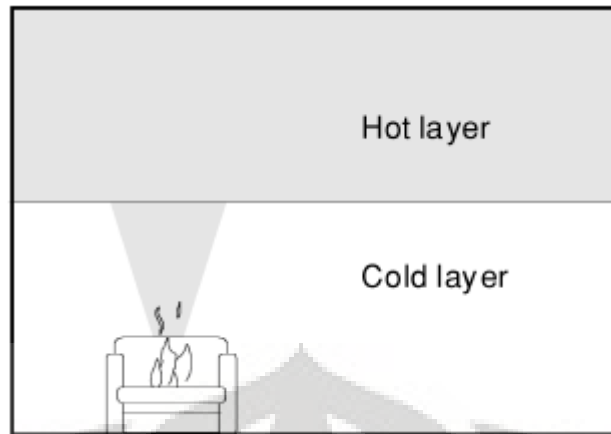
komputer secara acak memungkinkan api untuk menyebar dari satu bagian ke bagian yang lain dan menghasilkan sejumlah besar simulasi. Output yang diperoleh dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat kepentingan dari setiap parameter, variabel, dan proses kebakaran.

#### **b. Zone Model**

Istilah model zona digunakan dalam teknik keselamatan kebakaran untuk mengidentifikasi jenis model komputer yang mensimulasikan fenomena kebakaran dalam *enclosure fire*. Beberapa model tersebut hanya mempertimbangkan api dalam ruangan tetapi beberapa model lainnya dapat menerapkan teknik model zona di beberapa ruangan dan memungkinkan untuk menghitung pergerakan asap dan kalor melalui bangunan.

Secara umum model zona menggambarkan sistem dua zona gas kompartemen berbeda. Kedua zona yang berbeda tersebut berupa volume bagian atas yang merupakan lapisan panas dan volume bagian bawah yang merupakan lapisan dinding. Zona tersebut dihasilkan dari perbedaan *thermal* akibat adanya gaya bouyancy. Hal ini lah yang menyebabkan tipe permodelan ini dinamakan model dua zona. Persamaan konservasi diterapkan pada setiap zona dan digunakan untuk menjelaskan berbagai proses pembakaran dan fenomena perpindahan yang berlaku. Berikut adalah gambar permodelan dua zona.

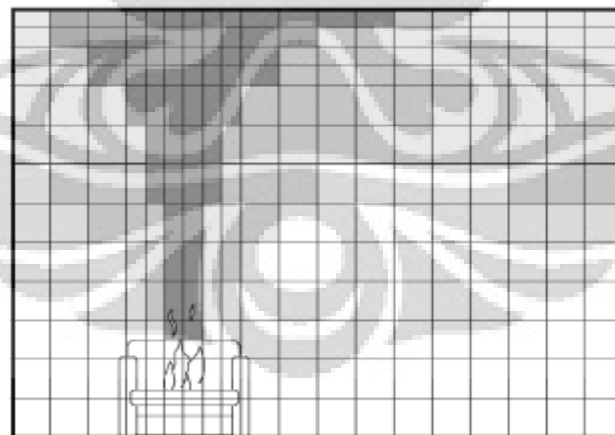




**Gambar 2.4 Model zona pada ruangan[9]**

### c. *Computational Fluid Dynamic Model*

Teknik pemodelan CFD digunakan secara luas dalam berbagai disiplin ilmu teknik. Model ini didasarkan pada solusi *time dependent* dan analisis tiga dimensi dari hukum konservasi dasar. Bagian volume yang akan dianalisis dibagi ke dalam sejumlah besar subvolume dan dasar hukum konservasi massa, momentum, dan energi diterapkan pada masing-masing subvolume tersebut. Gambar berikut adalah skema dari model CFD pada suatu ruangan.



**Gambar 2.5 Model CFD[9]**

Persamaan konservasi untuk mengatur massa, energi, dan momentum digunakan untuk menggambarkan aliran fluida. Persamaan Navier-Stokes adalah inti dari seluruh kode CFD. Beberapa kode CFD yang dikembangkan untuk

digunakan dalam berbagai disiplin ilmu teknik, tersedia secara komersial maupun gratis. Teknik aplikasi CFD tidak hanya melibatkan aliran fluida dan perpindahan panas, tetapi juga dapat melibatkan pembakaran, fase perubahan, aliran multifase, dan reaksi kimia untuk beberapa proses. Suatu kode CFD terdiri dari :

- **preprocessor.** Pada tahap ini geometri dari daerah yang akan dianalisis didefinisikan, grid dihasilkan, fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan dipilih, sifat fluida didefinisikan, dan kondisi batas ditentukan.
- **Solver.** Pada tahap ini variabel-variabel aliran yang tidak diketahui mulai diperkirakan. Perkiraan tersebut ditentukan dari substitusi ke persamaan aliran dan persamaan aljabar yang telah diselesaikan.
- **postprocessor** . Pada tahapan ini sudah memungkinkan tampilan dari input dan output data dalam berbagai bentuk (tampilan grid, plot kontur, plot vektor, 2D dan 3D plot permukaan, pergerakan partikel, dll).

#### 2.4 Definisi Atrium dan Koridor

Atrium merupakan ruangan bervolume besar yang terbentuk oleh satu bukaan lantai atau bukaan lantai yang berturutan menghubungkan dua atau lebih lantai yang tertutup pada puncak bukaan[10]. Ruangan bervolume besar pada definisi diatas merupakan ruangan yang umumnya terdiri dari dua lantai atau lebih dimana asap hasil pembakaran dalam ruangan dapat bergerak dan menumbuk tanpa hambatan. Pada penelitian ini definisi atrium tidak hanya terbatas pada suatu ruangan besar saja tetapi juga meliputi bukaan pada ruang tangga yang tertutup, bukaan eskalator dan pengkondisian udara.

Koridor dapat didefinisikan sebagai jalan yang menghubungkan antara dua atau lebih ruangan/gedung. Selain itu, koridor bisa juga didefinisikan sebagai ruangan yang menghubungkan 2 bagian. Koridor merupakan bagian atau ruangan yang umum terdapat pada setiap bangunan tinggi.

## 2.5 Sistem Detektor Asap Sebagai Pencegah Kebakaran

Pada dasarnya, sistem deteksi kebakaran di desain dan dipasang berdasarkan keperluan yang ditentukan. Salah satu sistem proteksi aktif yang banyak digunakan adalah sistem detektor asap. Detektor asap memegang peranan penting untuk mencegah terjadinya kebakaran dan meminimalisir dampak yang terjadi akibat kebakaran. Pada penelitian kali ini, sistem detektor asap yang digunakan terdiri dari panel kontrol alarm kebakaran dan detektor asap.

### 2.5.1 Panel Kontrol Alarm Kebakaran

Panel kontrol alarm kebakaran merupakan sebuah panel listrik yang berfungsi untuk mengatur komponen alarm kebakaran. Panel kontrol diperlukan oleh sebagian besar konstruksi bangunan baru komersial di banyak negara karena termasuk salah satu syarat keselamatan bangunan. Panel kontrol bekerja dengan menerima informasi dari sensor lingkungan sekitar dan dirancang untuk mendeteksi perubahan yang berhubungan dengan api dan asap. Selain itu panel juga memonitor operasional dari setiap komponen dan mengirim informasi yang diperlukan untuk mempersiapkan fasilitas yang dibutuhkan berdasarkan urutan yang telah ditentukan apabila terdeteksi adanya kebakaran. Panel kontrol memberikan pasokan energi listrik kepada setiap sensor yang terhubung, kontrol, pemancar, serta relay agar dapat berfungsi dengan baik.



**Gambar 2.6 Panel alarm kebakaran**

Secara umum panel kontrol terdiri dari 4 jenis yaitu panel kode, panel konvensional, panel *addressable*, dan panel sistem multipleks. dari keempat jenis panel tersebut, yang digunakan dalam penelitian ini yaitu panel *addressable*. Panel *addressable* dipilih karena memiliki keunggulan dibandingkan tipe lainnya dan merupakan jenis panel yang umum digunakan di bangunan gedung saat ini. Panel jenis ini dapat menghubungkan berbagai komponen yaitu detektor asap, sprinkler, saklar dan lainnya menjadi satu kesatuan sistem pengaman kebakaran yang sinergis.

### 2.5.2 Detektor asap

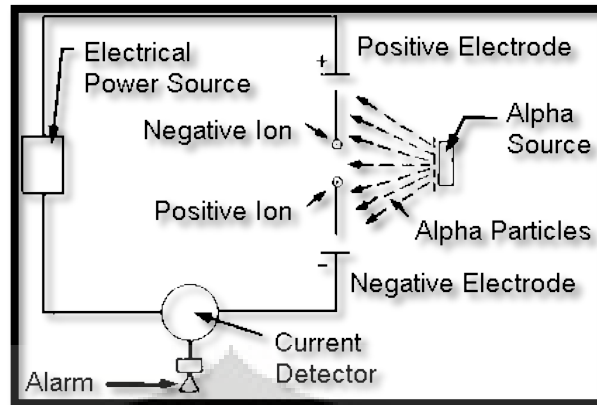
Detektor asap merupakan peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan asap sehingga bisa mencegah terjadinya kebakaran. Secara umum terdapat dua tipe tipe detektor asap yaitu tipe ionisasi dan fotoelektrik.



Gambar 2.7 Detektor asap

- **Detektor asap Tipe Ionisasi**

Suatu detektor asap tipe ionisasi mempunyai sejumlah kecil bahan radio aktif yang mengionisasikan udara di dalam ruang penginderaan, dengan demikian menjadikan udara bersifat konduktif dan membolehkan arus mengalir menembus dua elektroda yang bermuatan. ini menjadikan kamar pengindera suatu konduktivitas listrik yang efektif. Ketika partikel asap memasuki daerah ionisasi, partikel ini menurunkan konduktansi dari udara dengan jalan mengikatkan diri ke ion-ion. mengakibatkan penurunan mobilitas. Ketika konduktansi rendah dibandingkan suatu tingkat yang ditentukan terlebih dahulu, detektor akan bereaksi.

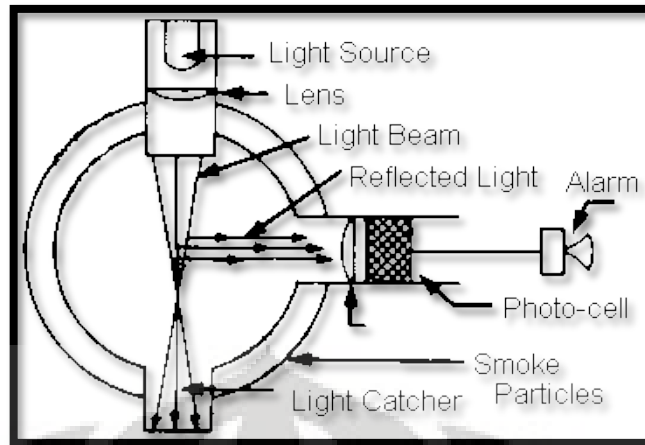


**Gambar 2.8 Skema detektor asap tipe ionisasi[11]**

Pendeteksian cara ionisasi lebih bereaksi terhadap partikel yang tidak kelihatan (ukuran lebih kecil dari 1 mikron) yang diproduksi oleh kebanyakan nyala kebakaran. Sensitifitas detektor asap tipe ini kurang begitu baik terhadap ukuran partikel yang lebih besar dari 1 mikron yang dihasilkan dari jenis pembakaran tanpa nyala api[11]. Secara umum, batas *smoke obscuration* yang dibutuhkan untuk mengaktivasi detektor asap tipe ionisasi sebesar 3,28 %/m.

- **Detektor Asap Tipe Fotoelektrik**

Detektor asap tipe fotoelektrik terdiri dari suatu sumber cahaya dan suatu sensor cahaya yang disusun sedemikian rupa sehingga sinar dari sumber cahaya tidak secara normal jatuh ke sensor cahaya. Ketika partikel asap masuk ke lintasan cahaya, sebagian dari cahaya terpecahkan oleh pantulan dan pembiasan ke sensor (pengindera), menyebabkan detektor itu bereaksi. Deteksi pancaran cahaya tipe fotoelektrik lebih bereaksi terhadap partikel yang kelihatan (ukuran lebih kecil dari satu mikron) yang diproduksi oleh kebanyakan api yang tanpa nyala. Reaksinya lebih kecil terhadap partikel kecil tipikal dari kebakaran yang menyala. Reaksinya juga kecil terhadap asap yang hitam[12]. Secara umum, batas *smoke obscuration* yang dibutuhkan untuk mengaktivasi detektor tipe fotoelektrik sebesar 3,28 %/m.



**Gambar 2.9** Skema detektor asap tipe fotoelektrik[11]

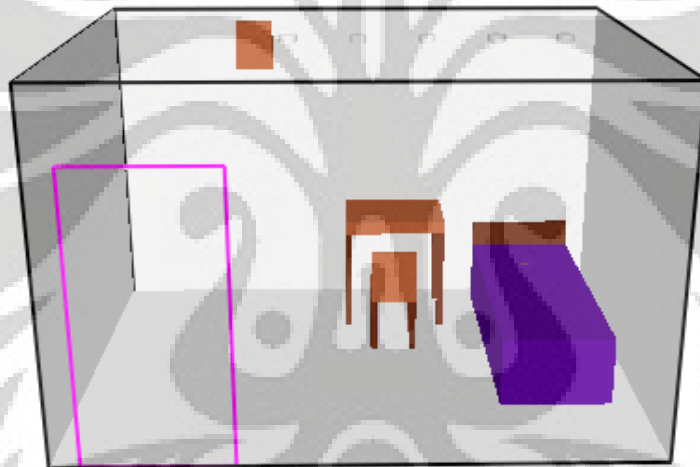
## 2.6 Software FDS (Fire Dynamic Simulator)

FDS merupakan program *computational fluid dynamics* (CFD) yang mensimulasikan api yang digerakkan oleh aliran fluida. *Fire Dynamic Simulator*, dalam berbagai bentuk, telah dikembangkan oleh National Institute of Standards and Technology (NIST) selama hampir 25 tahun. Akan tetapi, perangkat lunak tersebut baru dirilis ke publik sejak tahun 2000. Sejak dirilis pertama kali, program ini terus mengalami perbaikan yang didasarkan pada umpan balik dari para penggunanya.

*Fire Dynamic Simulator* (selanjutnya disingkat menjadi FDS) merupakan program komputer dengan basis deterministik model tipe *field* (CFD) yang menyelesaikan persamaan atur yang menggambarkan perkembangan api[4]. Program ini merupakan program yang bisa didapatkan secara *free* dengan mendownload diinternet pada alamat [www.nist.gov](http://www.nist.gov) dan program ini dibuka luas bagi seluruh pengakses untuk ikut serta dalam pengembangan program tersebut. Program tersebut merupakan program Fortran yang membaca parameter masukan (*input*) dari *text file*, menghitung solusi numerik melalui persamaan atur, dan membuat *file* keluaran (*output*) sesuai yang telah didefinisikan oleh *user* melalui *input file*. *Output file* yang diperoleh dapat berupa temperatur dalam domain, konsentrasi asap dalam domain, dan yang terpenting untuk penelitian ini adalah animasi perkembangan api pada domain. Animasi tersebut tidak dapat dilihat

langsung menggunakan FDS, namun menggunakan *companion program* yaitu Smokeview.

Untuk lebih memahami kejadian atau pemodelan menggunakan FDS terlebih dahulu kita harus memahami *governing equations*, *assumptions* dan *numerics* serta *limitation* yang berlaku pada pemodelan ini. *Hydrodynamic model* FDS menyelesaikan secara numerik dari persamaan Navier-Stokes yang diperuntukan untuk *low speed, thermally-driven flow* pada perpindahan asap dan panas dari api. Inti dari algoritma ini merupakan suatu bentuk eksplisit dari *predictor – corrector* dari kejadian yang akurat secara *space* dan waktu. Pada pendekatan turbulensinya digunakan *Large Eddy Simulation* dan dimungkinkan untuk menampilkan *Direct Numerical Simulation* jika *grid* cukup baik.



**Gambar 2.10 Tampilan smokeview di FDS**

Pada FDS *combustion model* didasarkan atas *mixture fraction*, fraksi campuran merupakan suatu jumlah skalar yang didefinisikan sebagai fraksi dari gas pada masukan dalam daerah aliran dan diasumsikan sebagai bahan bakar. Fraksi masa dari reaktan dan produk diperoleh dari fraksi campuran dengan prinsip “*state relations*”, ini diperoleh dari kombinasi dari analisis dan pengukuran yang disederhanakan. *Radiative heat transfer* yang diikutkan dalam model merupakan solusi yang berasal dari *Radiation Transfer Equation* (RTE) untuk *gray gas*. Persamaan radiasi diselesaikan dengan cara yang serupa dengan *finite volume methode* pada *convective transport*.

FDS melakukan pendekatan pada geometri sebagai persamaan dari satu atau lebih *rectangular grid*. Semua *solid surface* dianggap sebagai *thermal boundary condition* ditambah dengan informasi terhadap sifat pembakaran dari material. Perpindahan panas dan masa dari *solid surface* ditangani dengan korelasi empiris. Pengaktifan *sprinkler*, *heat* dan *detektor asap* dimodelkan dengan korelasi yang sederhana terhadap *thermal inersianya* dan *transport lag* untuk *detektor asap*. Sedangkan *springkler spray* dimodelkan sebagai *lagrangian perticle* dari *water droplet*.

Pada pemodelan menggunakan FDS terdapat beberapa batasan, diantaranya adalah:

1. Pemodelan digunakan untuk *low speed flow*.
2. Pada Pemodelan FDS dianjurkan menggunakan *rectilinear* geometri untuk mendapatkan hasil yang baik.
3. FDS tidak bisa membedakan *detektor asap* tipe ionisasi dan tipe fotoelektrik berdasarkan ukuran partikel asap yang dihasilkan sehingga pada simulasi digunakan jenis *detektor asap* yang sama.
4. Dalam pemodelan ini *combustion model* menggunakan *mixture fraction – based* dan belum bisa membedakan antara pembakaran jenis *flaming* dan *smoldering*.

- **Detektor Asap**

Untuk mengaktifasi detektor asap, tingkat ketebalan asap harus mencapai batas minimum dan asap harus masuk ke dalam *sensing chamber* detektor. Asap akan mengalami hambatan aliran ketika memasuki *housing* dari detektor. Hambatan aliran pada *housing* dapat menyebabkan terjadinya perlambatan aktivasi detektor asap. Brozovsky[13] dan Cleary[14] mengembangkan korelasi untuk menentukan perlambatan (*lag time*) dari detektor asap. *Lag time* detektor asap didasarkan pada karakteristik dari detektor asap dan kecepatan asap pada lokasi detektor ditempatkan.

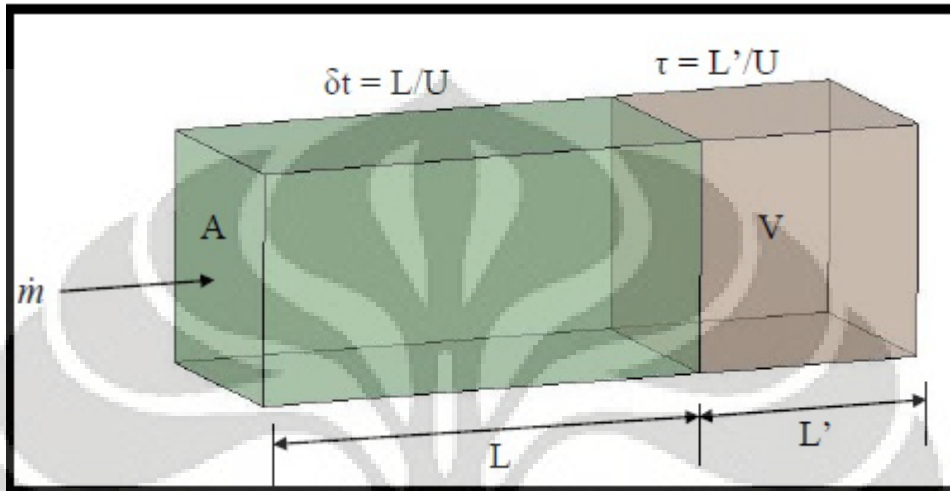


$$\delta t = \text{dwell time} = 2.5U^{-0.71}$$

$$\tau = \text{characteristic mixing time} = 0.76U^{-0.87}$$

$$\Delta t = \text{Detector delay time} = \delta t + \tau$$

$$U = \text{Smoke velocity at detector location}$$

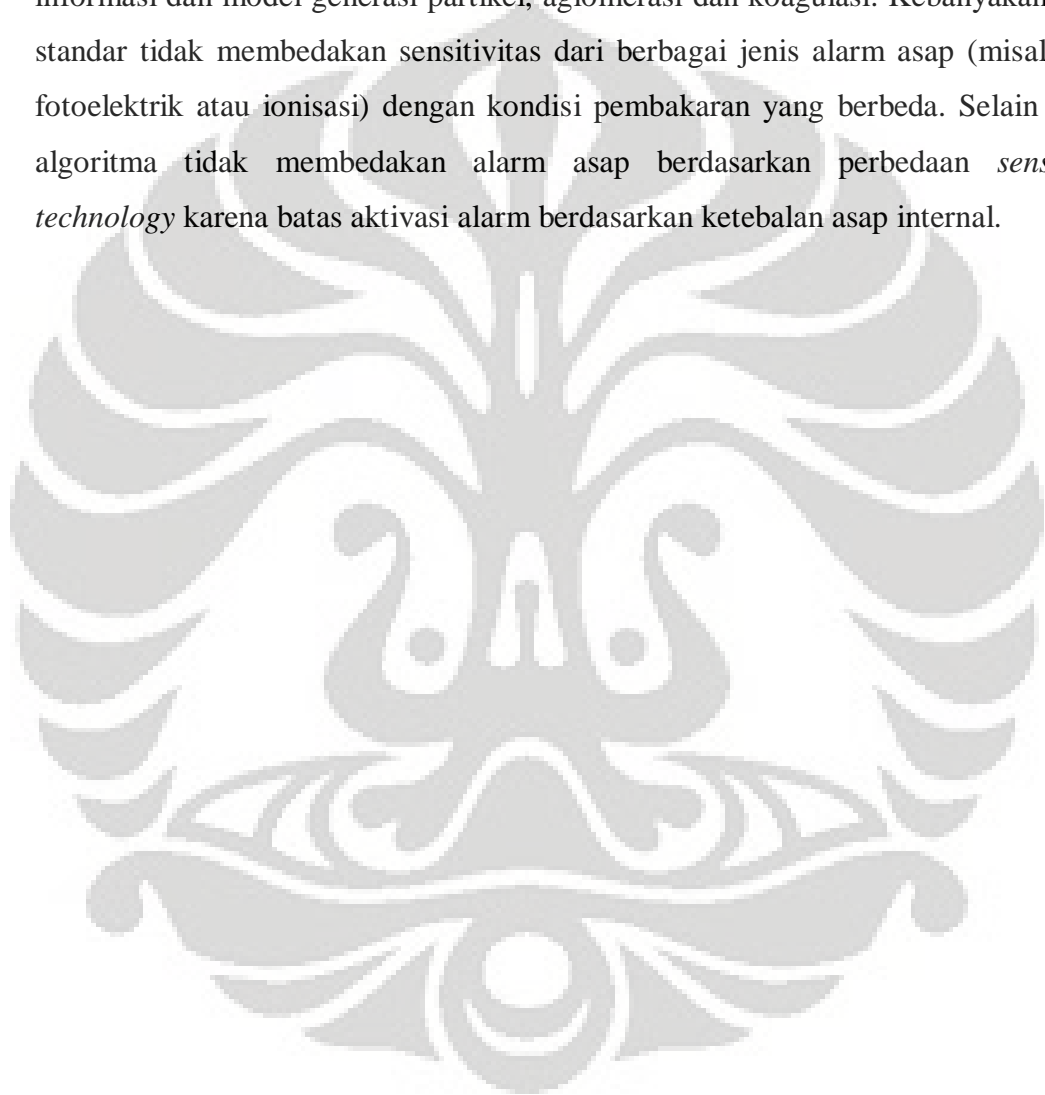


Gambar 2.11 Model detektor asap di FDS[16]

Model detektor asap pada software FDS dikembangkan oleh Newman[15] dan Cleary[14]. Model yang dibuat ini juga mempertimbangkan adanya suatu jeda waktu (*lag time*) yang berhubungan dengan penetrasi asap masuk ke dalam *chamber* detektor serta adanya suatu *characteristic mixing time* asap untuk bercampur sehingga detektor teraktivasi. Persamaan yang digunakan dirumuskan menjadi deskripsi *transient* dari perpindahan massa asap. Parameter karakteristik yang menggambarkan aktivasi detektor asap terdiri dari dua yaitu *lag time* ( $\delta$ ) dan *characteristic mixing time* ( $\tau$ ). Kedua parameter tersebut merupakan fungsi aliran massa dari asap ke dalam model detektor, yang diasumsikan untuk diskalakan dengan bilangan Reynold. Menurut Cleary[14], laju alir asap ( $\dot{m}$ ) disebabkan oleh penurunan tekanan di sepanjang jalan masuk pada daerah efektif A, yang diperlakukan sebagai suatu volume kendali yang bergerak dengan jarak L. Daerah aliran penyumbat mengalir ke dalam volume sensing chamber V.

Biasanya, respon dari alarm asap berdasarkan suatu kode standar yang ditentukan dari pengukuran tingkat ketebalan asap lokal. Pendekatan yang sama

digunakan pada algoritma aktivasi. Algoritma ini menggunakan indikasi tingkat ketebalan asap yang ditunjukkan pada alarm (umumnya sebesar 3,28 %/m) sebagai nilai di dalam *sensing chamber* yang diperlukan untuk alarm beraktivasi. Oleh karena itu, algoritma yang digunakan tidak memprediksi atau memantau konsentrasi partikel, yang merupakan mekanisme aktual yang menyebabkan aktivasi alarm. Konsentrasi partikel sulit untuk diprediksi karena keterbatasan informasi dan model generasi partikel, aglomerasi dan koagulasi. Kebanyakan tes standar tidak membedakan sensitivitas dari berbagai jenis alarm asap (misalnya fotoelektrik atau ionisasi) dengan kondisi pembakaran yang berbeda. Selain itu, algoritma tidak membedakan alarm asap berdasarkan perbedaan *sensing technology* karena batas aktivasi alarm berdasarkan ketebalan asap internal.



## BAB 3 EKSPERIMENTAL

### 3.1 Tahap Persiapan

Sebelum melakukan pengujian atau pengambilan data, maka perlu dilakukan persiapan teknis maupun non-teknis. Hal ini patut dilakukan untuk menjamin pengambilan data dapat berjalan dengan baik dan sesuai standar yang ada serta menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Dalam tahap persiapan ini ada beberapa hal penting yang akan dijelaskan.

#### 3.1.1 Peralatan Keamanan

Dalam melaksanakan pekerjaan di laboratorium, keamanan dan keselamatan dalam bekerja merupakan hal yang penting. Sebelum melakukan pekerjaan pengambilan data dan pengujian maka perlu dilakukan pengkajian risiko dan bahaya apa saja yang dapat terjadi dalam melakukan pekerjaan tersebut. Bahaya dapat berasal dari alat uji maupun saat pengujian dilakukan. Dalam pengujian detector asap ini ada beberapa risiko yang mungkin terjadi yaitu:

##### 1. Nyala api (*pool fire*)

Besar nyala dari pool fire tergantung dari diameter pool itu sendiri. Semakin besar diameter maka akan semakin besar api yang dihasilkan. Sehingga sebelum dilakukan pengujian di dalam laboratorium, perlu pastikan bahwa bensin tidak tertumpah ketika dinyalakan.



**Gambar 3.1 Contoh pool fire**

## 2. Rangkaian Listrik

Pada ruangan laboratorium terdapat beberapa rangkaian listrik yaitu stop kontak, saklar, kabel-kabel dll. Semua hal itu dapat menimbulkan bahaya apabila tidak diatur dan ditata dengan rapi. Kemungkinan bahaya apabila ada kabel yang terkelupas, terjadi hubungan pendek dll. Oleh karena itu sebelum pengujian rangkaian listrik harus diperhatikan dan jangan sampai membahayakan.

## 3. Bahan Bakar`

Dalam laboratorium terdapat beberapa jenis bahan bakar yaitu batu bara, minyak tanah dan bensin yang dapat menimbulkan bahaya apabila salah dalam menyimpannya. Bahan tersebut harus dijauhkan dari sumber api dan panas agar tidak terjadi ledakan atau penyalaan.

## 4. Akumulasi Asap

Hasil pembakaran pool fire banyak menimbulkan asap hasil pembakaran. Asap tersebut mengandung zat-zat yang berbahaya seperti CO dan CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu sebelum dilakukan pengujian, aliran udara keluar harus benar-benar telah dipersiapkan, seperti pembukaan pintu dan celah lainnya.

Untuk mencegah hal terburuk terjadi diperlukan beberapa alat pengaman sesuai dengan risiko yang ada. Beberapa peralatan tersebut yaitu :

- Sarung tangan tahan panas, untuk menjaga keamanan tangan dari temperatur tinggi saat pengujian berlangsung.
- Masker, untuk melindungi pernafasan dari bahaya asap yang ditimbulkan oleh bahan yang terbakar.



**Gambar 3.2 Masker**

- Pelindung telinga (ear plug), untuk melindungi telinga dari suara bising yang ditimbulkan oleh detektor asap ketika dalam keadaan aktif. Suara yang ditimbulkan oleh detektor asap ketika aktif lebih besar dari ambang batas bunyi yang bisa didengar oleh telinga sehingga berpotensi menimbulkan gangguan pendengaran.



**Gambar 3.3 Pelindung telinga**

- Fan, untuk mengalirkan asap keluar dari ruangan ketika pengujian telah selesai.

### **3.1.2 Kalibrasi Respon Detektor Asap**

Sebelum melakukan pengujian, detektor asap perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik yang dimiliki oleh tiap detektor. Pengujian respon detektor asap dilakukan di suatu kotak uji yang telah dijaga dari pengaruh udara luar. Berikut adalah tahapan pengujian respon detektor asap:

- a. Menyiapkan detektor asap yang akan diuji di ruangan pengujian.

Pada tahap ini, detektor ionisasi dan fotoelektrik akan diuji keseragaman waktu responnya. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa ke lima buah detektor yang digunakan memiliki respon yang seragam.

- b. Menempatkan detektor asap pada langit-langit pada kotak pengujian yang telah dijaga agar tidak terdapat udara luar yang masuk.

Pada tahap ini, dua buah detektor asap dengan tipe yang sama ditempelkan pada bagian atas kotak pengujian. Pada tahap pertama detektor yang diuji yaitu tipe ionisasi. Detektor asap dapat menempel pada bagian atas kotak pengujian

karena telah ditambahkan magnet. Bagian atas kotak juga telah dilapisi oleh seng sehingga detektor bisa menempel dengan kuat.

c. Memberikan sumber asap ke dalam ruangan uji.

Sumber asap yang digunakan pada kalibrasi ini berasal dari obat nyamuk bakar.

d. Melihat respon nyala detektor asap ketika diberikan sumber asap.

Pada tahap ini dicatat waktu yang dibutuhkan oleh kedua buah detektor untuk beraktivasi akibat keberadaan asap.

e. Melakukan variasi penempatan detektor asap dan melakukan kembali tahapan seperti di atas.

Setelah dicatat waktu yang dibutuhkan oleh kedua detektor untuk beraktivasi, pengujian dilakukan kembali dengan mengganti salah satu detektor yang sudah diuji dengan detektor lain yang belum diuji. Setelah semua detektor telah diuji keseragaman waktu responnya, pengujian dilanjutkan dengan tipe Fotoelektrik.

### **3.2 Peralatan Pengujian**

Dalam pengambilan data karakteristik pergerakan asap dan smoke detektor ini ada beberapa alat yang dipergunakan. Penggunaan alat ini untuk mendapatkan data-data yang diinginkan. Spesifikasi alat-alat yang dipergunakan beserta persiapan yang dilakukan yaitu :

- Wadah bahan bakar (pool fire)

Wadah bahan bakar digunakan untuk menampung bensin dalam proses pembakarannya. Wadah yang digunakan untuk pengujian ini memiliki diameter 10 cm dan terbuat dari besi. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.



**Gambar 3.4 Wadah bahan bakar**

- Ruang uji

Ruang uji yang digunakan pada eksperimen berukuran panjang 4,5 m lebar 2 m dan tinggi 4,5 m. Ruang uji ini menggunakan bahan seng dan akrilik. Akrilik digunakan karena warnanya yang tembus pandang seperti kaca tetapi memiliki berat yang jauh lebih ringan sehingga mudah untuk dilakukan pengamatan.

- Kamera

Dipergunakan untuk merekam secara visual kejadian per detik saat proses penyalan, pembakaran, dan pergerakan asap. Rekaman ini dapat dipergunakan untuk melihat proses apa yang terjadi dan mencatat waktu yang dibutuhkan smoke detektor ketika beraktivasi. Waktu aktifasi alarm *smoke detector*, dihitung mulai dari pertama kali api dinyalakan hingga *smoke detector* berbunyi.

- Igniter

*Igniter* digunakan untuk menyalakan api dan memicu pembakaran pool fire. Ignitor yang digunakan berupa pemantik listrik seperti yang digunakan pada raket listrik dengan beberapa modifikasi.



**Gambar 3.5 Igniter**

- Busa foam

Untuk mendapatkan data hasil pembakaran dengan tipe smouldering pada percobaan ini digunakan busa foam yang memiliki massa yang sama dengan ukuran untuk pool fire bahan bakar bensin yaitu sebesar 10 gram.

- Bensin

Untuk mendapatkan jenis pembakaran flaming, maka digunakan bahan bakar bensin. Jumlah bahan bakar bensin yang digunakan untuk setiap pengujian yaitu sebanyak 10 gram.

- Timbangan

Digunakan untuk menimbang busa dan bensin sebelum diambil datanya agar data yang didapat konsisten dan relevan. Dalam menyiapkan timbangan ini yang perlu diperhatikan yaitu timbangan harus diletakkan pada bidang datar & timbangan tidak boleh terkena aliran angin, karena kedua hal tersebut sangat mempengaruhi hasil timbangan.

- Electric heater

*Electric heater* merupakan peralatan yang mengubah energi listrik menjadi energi panas. *Electric heater* digunakan untuk membakar busa foam agar menghasilkan pembakaran jenis smouldering.

- Detektor asap

Detektor asap yang digunakan pada pengujian terdiri dari 2 jenis yaitu tipe ionisasi dan fotoelektrik.

- Temperature controller

Temperature controller merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur keluaran Temperatur pada termokopel. Ketika Temperatur pada termokopel mencapai batas yang ditentukan maka temperature controller akan memutuskan arus pada Temperatur maksimum tersebut dan menjaga Temperatur pada kisaran tersebut. Pada gambar dibawah terdapat 2 buah angka yaitu nilai batas temperatur yang ditentukan yaitu 82 °C dan nilai 77 °C merupakan nilai yang terukur pada termokopel.





**Gambar 3.6 Temperature controller**

- Panel alarm kebakaran

Panel kontrol alarm kebakaran merupakan sebuah panel listrik yang berfungsi untuk mengatur komponen alarm kebakaran. panel ini digunakan untuk memonitor aktivasi dari smoke detector yang ditempatkan pada beberapa titik yang berbeda melalui sebuah monitor.

- Termokopel

Termokopel adalah sensor Temperatur yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan Temperatur dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). Termokopel terdiri dari beberapa tipe yaitu tipe S, K, J, N dan lainnya. dari beberapa tipe tersebut, tipe K yang akan digunakan dalam eksperimen ini. Temperatur maksimum yang dapat diukur oleh termokopel ini yaitu 600 °C.

### **3.3 Pemodelan Simulasi Dengan Software FDS**

Dalam pembuatan simulasi menggunakan FDS input parameter yang digunakan sama dengan kondisi-kondisi yang ada pada keadaan sebenarnya saat dilakukan experiment hal ini agar data yang dihasilkan valid sehingga bisa dijadikan dasar perbandingan antara hasil simulasi dan hasil experiment. Input parameter pokok yang di gunakan dalam pembuatan simulasi antara lain:

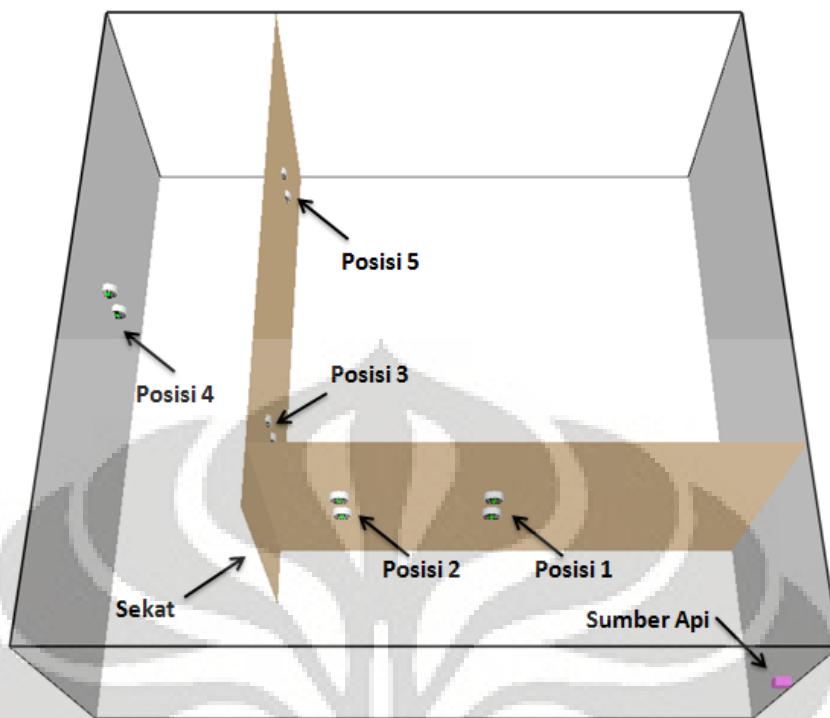
### 3.3.1 Domain

Dalam setiap pembuatan simulasi komputer perbandingan besar domain dan grid merupakan hal yang sangat mendasar. Besarnya grid dapat mempengaruhi keakuratan hasil simulasi. Kondisi sampai pada level tertentu dimana perubahan grid tidak mempengaruhi hasil simulasi suatu grid bisa disebut fine. Idealnya dalam proses pembuatan simulasi komputer builder hendaklah melakukan penelusuran grid dari grid paling kasar (coarse mesh) dan memperbaikinya bertahap hingga ditemukan grid yang tepat (fine mesh) untuk mensimulasikan fenomena fisik tersebut.

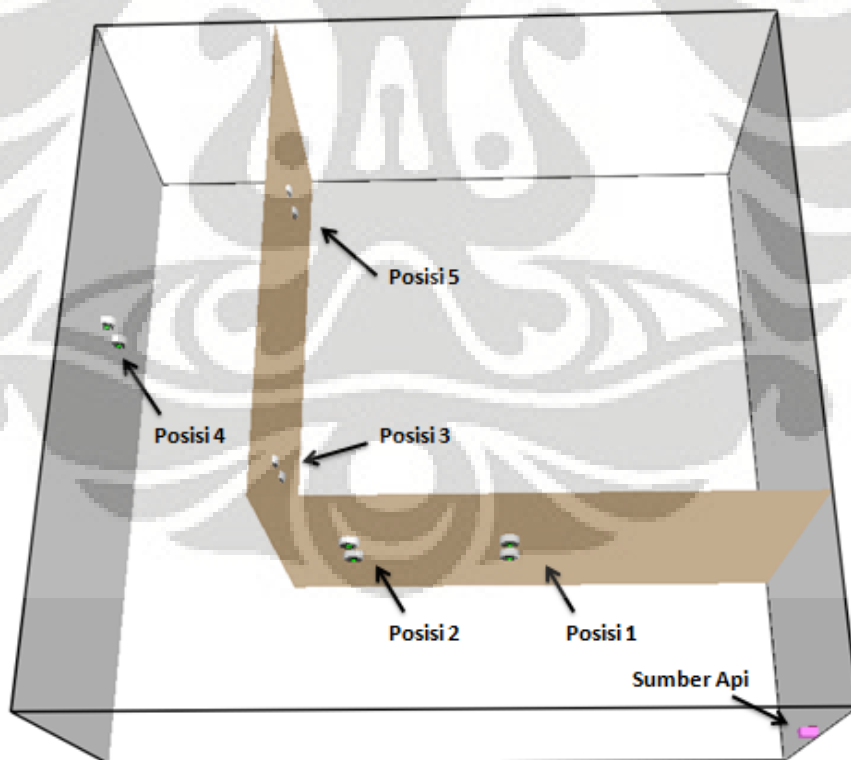
Dalam simulasi ini penulis memilih besar grid berdasarkan jurnal dan validasi yang keluar dari NIST sebagai vendor atau dari pihak lain sebagai user. Dari beberapa referensi dan percobaan untuk mendapatkan pertumbuhan api pada bangunan yang sesuai maka digunakan grid dengan ukuran 0.05 m x 0.05 m x 0.05 m dengan menggunakan *single mesh*. Dengan menggunakan grid sebesar ini maka dibutuhkan waktu *computing time* sekitar 6 jam untuk setiap simulasi.

### 3.3.2 Geometri

Pada simulasi ini terdapat dua jenis konfigurasi ruangan yang berbeda yaitu dengan menggunakan sekat dan tanpa menggunakan sekat. Geometri yang disimulasikan dengan software FDS memiliki ukuran yang sama dengan yang dilakukan pada eksperimen. Berikut adalah gambar geometri yang disimulasikan :



(a)



(b)

**Gambar 3.7 Konfigurasi ruangan uji a) Dengan sekat b) Tanpa sekat**

Ukuran yang digunakan pada simulasi ruangan uji yaitu panjang 4,5 m lebar 2 m dan tinggi 4,5 m. Untuk bagian koridor, ukuran yang digunakan pada gambar disana yaitu panjang 3,3 m lebar 2 m dan pada ketinggian 1,2 m. Terdapat 4 buah detektor yang ditempatkan dibagian koridor ini yaitu masing-masing 2 buah pada posisi 1 dan posisi 2. Untuk bagian atrium, terdapat 4 buah detektor yaitu pada posisi 3 dan posisi 5. Atrium yang digunakan berukuran lebar 2 m dan tinggi 3,3 m. Selain itu detektor juga diletakkan pada bagian depan atrium yaitu pada posisi 4 sebanyak 2 buah. Untuk ruangan dengan sekat, tinggi sekat yang digunakan yaitu sebesar 40 cm.

Pada tiap posisi terdapat 2 buah detektor yaitu detektor tipe fotoelektrik dan tipe ionisasi. Kedua detektor tersebut ditempatkan sejajar pada ceiling dengan jarak antar detektor sebesar 30 cm. Karena pada software FDS belum bisa membedakan antara kedua jenis detektor tersebut berdasarkan ukuran partikel asap yang dihasilkan, maka dalam simulasi ini tidak dibedakan antara detektor tipe fotoelektrik dan tipe ionisasi.

**Tabel 3.1 posisi detektor pada ruangan uji**

Keterangan	Jarak dari sumber asap	
	Jarak (cm)	Ketinggian (cm)
Posisi 1	180	120
Posisi 2	280	120
Posisi 3	330	170
Posisi 4	450	270
Posisi 5	330	370

### 3.3.3 Properties Materials dan Alat

Pemodelan simulasi ini menggunakan beberapa material baik material untuk ruangan uji dan untuk bahan bakar yang digunakan. Material bensin dan foam digunakan sebagai bahan bakar, material brick digunakan sebagai material dinding sedangkan steel digunakan sebagai wadah bahan bakar bensin. Berikut adalah tabel *properties* dari material yang digunakan pada simulasi:

**Tabel 3.2 Properties Material Pada Simulasi[4]**

Properties	Material yang digunakan			
	Brick	Foam	Bensin	Steel
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1600	40	687	7850
Conductivity (W/m K)	0,69	0,05	0,11	45,8
Specific heat (kJ/kg/K)	0,84	1	2,54	0,46
Heat of combustion (kJ/kg)	-	30000	44500	-
Heat of reaction (kJ/kg)	-	1500	318	-

Selain material sumber bahan bakar, parameter lain yang ditentukan dalam pembuatan simulasi yaitu karakteristik detektor asap. Properties dari detektor asap yang digunakan dalam kegiatan simulasi ini adalah sebagai berikut:

*Properties Id =Acme Smoke Detector*

*Quantity='Spot obscuration'*

*Activation\_Obscuration=3.28%/m*

Nilai opacity dari detektor asap yang menyebabkan smoke detector tersebut aktif biasanya telah di setting saat pembuatan smoke detector tersebut. Nilai persentase opacity yang biasa digunakan sebagai standar aktivasi detektor adalah sebesar 3.28%/m. Nilai opasitas asap yang digunakan pada simulasi FDS ini juga sesuai dengan spesifikasi detektor asap yang digunakan pada eksperimen.

### **3.4 Teknik Pengambilan Data**

Pada eksperimen ini dilakukan di laboratorium keselamatan kebakaran yang terletak diluar gedung departemen tepatnya disamping laboratorium biomassa. Adapun beberapa prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

#### **3.4.1 Prosedur Pengambilan Data Respon Time Dari Smoke Detector tipe Fotoelektrik Dan Ionisasi Menggunakan Bensin**

1. Tempatkan smoke detector tipe ionisasi dan fotoelektrik pada jarak-jarak yang telah ditentukan pada koridor dan atrium.

2. Timbanglah bensin sebanyak 10 gram dengan timbangan elektrik dan tempatkan pada wadah yang telah disiapkan.
3. Tempatkan wadah yang telah diisi bensin tersebut ke dalam ruangan uji.
4. Atur penempatan wadah tersebut agar posisinya mudah untuk dinyalakan dengan menggunakan igniter.
5. Tutup pintu ruangan uji dan pastikan pintu tersebut tertutup rapat.
6. Nyalakan panel alarm kebakaran dan pastikan panel berada pada kondisi baik yang ditandai dengan tidak adanya lampu indikasi kerusakan.
7. Tempatkan kamera tepat didepan panel alarm kebakaran untuk merekam waktu respon yang dibutuhkan oleh masing-masing detektor asap ketika bahan bakar dinyalakan.
8. Ketika semua peralatan telah siap, nyalakan bahan bakar tersebut dengan menggunakan ignitor.



**Gambar 3.8 Proses penyalan bensin**

9. Mulai rekam aktivasi panel alarm kebakaran ketika bahan bakar tersebut mulai menyala.
10. Hentikan rekaman aktivasi detektor pada alarm panel kebakaran ketika bahan bakar bensin telah habis atau ketika semua detektor telah beraktivasi.
11. Buka pintu ruangan uji dan nyalakan fan untuk membuang sisa gas hasil pembakaran bensin keluar ruangan.

12. Pindahkan hasil rekaman tersebut ke komputer untuk dicatat waktu yang dibutuhkan oleh masing-masing detektor ketika beraktivasi.
13. Bersihkan hasil sisa pembakaran dan lanjutkan prosedur percobaan dengan skenario berikutnya.



**Gambar 3.9 Ruang pengujian detektor asap**

#### **3.4.2 Prosedur Pengambilan Data Respon Time Smoke Detector tipe Fotoelektrik Dan Ionisasi Menggunakan Foam**

1. Tempatkan smoke detector tipe ionisasi dan fotoelektrik pada jarak-  
jarak yang telah ditentukan pada koridor dan atrium.
2. Timbanglah foam sebanyak 10 gram dengan timbangan elektrik dan  
potong foam tersebut menjadi 5 bagian dengan ukuran yang sama.
3. Susun foam tersebut menjadi 5 buah lapisan dan selipkan heater pada  
lapisan kedua teratas.
4. Ikatkan termokopel pada heater untuk mengukur Temperatur heater  
tersebut ketika dinyalakan.

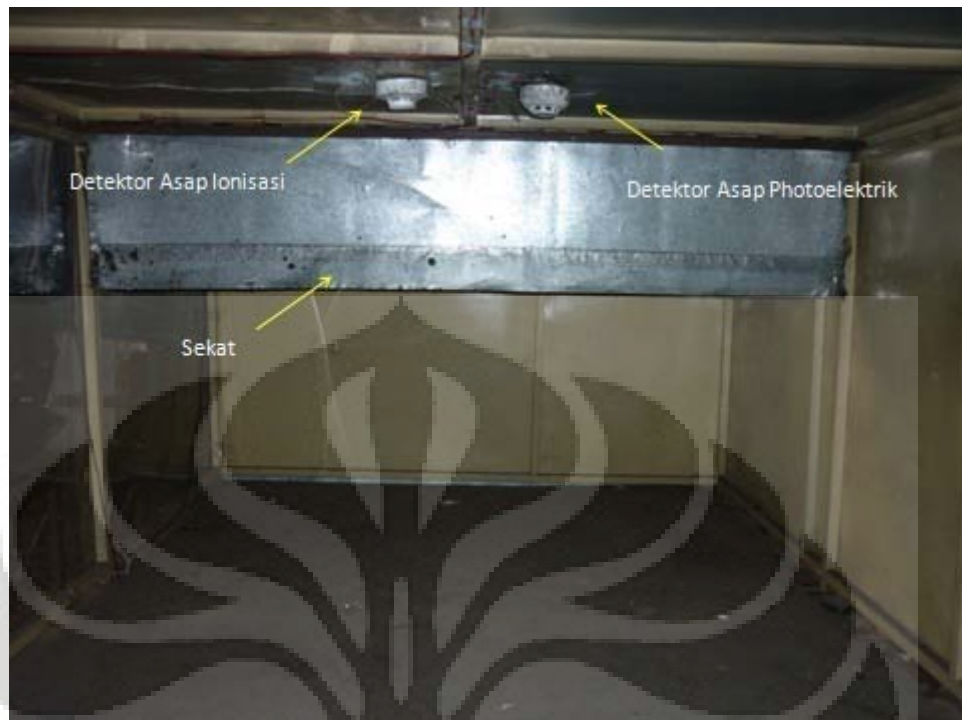
5. Atur temperatur controller pada Temperatur 270 °C sehingga Temperatur heater tidak akan melebihi Temperatur tersebut untuk menghasilkan pembakaran smoldering pada foam.
6. Atur penempatan foam tersebut agar posisinya tidak mudah goyah dan masukkan kedalam ruangan uji.
7. Tutup pintu ruangan uji dan pastikan pintu tersebut tertutup rapat.
8. Nyalakan panel alarm kebakaran dan pastikan panel berada pada kondisi baik yang ditandai dengan tidak adanya lampu indikasi kerusakan.
9. Tempatkan kamera tepat didepan panel alarm kebakaran untuk merekam waktu respon yang dibutuhkan oleh masing-masing detektor asap ketika bahan bakar dinyalakan.



**Gambar 3.10 Proses penyalaaan foam**

10. Ketika semua peralatan telah siap, nyalakan heater.
11. Mulai rekam aktivasi panel alarm kebakaran ketika foam tersebut mulai menghasilkan asap tepatnya pada saat heater telah turun ke lapisan ke tiga.
12. Hentikan rekaman aktivasi detektor pada alarm panel kebakaran ketika bahan bakar foam telah habis atau ketika semua detektor telah beraktivasi.
13. Buka pintu ruangan uji dan nyalakan fan untuk membuang sisa gas hasil pembakaran bensin keluar ruangan.
14. Pindahkan hasil rekaman tersebut ke komputer untuk dicatat waktu yang dibutuhkan oleh masing-masing detektor ketika beraktivasi.
15. Bersihkan hasil sisa pembakaran dan lanjutkan prosedur percobaan dengan skenario berikutnya.





**Gambar 3.11** Ruang pengujian detektor asap dengan penambahan sekat

## **BAB 4**

### **HASIL DAN ANALISIS**

Pembahasan dalam bab ini terbagi menjadi beberapa sub-bab yang telah menjadi batasan dalam penelitian ini yaitu :

#### 4.1 Pengaruh jenis pembakaran terhadap respon detektor asap

- Analisa hasil simulasi FDS
- Analisa hasil eksperimen
- Perbandingan data hasil simulasi dengan eksperimen

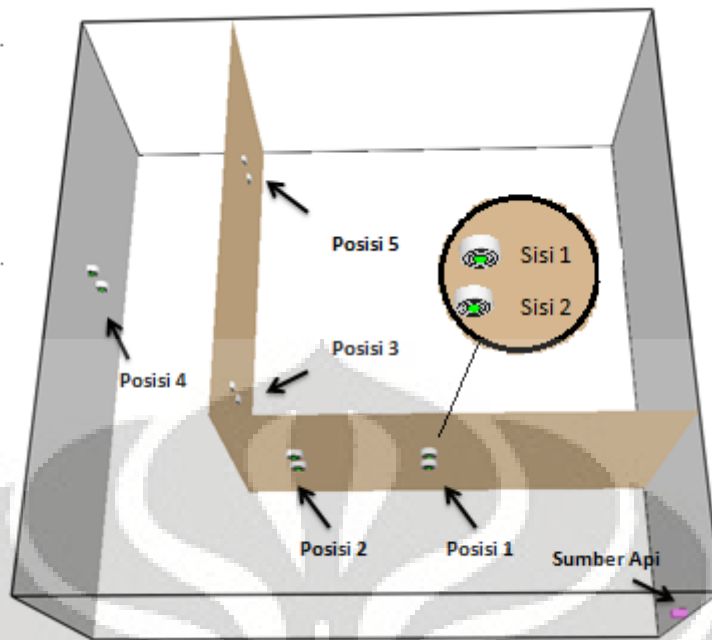
#### 4.2 Pengaruh penggunaan sekat terhadap respon detektor asap

- Analisa hasil simulasi FDS
- Analisa hasil eksperimen
- Perbandingan data hasil simulasi dengan eksperimen

#### **4.1 Pengaruh Jenis Pembakaran Terhadap Respon Detektor Asap**

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik pergerakan asap dari dua jenis pembakaran yaitu *flaming* dan *smouldering*. Bahan bakar bensin digunakan sebagai representasi dari jenis pembakaran *flaming* sedangkan bahan bakar foam digunakan sebagai representasi jenis pembakaran *smouldering*. Kedua jenis bahan tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis pembakaran terhadap aktivasi dari 2 jenis detektor asap yang umum digunakan yaitu tipe ionisasi dan tipe fotoelektrik. Dalam penelitian ini, masing-masing detektor asap diletakkan di *ceiling* pada bagian koridor dan *wall* pada bagian atrium dengan konfigurasi tanpa menggunakan sekat.

Berikut adalah visualisasi dari skema tersebut :



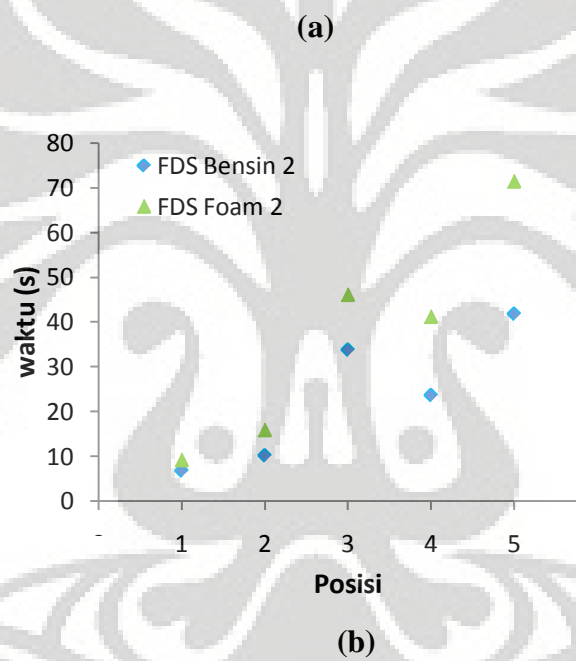
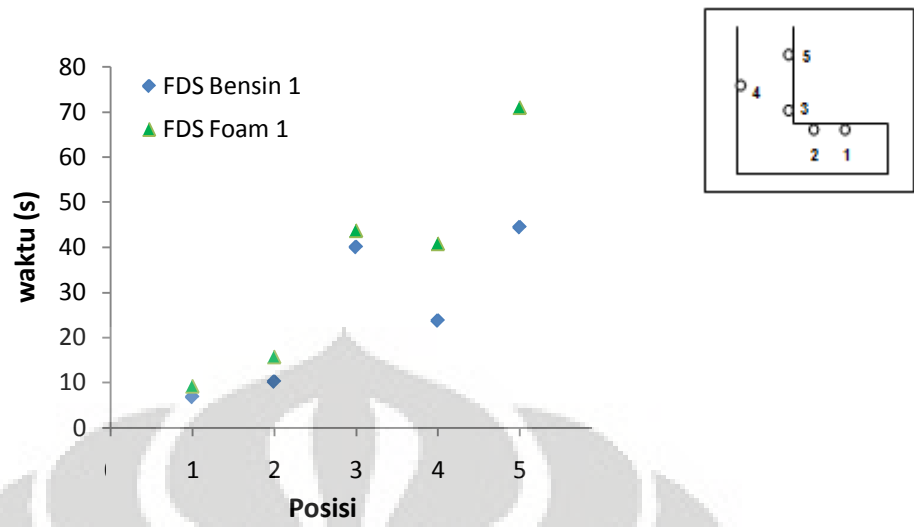
**Gambar 4.1 Lokasi detektor asap pada simulasi**

**Tabel 4.1 posisi detektor pada ruangan uji**

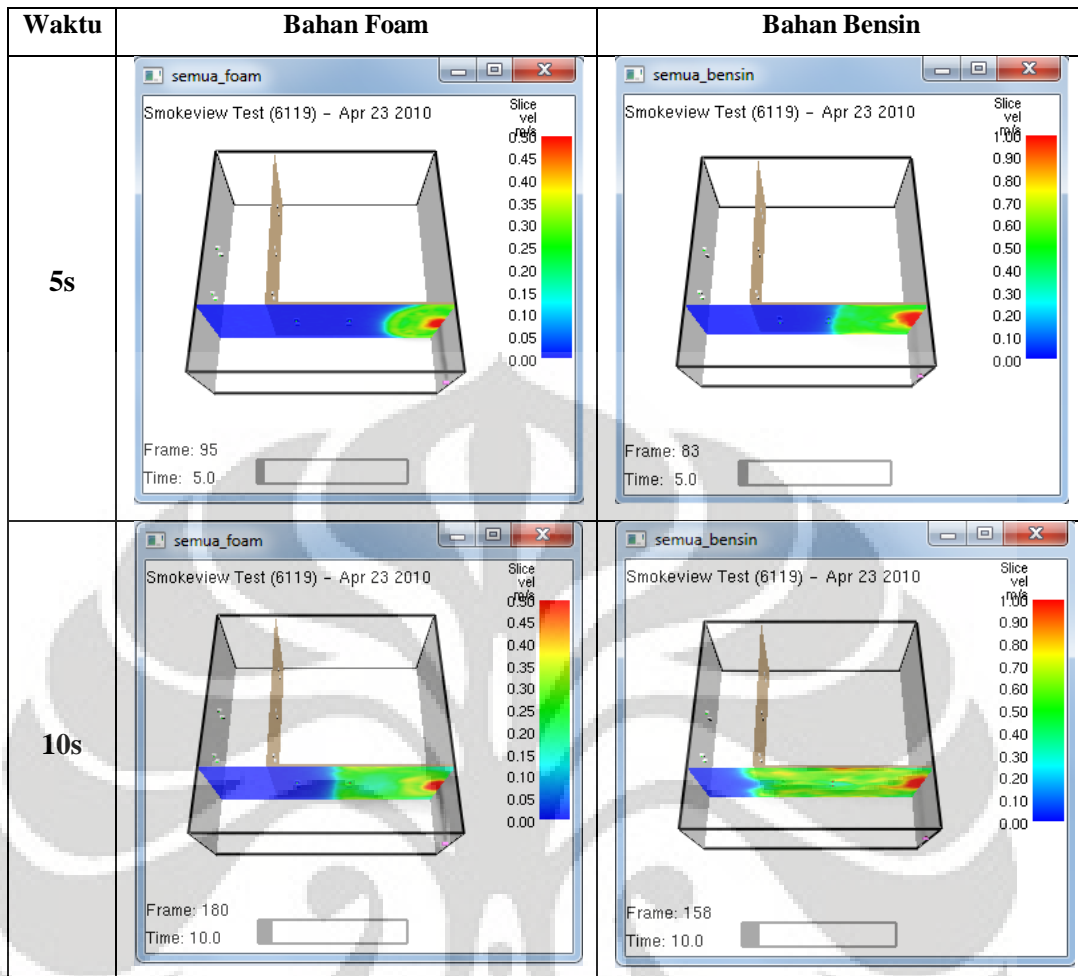
Keterangan	Jarak dari sumber asap	
	Jarak (cm)	Ketinggian (cm)
Posisi 1	180	120
Posisi 2	280	120
Posisi 3	330	170
Posisi 4	450	270
Posisi 5	330	370

#### 4.1.1 Analisa Hasil Simulasi Menggunakan Software FDS

Sebelum melakukan pengujian eksperimen, terlebih dahulu dilakukan simulasi menggunakan software FDS untuk mendapatkan data awal sebagai acuan dalam melakukan eksperimen. Tujuan utama dari kegiatan simulasi ini adalah untuk memprediksikan karakteristik pergerakan asap yang terjadi dan waktu aktivasi yang dibutuhkan oleh detektor asap untuk mendeteksi keberadaan asap sehingga hasil simulasi yang ada dapat digunakan sebagai salah satu acuan untuk eksperimen yang akan dilakukan.



**Gambar 4.2 Waktu aktivasi detektor asap terhadap posisi penempatan**  
 a) Bagian sisi 1 b) Bagian sisi 2



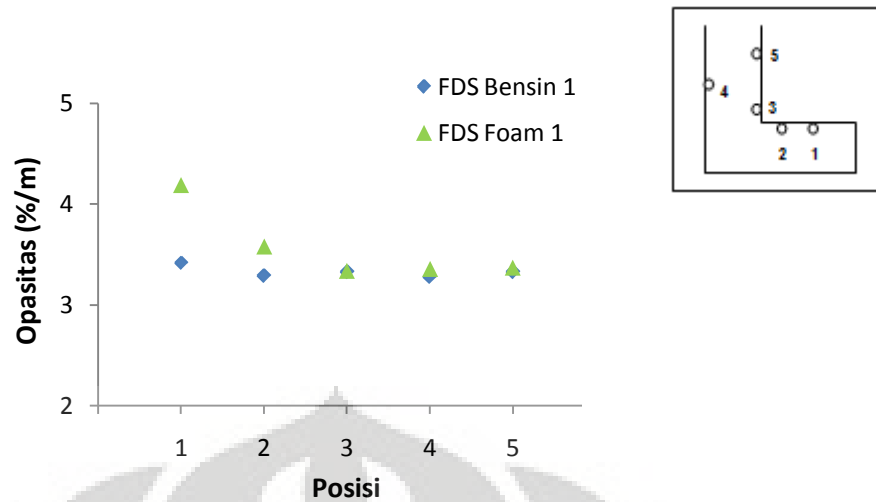
**Gambar 4.3 Profil kecepatan asap foam dan bensin**

Pada gambar grafik 4.2 diatas terlihat bahwa perbedaan jenis bahan bakar mempengaruhi waktu aktivasi detektor asap. Perbedaan ini terjadi pada 2 jenis konfigurasi penempatan yang berbeda yaitu pada sisi 1 dan sisi 2. Sisi 1 merupakan sisi yang pada kegiatan eksperimen ditempati oleh detektor asap tipe Ionisasi sedangkan sisi 2 ditempati oleh detektor asap tipe Fotoelektrik. Hal ini dilakukan karena pada simulasi *software* FDS tidak bisa dibedakan antara detektor asap tipe fotoelektrik dan tipe ionisasi. Salah satu hal penting yang membedakan waktu respon kedua detektor asap tersebut yaitu perbedaan ukuran partikel dari jenis bahan yang dibakar dan hal ini tidak dapat dibedakan di *software* FDS. FDS membedakan respon detektor asap berdasarkan kecepatan aliran dan konsentrasi asap di area detektor asap[16]. Untuk itu kedua buah tipe detektor asap yaitu fotoelektrik dan ionisasi dianggap sama dalam simulasi FDS.

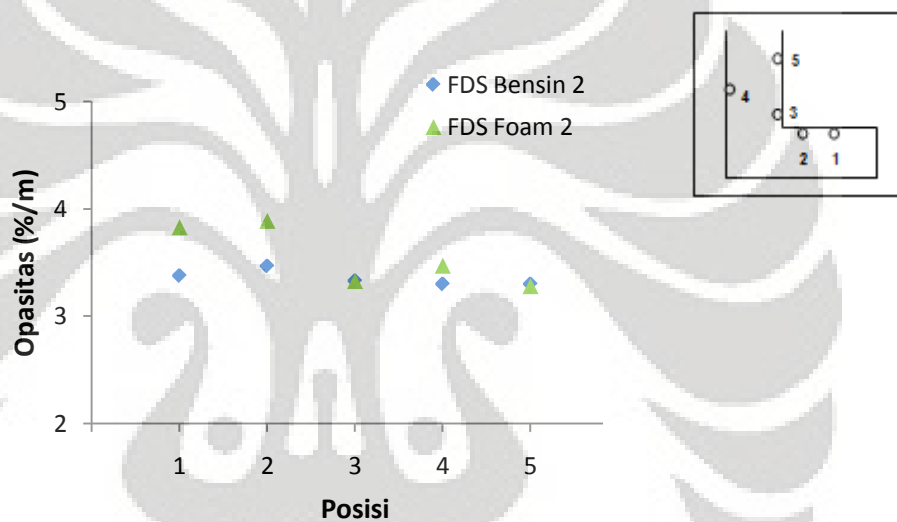
Pada saat menggunakan bahan bakar bensin, terlihat bahwa waktu aktivasi detektor asap lebih cepat bila dibandingkan dengan bahan bakar jenis foam. Perbedaan waktu aktivasi antara bahan bakar bensin dan bahan bakar foam pada dasarnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak partikel asap yang dihasilkan dari pembakaran bahan. Pergerakan partikel asap bensin lebih cepat dari pergerakan partikel asap dari bahan foam sehingga partikel asap dari bahan bensin lebih cepat mencapai *chamber* detektor asap. Suatu detektor asap akan merespon adanya asap apabila persentase opasitas asap yang masuk ke dalam chamber detektor asap telah mencapai nilai batas tertentu. Standar nilai persentase *opacity* yang umumnya digunakan sebagai nilai batas aktivasi detektor asap yaitu sebesar 3,28 %/m[4].

Gambar 4.3 memperlihatkan perbedaan profil kecepatan antara asap hasil pembakaran foam dengan bensin. Pada 5 detik pertama terlihat asap pembakaran bensin telah menjalar hingga menjangkau posisi pertama penempatan detektor asap. Kecepatan maksimal yang terdeteksi mencapai 1 m/s pada bagian atas sumber api. Untuk detik ke 10 asap pembakaran bensin telah mencapai posisi kedua penempatan detektor asap. Untuk asap pembakaran foam, pada 5 detik pertama pergerakannya belum mencapai posisi pertama penempatan smoke detektor atau lebih lambat dari asap pembakaran bensin. kecepatan maksimal yang terdeteksi juga hanya sebesar 0,5 m/s pada bagian atas sumber api. sedangkan untuk detik ke 10, asap pembakaran foam hanya mencapai posisi pertama penempatan detektor asap dan belum menjangkau posisi kedua.

Berikut adalah nilai persentase opasitas dari detektor asap hasil simulasi :



(a)



(b)

**Gambar 4.4 Tingkat opasitas terhadap posisi penempatan detektor asap**  
**a) Bagian sisi 1 b) Bagian sisi 2**

Dari gambar grafik 4.4 diatas, terlihat bahwa besarnya nilai persentase opasitas asap berada dikisaran 3–5 %/m ketika detektor asap aktif. Nilai kisaran opasitas asap tersebut terjadi pada kedua bagian sisi yaitu bagian sisi 1 dan sisi 2. Pada saat detektor asap berada pada posisi 1 dan 2, besarnya persentasi opasitas untuk bahan foam lebih besar jika dibandingkan dengan nilai yang didapatkan dengan menggunakan bahan bensin. Hal ini bisa terjadi karena karakteristik asap pembakaran bahan foam yang memiliki kecepatan lebih lambat dari asap pembakaran bahan bensin tetapi ketebalan partikel asapnya lebih besar dari

partikel asap bensin. Perbedaan ketebalan asap ditentukan oleh nilai *soot yield* yang berbeda. *Soot yield* merupakan perbandingan antara massa asap yang dihasilkan dengan massa bahan yang terbakar[7]. Nilai *soot yield* foam lebih besar dibandingkan dengan nilai *soot yield* bensin.

$$E = \frac{m_s}{m_f} \quad (4.1)$$

- E : soot yield  
 $m_s$  : massa asap yang dihasilkan  
 $m_f$  : massa bahan yang terbakar

berikut adalah nilai soot yield dari bensin dan foam :

Tipe Bahan	Soot Yield
Foam	0.1 <sup>[3]</sup>
Bensin	0.015 <sup>[2]</sup>

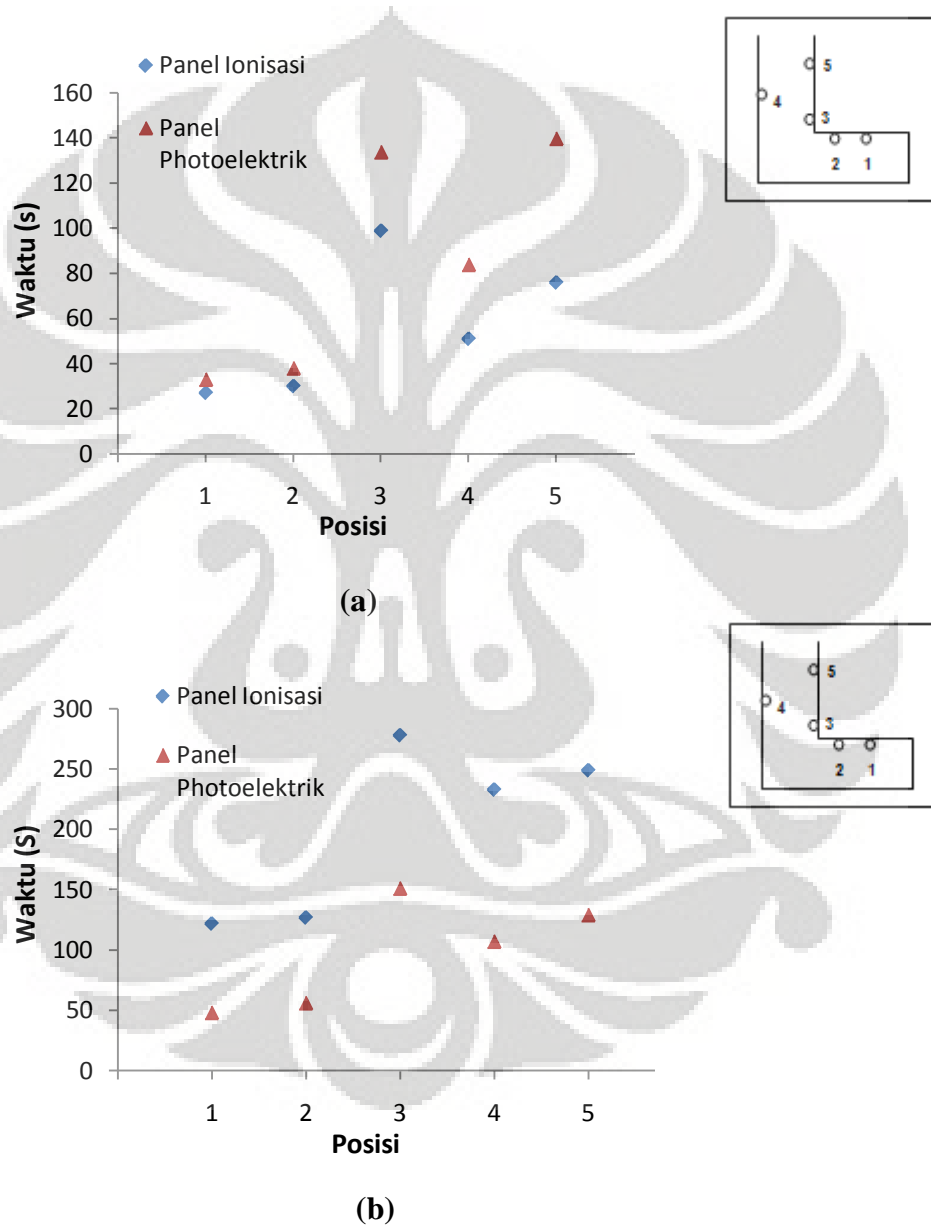
**Gambar 4.5** Nilai soot yield bahan[4]

Untuk bagian atrium, besarnya nilai opasitas asap relatif lebih kecil dibanding nilai opasitas pada bagian koridor baik pada bagian sisi 1 maupun sisi 2. Perbedaan tersebut terjadi karena pada sisi koridor pergerakan asap lebih teratur karena asap tertahan oleh keberadaan *ceiling* sehingga konsentrasinya masih cukup besar. ketika asap memasuki bagian atrium, pola pergerakan asap mulai berubah karena tidak ada bagian yang menahan pergerakan asap. Pergerakan asap pada bagian atrium lebih dipengaruhi oleh gaya bouyancy. Hal ini menyebabkan konsentrasi asap lebih kecil dibanding di bagian koridor ketika detektor asap aktif.



### 4.1.2 Analisa Hasil Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan pada laboratorium termodinamika sub-laboratorium teknik keselamatan kebakaran DTM, menggunakan konfigurasi ukuran ruangan yang sama dengan simulasi yang dilakukan di FDS. Berikut adalah data yang diperoleh dari hasil eksperimen pengaruh jenis bahan bakar :



**Gambar 4.6 Respon detektor asap hasil eksperimen**

**a) Bahan bensin b) Bahan foam**

Dari grafik diatas terlihat bahwa untuk jenis pembakaran *flaming* yaitu dengan menggunakan bensin, detektor asap tipe ionisasi lebih cepat merespon keberadaan asap dibanding dengan detektor asap tipe fotoelektrik pada jarak yang sama dari sumber api. Respon lebih cepat yang ditunjukkan oleh detektor asap tipe ionisasi terjadi karena perbedaan sensitifitas dari masing masing tipe detektor asap. Detektor asap tipe ionisasi lebih bereaksi terhadap partikel yang tidak kelihatan (ukuran partikel lebih kecil dari 1 mikron) yang diproduksi oleh kebanyakan nyala kebakaran seperti bensin. Detektor asap tipe fotoelektrik memiliki reaksi yang kurang baik terhadap ukuran partikel asap yang lebih kecil dari 1 mikron[12].

Untuk pembakaran jenis *smouldering* yaitu dengan menggunakan bahan foam, detektor asap tipe fotoelektrik lebih cepat memberikan respon terhadap keberadaan asap dibandingkan dengan tipe ionisasi. Respon lebih cepat yang ditunjukkan oleh detektor asap tipe fotoelektrik disebabkan oleh karakteristiknya yang lebih bereaksi terhadap ukuran partikel yang lebih besar dari 1 mikron. Ukuran partikel yang lebih besar dari 1 mikron umumnya dihasilkan dari pembakaran jenis *smouldering* yang menghasilkan asap dalam jumlah banyak[12].

Dari grafik diatas juga terlihat bahwa pada bagian koridor perbedaan waktu respon detektor asap antara tipe ionisasi dan tipe fotoelektrik tidak terlalu besar jika dibandingkan perbedaan waktu respon pada bagian atrium untuk pembakaran bensin. Untuk bagian koridor, selisih antara respon detektor asap tipe ionisasi dan fotoelektrik sebesar 6 sekon pada posisi pertama sedangkan pada atrium sebesar 35 sekon pada posisi 3 penempatan detektor. Perbedaan ini juga terjadi pada pembakaran bahan foam. Selisih yang didapatkan bahkan jauh lebih besar jika dibandingkan dengan hasil pada pembakaran bensin. Untuk bagian koridor, selisih waktu yang dihasilkan sebesar 84 sekon pada posisi pertama penempatan detektor sedangkan pada bagian atrium sebesar 127 sekon pada posisi ketiga penempatan detektor asap.

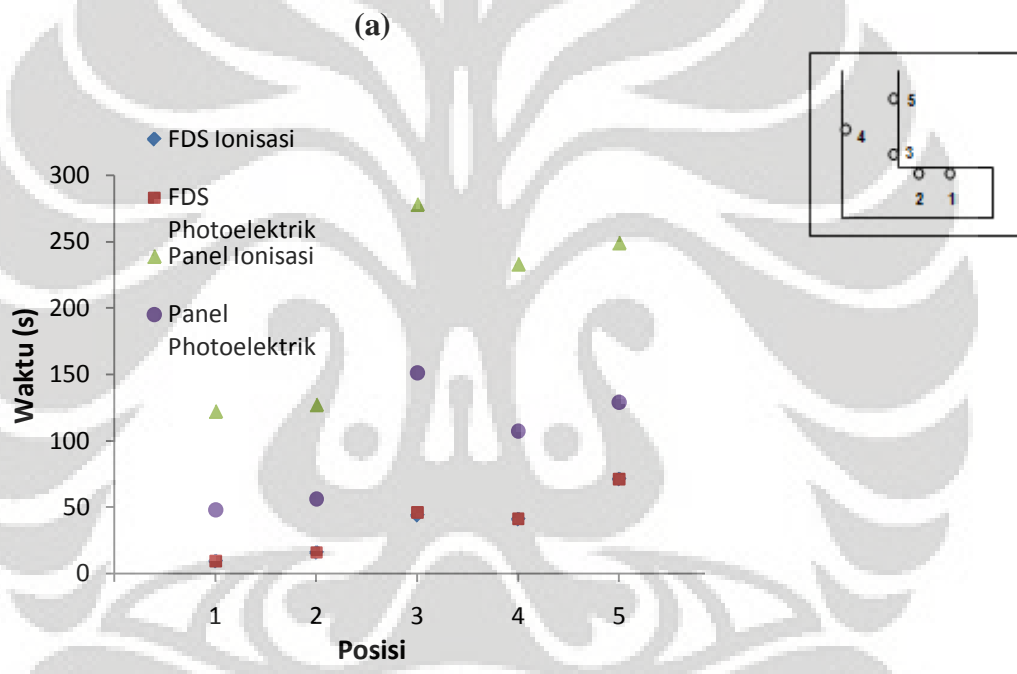
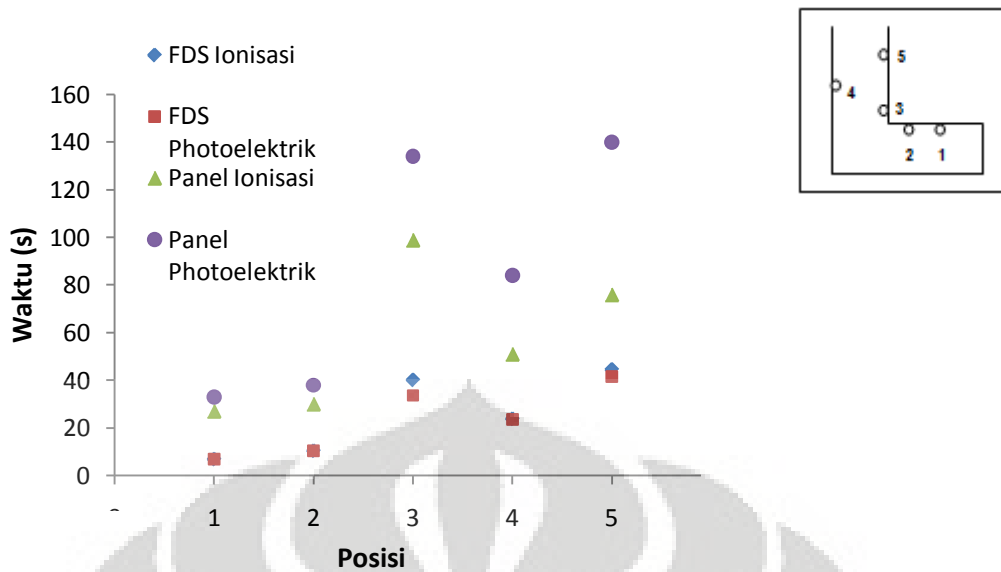
Perbedaan tersebut dapat terjadi karena konsentrasi pergerakan asap pada bagian koridor lebih teratur jika dibandingkan dengan pergerakan yang terjadi di bagian atrium. Pada bagian atrium pergerakan asap lebih tersebar karena pengaruh

geometri yang berbeda dan kecepatan yang mulai menurun ketika menjauhi sumber api. Hal itu menyebabkan konsentrasi asap pada bagian atrium lebih sedikit sehingga detektor asap yang kurang peka terhadap ukuran partikel yang lebih kecil dari 1 mikron akan memberikan respon yang lebih lambat.

Eksperimen diatas memperlihatkan bahwa secara umum jenis bahan bakar mempengaruhi aktivasi dari tipe detektor asap. Detektor asap tipe ionisasi memiliki performa yang sangat baik dalam merespon asap dari tipe pembakaran *flaming* tetapi kurang baik dalam merespon asap dari tipe pembakaran *smouldering* begitu pula dengan detektor asap tipe fotoelektrik yang lebih peka terhadap pembakaran jenis *smouldering*. Akan tetapi, jika dilihat dari gap waktu respon antara keduanya, Detektor asap tipe fotoelektrik memiliki kemampuan respon yang lebih baik terhadap kedua jenis bahan bakar yang berbeda. Sebagai contoh untuk bagian koridor pada pembakaran bensin, perbedaan waktu respon dengan detektor tipe ionisasi kurang dari 10 detik sedangkan detektor tipe ionisasi memiliki perbedaan waktu respon dengan tipe fotoelektrik untuk pembakaran foam lebih dari 70 detik.

#### **4.1.3 Perbandingan Hasil Simulasi FDS Dengan Eksperimen**

Untuk melihat tingkat kesesuaian antara hasil simulasi FDS dan eksperimen maka perlu dilakukan analisa perbandingan hasil dari keduanya. Berikut adalah grafik perbandingan jenis bahan bakar antara simulasi dan eksperimen tersebut :



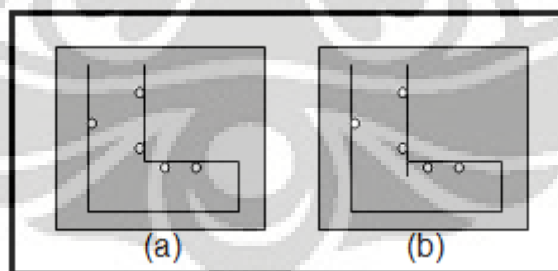
**Gambar 4.7 Perbandingan waktu respon detektor asap FDS dan eksperimen  
a) bahan foam b) bahan bensin**

Dari gambar grafik diatas terlihat bahwa secara umum pola persebaran waktu respon detektor asap terhadap posisi penempatan relatif sama tetapi terdapat selisih yang cukup besar antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan catatan pada simulasi detektor asap yang digunakan tidak dibedakan. Perbedaan antara hasil eksperimen dan simulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 sesuai dengan apa yang telah dilaporkan oleh Gottuk[2]. Gottuk[2]

dalam penelitiannya mendapatkan bahwa waktu respon yang dibutuhkan oleh detektor asap untuk beraktivasi di FDS jauh lebih cepat dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perbedaan waktu respon tersebut bisa terjadi karena beberapa faktor salah satunya karena perbedaan waktu jeda pada saat asap masuk ke *sensing chamber*. Pada eksperimen, terdapat jeda waktu yang cukup lama ketika asap telah melewati detektor asap dan ketika detektor beraktivasi. Hal ini cukup berbeda dengan jeda waktu pada saat simulasi yang relatif lebih singkat. Selain itu *sensing chamber* pada simulasi FDS juga tidak membedakan asap yang masuk berdasarkan ukuran partikel tetapi hanya pada ketebalan asap yang dihasilkan dari pembakaran padahal ukuran partikel mempengaruhi aktivasi detektor asap pada saat eksperimen.

#### 4.2 Pengaruh Penggunaan Sekat Terhadap Respon Detektor Asap

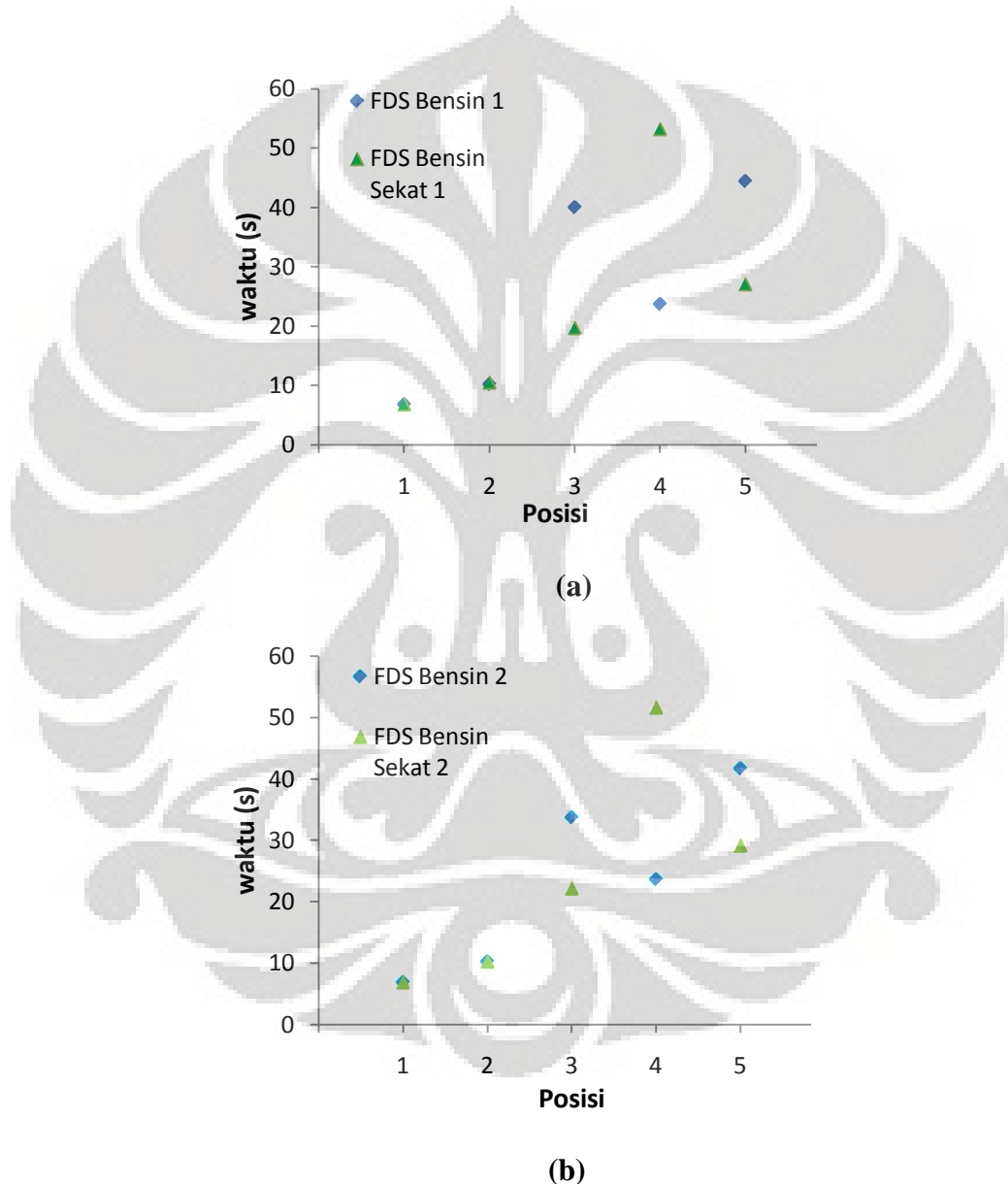
Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik pergerakan asap dengan geometri ruangan yang berbeda serta pengaruhnya terhadap waktu yang dibutuhkan oleh detektor asap untuk beraktivasi. Dalam simulasi ini, masing-masing detektor asap diletakkan di *ceiling* pada bagian koridor dan *wall* pada atrium dengan konfigurasi tanpa menggunakan sekat dan dengan menggunakan sekat.



**Gambar 4.8 Konfigurasi geometri ruangan uji**  
a)Tanpa sekat b)Dengan sekat

#### 4.2.1 Analisa Hasil Simulasi Menggunakan Software FDS

Sebelum melakukan pengujian eksperimen, terlebih dahulu dilakukan simulasi menggunakan software FDS untuk mendapatkan data awal sebagai acuan dalam melakukan eksperimen. Tujuan utama dari kegiatan simulasi ini adalah untuk memprediksikan karakteristik pergerakan asap dan waktu aktivasi detektor asap pada kondisi menggunakan sekat dan tanpa sekat.



**Gambar 4.9 Respon detektor asap pada simulasi FDS**

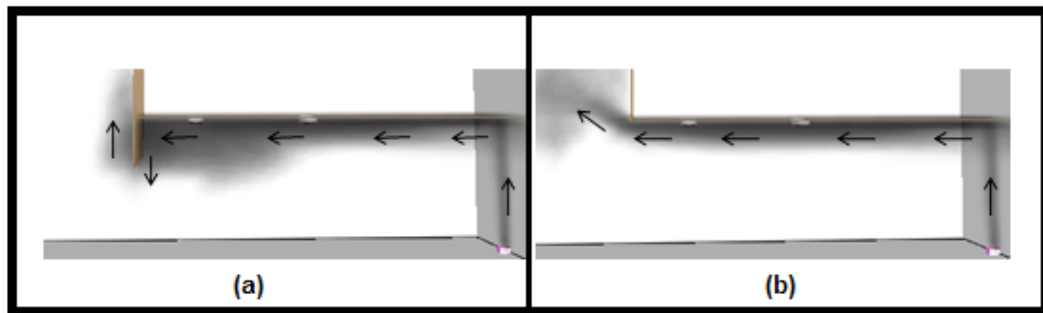
a) Sisi 1 b) Sisi 2

Pada gambar grafik 4.9 diatas terlihat bahwa perbedaan konfigurasi geometri mempengaruhi waktu aktivasi detektor asap. Perbedaan ini terjadi pada 2 jenis konfigurasi penempatan yang berbeda yaitu pada sisi 1 dan sisi 2. Sisi 1 merupakan sisi yang pada kegiatan eksperimen ditempati oleh detektor asap tipe Ionisasi sedangkan sisi 2 ditempati oleh detektor asap tipe Fotoelektrik. Hal ini dilakukan karena pada simulasi *software* FDS tidak bisa dibedakan antara detektor asap tipe fotoelektrik dan tipe ionisasi.

**Tabel 4.1 Waktu aktivasi detektor asap simulasi FDS**

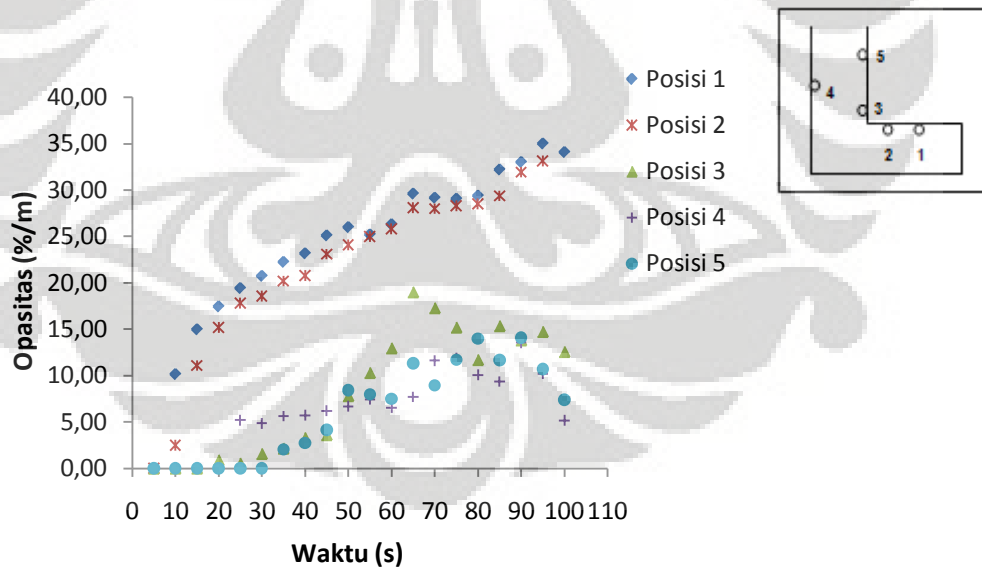
Posisi	Waktu (s)			
	Tanpa Sekat Sisi 1	Sekat Sisi 1	Tanpa Sekat Sisi 2	Sekat Sisi 2
1	6,9	6,8	6,9	6,9
2	10,3	10,5	10,3	10,3
3	40,1	19,7	33,8	22,2
4	23,8	53,3	23,7	51,7
5	44,5	27,1	41,8	29,2

Ketika geometri ruangan tanpa menggunakan sekat, urutan pola respon detektor asap akibat pergerakan asap yaitu 1-2-4-3-5. Posisi ini terjadi karena aliran asap ketika meninggalkan koridor masih memiliki kecepatan yang cukup besar akibat momentum dari pembakaran bahan bakar. Hal ini menyebabkan detektor asap posisi 4 terlebih dahulu teraktivasi kemudian baru posisi 3 dan posisi 5 yang teraktivasi. Untuk geometri ruangan dengan menggunakan sekat, urutan aktivasi detektor asap yaitu 1-2-3-5-4. Urutan ini terjadi karena pola pergerakan asap tertahan oleh sekat sehingga asap untuk sementara waktu tertahan dan kemudian bergerak menuju posisi 3 dan 5 terlebih dahulu. Dari Tabel 4.5 diatas juga terlihat bahwa penambahan sekat menyebabkan waktu respon detektor asap pada posisi 4 melambat. Gap keterlambatan tersebut sebesar 29 sekon pada sisi 1 dan 28 sekon pada sisi 2.



**Gambar 4.10 Pola persebaran asap a) Dengan sekat b) Tanpa sekat**

Gambar 4.10 memperlihatkan pola persebaran asap yang dipengaruhi oleh bentuk geometri dari suatu ruangan. Pada bagian b terlihat bahwa pergerakan asap keluar dari koridor sangat dipengaruhi oleh momentum akibat tumbukan partikel asap sedangkan pada bagian a, pergerakan asap keluar dari atrium merupakan akumulasi dari asap yang melebihi ketinggian sekat. Dengan adanya penambahan sekat, pola pergerakan asap berubah dan hal ini diikuti dengan perubahan persentase opasitas ketebalan asap pada tiap titik detektor ditempatkan. Berikut adalah grafik persentase opasitas yang terukur :

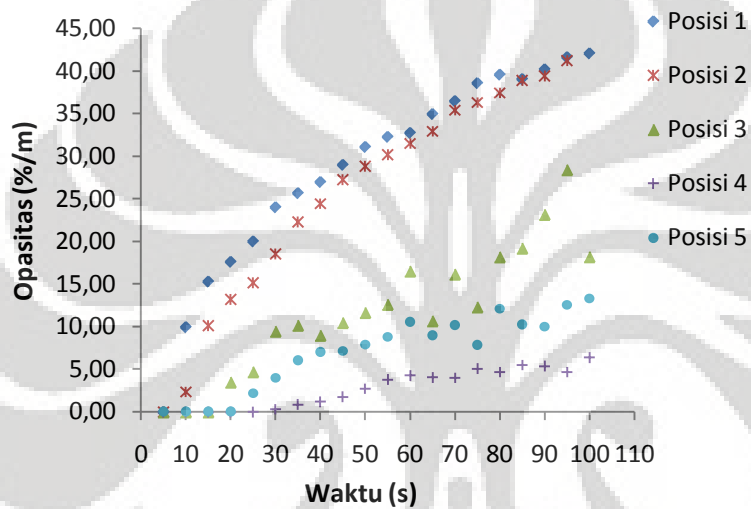


**Gambar 4.11 Grafik opasitas terhadap waktu tanpa sekat**

Persentase opasitas asap yang terukur pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada bagian koridor, perubahan opasitas terhadap waktu relatif lebih stabil dibandingkan dengan bagian atrium. Tingkat opasitas pada bagian atrium lebih

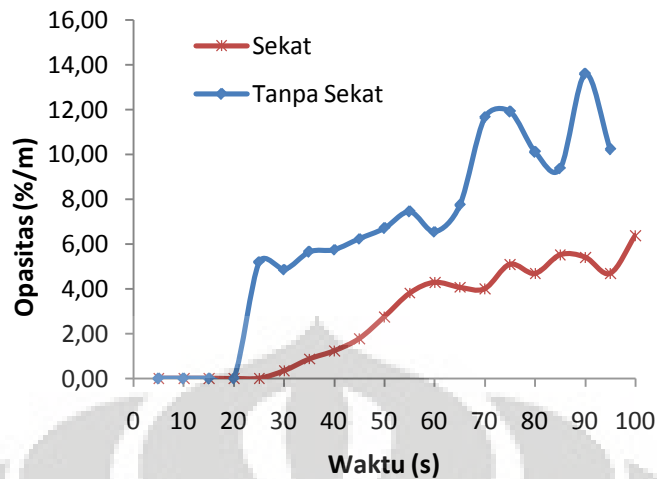


kecil dan berfluktuasi dibanding koridor karena konsentrasi asap ketika memasuki atrium tersebar dikarenakan tidak ada ceiling yang menahannya. Dari grafik juga terlihat pada detik ke 20 hingga 45, persentase opasitas pada posisi 4 lebih besar dibandingkan posisi 3 dan 5 yang sama-sama diletakkan pada dinding atrium. Hal ini disebabkan pada detik tersebut pergerakan asap terkonsentrasi menuju ke posisi 4 karena adanya efek momentum dari pembakaran bahan bakar dan tidak adanya sekat yang menghalangi.



**Gambar 4.12 Grafik opasitas terhadap waktu dengan sekat**

Jika dibandingkan dengan konfigurasi tanpa sekat, persentasi opasitas maksimal yang terukur dengan menggunakan sekat pada bagian koridor lebih besar dibanding tanpa menggunakan sekat. Nilai maksimum pada konfigurasi tanpa sekat yang terukur sebesar 35 %/m sedangkan pada konfigurasi menggunakan sekat sebesar 42 %/m. Perbedaan ini terjadi karena pada konfigurasi sekat, asap tidak langsung mengarah ke atrium karena tertahan oleh sekat. Setelah ketinggian asap telah melebihi tinggi sekat, baru kemudian asap bergerak ke arah atrium. Penambahan sekat menyebabkan konsentrasi asap pada bagian koridor menjadi lebih besar. Selain itu, pola konsentrasi asap pada bagian atrium terkonsentrasi pada posisi 3 dan 5 yang ditunjukkan dengan selisih nilai yang cukup besar dibanding nilai opasitas posisi 4.

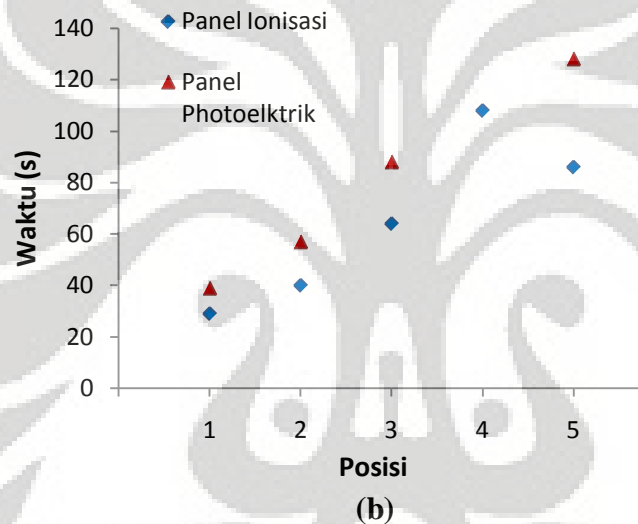
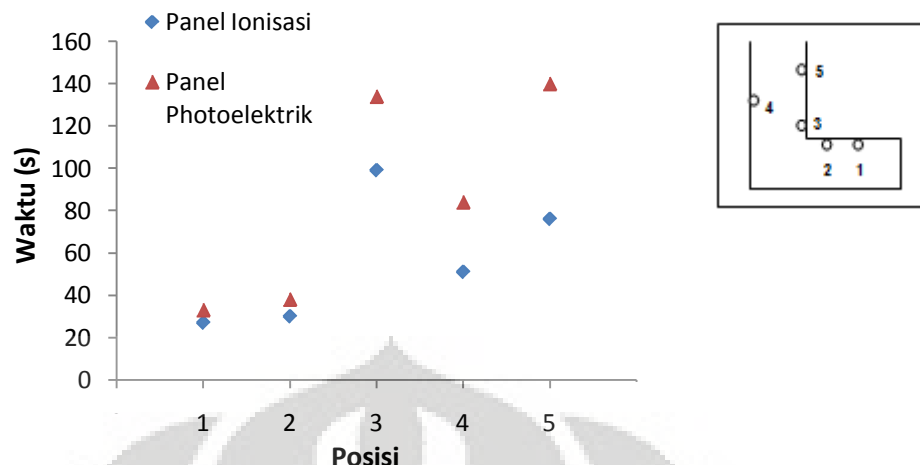


**Gambar 4.13 Pola opasitas asap pada posisi 4**

Dari grafik 4.13 juga terlihat bahwa persentase opasitas asap pada posisi 4 jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai pada konfigurasi tanpa sekat. Kecenderungan terjadinya penurunan opasitas asap pada bagian atrium akibat penggunaan sekat sesuai dengan yang dilaporkan oleh Lin[17] pada penelitiannya. Dengan pola ini menunjukkan bahwa penggunaan sekat dapat mengurangi persebaran asap keluar koridor dan menahan laju asap untuk memberikan waktu kepada penghuni untuk menyelamatkan diri apabila terjadi peristiwa kebakaran.

#### **4.2.2 Analisa Hasil Eksperimen**

Eksperimen yang dilakukan pada laboratorium termodinamika sub-laboratorium teknik keselamatan kebakaran DTM, menggunakan konfigurasi ukuran ruangan yang sama dengan simulasi yang dilakukan di FDS. Berikut adalah data yang diperoleh dari hasil eksperimen :



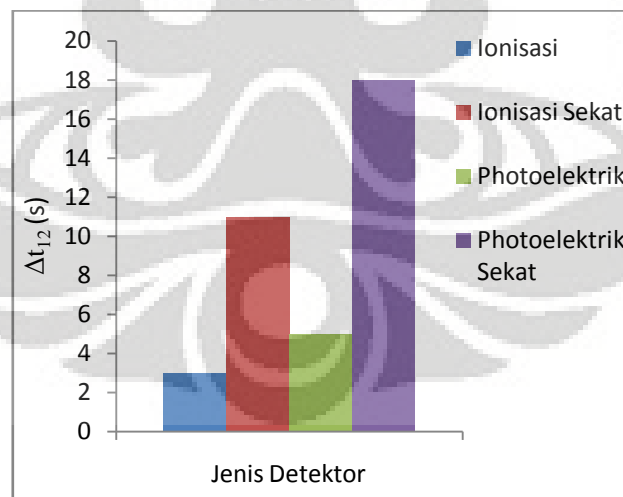
**Gambar 4.14 Waktu respon detektor asap eksperimen**  
**a) Tanpa sekat b) Dengan sekat**

Dari hasil eksperimen diatas terlihat bahwa penggunaan sekat mempengaruhi aktivasi dari detektor asap. Ketika konfigurasi tidak menggunakan sekat, detektor asap pada posisi 4 lebih dulu beraktivasi dibandingkan dengan posisi 3 dan 5 yang diletakkan di dinding atrium. Hal ini berbeda dengan yang terjadi pada penggunaan sekat. Penempatan detektor asap pada posisi 4 memiliki respon yang paling lambat dibandingkan dengan posisi 3 dan 5. Pergerakan asap sangat dipengaruhi oleh konfigurasi dari ruangan dan aktivasi dari detektor asap dipengaruhi oleh pergerakan asap.

**Tabel 4.2 Hasil pengukuran waktu respon detektor asap dengan konfigurasi geometri yang berbeda**

Posisi	Waktu (s)			
	Tanpa Sekat		Dengan Sekat	
	Ionisasi	Fotoelektrik	Ionisasi	Fotoelektrik
1	27	33	29	39
2	30	38	40	57
3	99	134	64	88
4	51	84	108	~
5	76	140	86	128

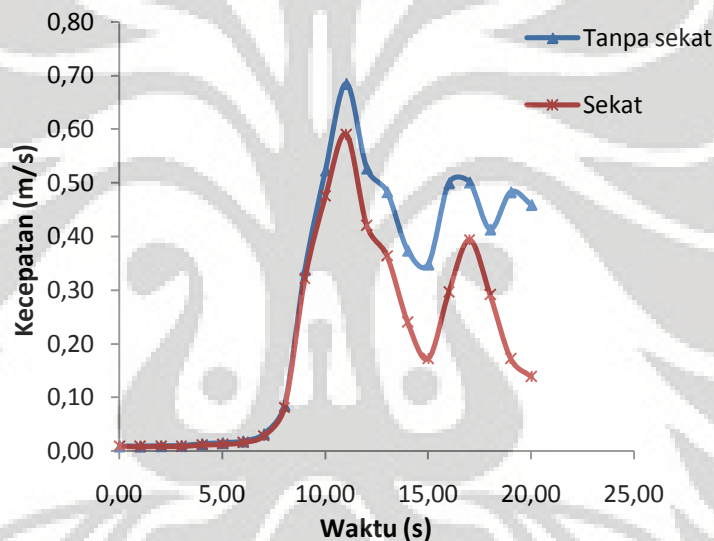
Pada konfigurasi menggunakan sekat pada gambar 4.14.b terlihat bahwa detektor asap tipe fotoelektrik tidak merespon keberadaan asap pada posisi 4. Detektor yang memberikan respon pada asap pembakaran bensin hanya tipe ionisasi saja. Fenomena ini terjadi karena detektor tipe fotoelektrik kurang peka terhadap asap jenis pembakaran flaming yang memiliki ukuran partikel kurang dari 1 mikron. Meskipun tingkat ketebalan asap telah mencapai nilai batas aktivasi detektor, Detektor asap tipe fotoelektrik membutuhkan waktu lebih lama karena kurang sensitif terhadap asap jenis pembakaran flaming yang berupa partikulat kecil.



**Gambar 4.15 Diagram selisih waktu respon antara posisi 1 dan 2**

Penambahan sekat juga memberikan efek terhadap respon detektor asap pada posisi 2. Dari gambar 4.15 terlihat bahwa selisih waktu respon antara posisi

1 dan 2 dengan menggunakan sekat dan tanpa sekat mengalami perbedaan. Pada saat tidak menggunakan sekat selisih antara posisi 1 dan 2 pada detektor ionisasi sebesar 3 sekon sedangkan ketika menggunakan sekat sebesar 11 sekon. Fenomena ini juga terjadi pada detektor asap tipe fotoelektrik. Pada saat tidak menggunakan sekat selisih antara posisi 1 dan posisi 2 sebesar 5 sekon sedangkan ketika menggunakan sekat mengalami peningkatan menjadi 18 sekon. Dari kecenderungan terjadinya keterlambatan respon detektor asap pada posisi 2 akibat penggunaan sekat seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11 bertentangan dengan apa yang telah dilaporkan oleh William[18]. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan sekat menyebabkan terjadinya penurunan kecepatan asap pada detektor asap.



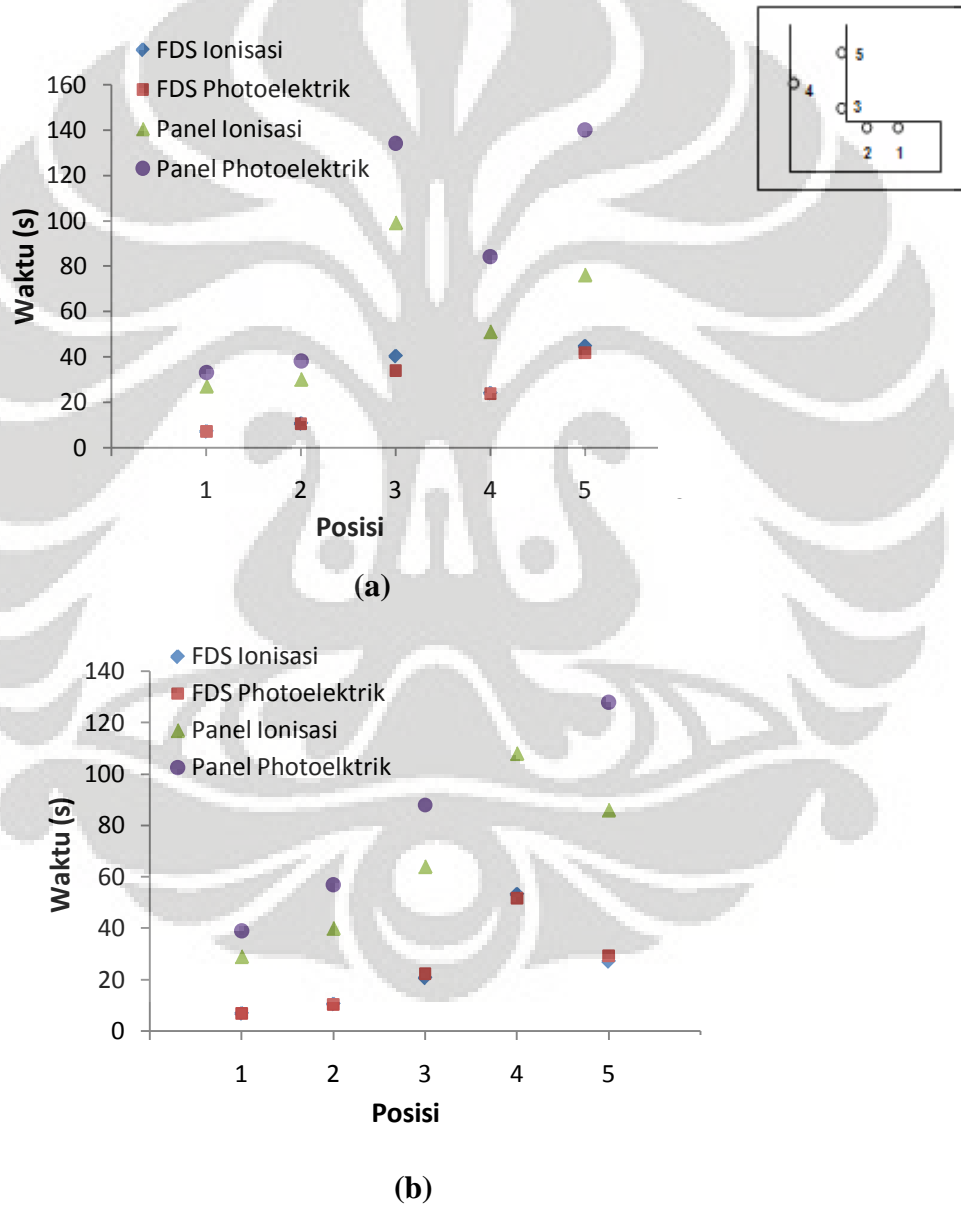
**Gambar 4.16 Grafik kecepatan asap pada posisi 2**

Pada gambar grafik 4.16 hasil simulasi terlihat bahwa penggunaan sekat mempengaruhi kecepatan pergerakan asap pada posisi 2 penempatan detektor asap. Selisih kecepatan asap tersebut mempengaruhi waktu yang dibutuhkan detektor untuk beraktivasi. Aktivasi detektor asap selain dipengaruhi oleh ketebalan asap juga dipengaruhi oleh kecepatan dari asap[16]. Penurunan kecepatan menyebabkan *dwell time* dan *mixing time* dari asap untuk membuat detektor beraktivasi menjadi bertambah. *Dwell time* merupakan waktu yang dibutuhkan asap untuk masuk kedalam *chamber* detektor sedangkan *mixing time*

merupakan waktu yang dibutuhkan asap untuk bercampur dengan volume tertentu pada chamber detektor dan membuat detektor beraktivasi.

#### 4.2.3 Perbandingan Hasil Simulasi FDS Dengan Hasil Eksperimen

Untuk melihat tingkat kesesuaian antara hasil simulasi FDS dan eksperimen maka perlu dilakukan analisa perbandingan hasil dari keduanya. Berikut adalah grafik perbandingan penggunaan sekat dan tanpa sekat antara hasil simulasi dan eksperimen :



Gambar 4.17 Perbandingan aktivasi detektor asap  
a) Tanpa sekat b) Dengan sekat

Dari gambar grafik diatas terlihat bahwa secara umum pola persebaran waktu respon detektor asap terhadap posisi penempatan relatif sama tetapi terdapat selisih yang cukup besar antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi dengan catatan pada simulasi detektor asap yang digunakan tidak dibedakan. Perbedaan antara hasil eksperimen dan simulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17 sesuai dengan apa yang telah dilaporkan oleh Gottuk[2]. Gottuk[2] dalam penelitiannya mendapatkan bahwa waktu respon yang dibutuhkan oleh detektor asap untuk beraktivasi di FDS jauh lebih cepat dibandingkan dengan hasil eksperimen.

Dari grafik juga terlihat bahwa pada simulasi FDS tidak terjadi fenomena perlambatan aktivasi detektor asap pada posisi 2 akibat penambahan sekat seperti yang terjadi pada eksperimen. Fenomena ini dapat terjadi karena pada simulasi FDS, detektor asap tidak merespon keberadaan asap berdasarkan ukuran partikel tetapi hanya berdasarkan ketebalan asap minimal yang menyebabkan detektor teraktivasi. Selain itu, jeda waktu yang dibutuhkan oleh asap untuk berpenetrasi ke dalam *sensing chamber* pada simulasi FDS jauh lebih cepat bila dibandingkan dengan eksperimen. Pada eksperimen, terdapat jeda waktu tertentu ketika asap memasuki detektor sehingga meskipun ketebalan asap sudah mencapai batas minimal aktivasi detektor, detektor tidak langsung teraktivasi karena menunggu percampuran pada *smoke chamber*.

## BAB 5

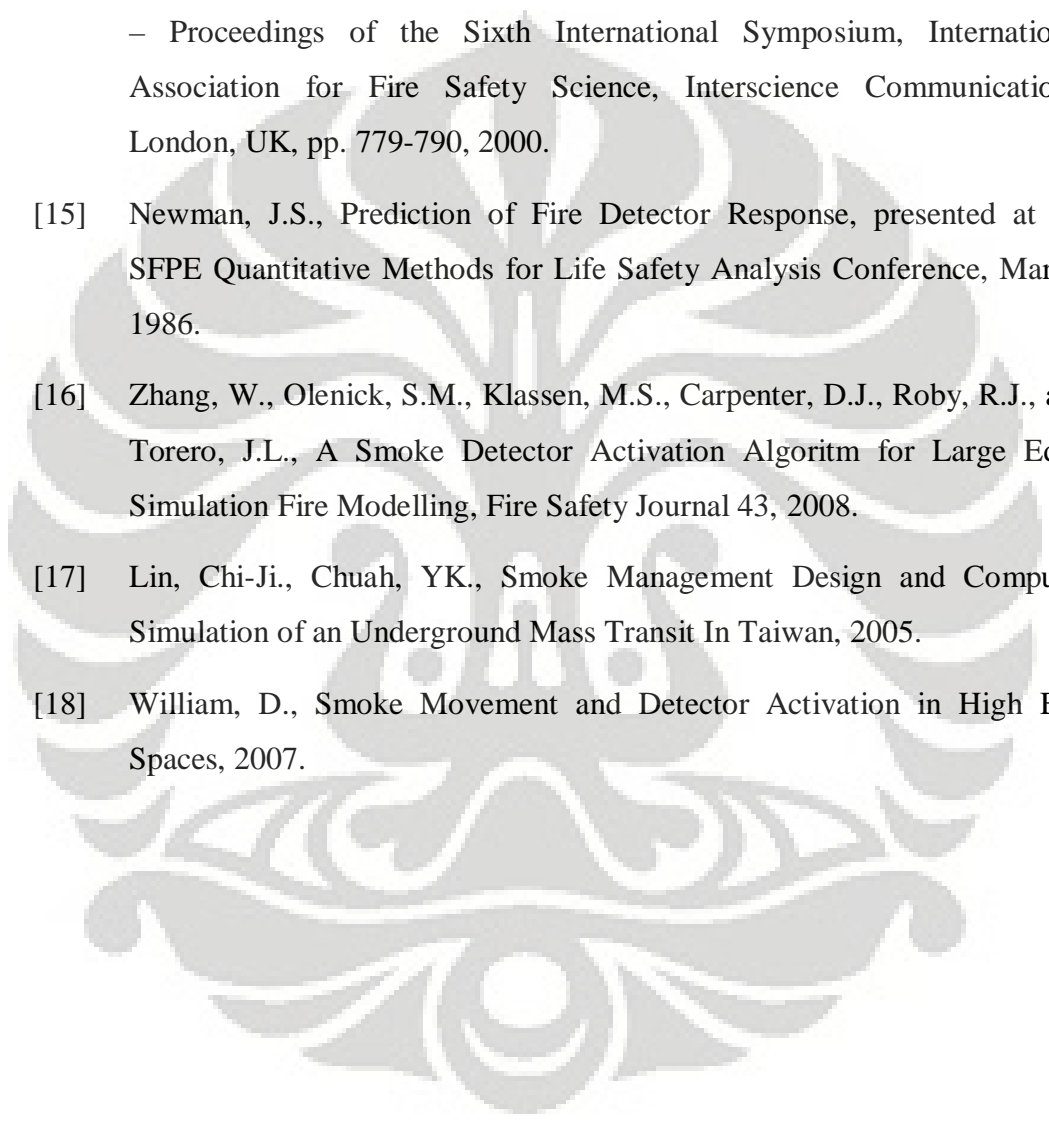
### KESIMPULAN

1. Detektor asap tipe fotoelektrik lebih reaktif terhadap asap hasil pembakaran jenis *smouldering* yang memiliki ukuran partikel lebih besar dari 1 mikron.
2. Detektor asap tipe ionisasi lebih reaktif terhadap asap hasil pembakaran jenis *flaming* yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 1 mikron.
3. Asap hasil pembakaran bensin memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibanding asap hasil pembakaran *smouldering*.
4. Detektor asap akan merespon keberadaan asap ketika partikel asap yang masuk kedalam *chamber* detektor telah mencapai persentase opasitas tertentu. Batas persentase opasitas yang digunakan pada eksperimen dan simulasi yaitu 3,28 %/m.
5. Pola respon detektor dan pergerakan asap dipengaruhi oleh bentuk geometri dari suatu ruangan.
6. Penggunaan sekat pada suatu ruangan cukup efektif untuk mencegah persebaran asap sampai delay waktu tertentu tetapi menyebabkan detektor asap yang diletakkan dekat dengan sekat mengalami perlambatan waktu respon.
7. Software *Fire Dynamic Simulator* cukup baik untuk menggambarkan kondisi kebakaran pada suatu ruangan beserta pola pergerakan asap tetapi masih memiliki kekurangan pada sistem aktivasi detektor asap.



## DAFTAR REFERENSI

- [1] Istre, GR., Mallonee, S., Smoke Alarms and Prevention of House Fire Related Deaths and Injuries, Western Journal of Medicine, 2000.
- [2] Gottuk, D., Smoke Detection Calculation New Advance, 2009.
- [3] NIST, Computer Modelling of Enclosure Fires, 2002.
- [4] McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H., and Rehm, R., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, National Institute of Standards and Technology, USA, 2007.
- [5] Saputra, A., Nugroho, Y.S., and Sugiarto, B., Fire Safety Improvement of Building by Smoke Shaft Systems, Jurnal Teknologi, Ed. No. 4 Thn. XXI, 2007.
- [6] Drysdale, D., An Introduction to Fire Dynamics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, John Wiley & Sons, 2003.
- [7] Mulholland, GW., Smoke Production and Properties, Chapter 13, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, 2002.
- [8] Nugroho, Y.S., On the Measurement of Smoke Production Rate of Tropical Wood, Proceeding The 10th International Conference on Quality in Research (QIR), 2007.
- [9] NIST, Computer Modelling of Enclosure Fires, 2002.
- [10] SNI 03-7012-2004, Sistem Manajemen Asap di Dalam Mal, Atrium dan Ruang Bervolume Besar, 2004.
- [11] SNI 03-3985-2000, Tata Cara Perencanaan dan Pengujian Sistem Deteksi dan Alarm Kebakaran Untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran Pada Bangunan Gedung, 2000.
- [12] NFPA 72, National Fire Alarm Code. National Fire Protection Association, USA, Edition 12, 2002.

- 
- [13] Brozovsky, E., Motevalli, V., and Custer, R. P., A First Approximation Method for Smoke Detector Placement Based on Design Fire Size, Critical Velocity, and Detector Aerosol Entry Lag Time, *Fire Technology* 31: 336-354, 1995.
- [14] Cleary, T., Chernovsky, A., Grosshandler, W., and Anderson, M., Particulate Entry Lag in Spot-Type Smoke Detectors, *Fire Safety Science – Proceedings of the Sixth International Symposium*, International Association for Fire Safety Science, Interscience Communications, London, UK, pp. 779-790, 2000.
- [15] Newman, J.S., Prediction of Fire Detector Response, presented at the SFPE Quantitative Methods for Life Safety Analysis Conference, March, 1986.
- [16] Zhang, W., Olenick, S.M., Klassen, M.S., Carpenter, D.J., Roby, R.J., and Torero, J.L., A Smoke Detector Activation Algorithm for Large Eddy Simulation Fire Modelling, *Fire Safety Journal* 43, 2008.
- [17] Lin, Chi-Ji., Chuah, YK., *Smoke Management Design and Computer Simulation of an Underground Mass Transit In Taiwan*, 2005.
- [18] William, D., *Smoke Movement and Detector Activation in High Bay Spaces*, 2007.