



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS
PEMBAKARAN TERHADAP WAKTU PENDETEKSI ASAP**

SKRIPSI

GILANG LAZUARDI

0405020324

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

JUNI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS
PEMBAKARAN TERHADAP WAKTU PENDETEKSI ASAP**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

GILANG LAZUARDI

0405020324

FAKULTAS TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

DEPOK

JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS PEMBAKARAN TERHADAP WAKTU DETEKSI 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 : Gilang Lazuardi

NPM : 0405020324

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Gilang Lazuardi

NPM : 0405020324

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi :

PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS PEMBAKARAN TERHADAP WAKTU DETEKSI 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 : Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D. ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng. ()

Penguji : Prof. Dr.Ir. Budiarmo, M.Eng. ()

Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng. ()

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 10 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

ميدردا نمدردا للها مسب

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

PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS PEMBAKARAN TERHADAP WAKTU DETEKSI 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 keluarga besar penulis yang telah menyokong dan memberikan semangat serta membantu kelancaran kuliah penulis.
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. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing skripsi, seluruh dosen teknik mesin dan staf-staf DTM lainnya yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan skripsi ini.
4. Ridwan, Imam Taufani, Makhadir M, Dimas R, Putri Yuni R dan Andreas P serta rekan-rekan mahasiswa departemen teknik mesin FTUI lainnya yang senantiasa memberikan inspirasi dalam pembuatan laporan ini.
5. 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.

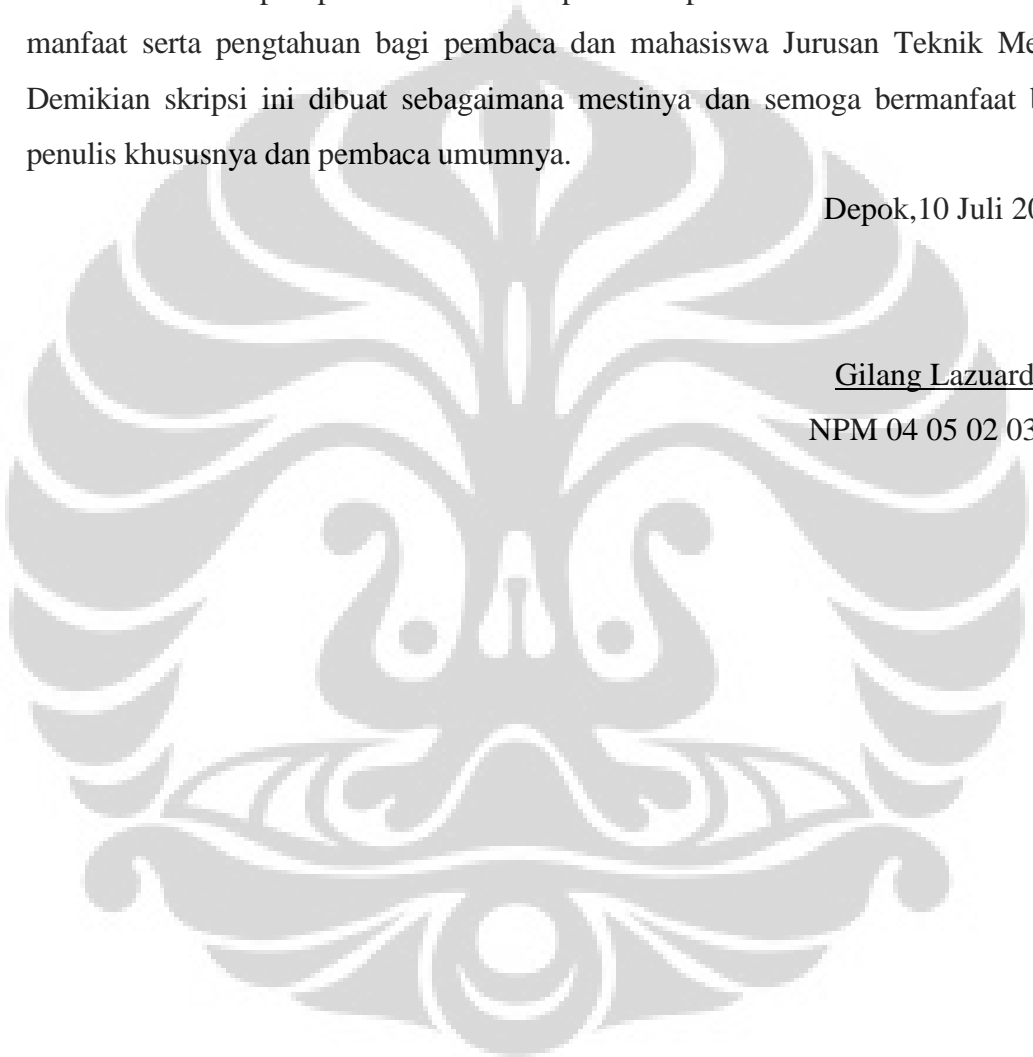
Penulis juga minta maaf sebesar-besarnya kepada semua pihak atas kesalahan yang sengaja maupun tidak sengaja selama pelaksanaan penelitian. Dan juga penulis menyadari adanya ketidaksempurnaan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik di masa 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, 10 Juli 2009

Gilang Lazuardi

NPM 04 05 02 0324



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

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

Nama : Gilang Lazuardi

NPM : 04 05 02 0324

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 Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul :

**PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS PEMBAKARAN
TERHADAP WAKTU DETEKSI ASAP**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pengkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 : 10 Juli 2009

Yang menyatakan

(Gilang Lazuardi)

ABSTRAK

Nama : Gilang Lazuardi

Program Studi : Teknik Mesin

Judul :

PENGARUH KETINGGIAN SEKAT DAN JENIS PEMBAKARAN TERHADAP WAKTU DETEKSI ASAP

Deteksi awal kebakaran mempunyai peranan yang sangat penting terhadap keselamatan penghuni suatu bangunan, oleh karena itu penggunaan smoke detektor sangat penting dalam suatu bangunan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan kinerja suatu smoke detektor dengan penempatan dan pemilihan smoke detektor yang sesuai. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui time respon dari smoke detektor dari penempatan smoke detektor pada variasi lokasi dan jarak terhadap sumber api dengan konfigurasi bentuk geometri ruang yang berbeda yaitu dengan ketinggian sekat yang berbeda. Hasil dari experiment yang didapatkan kemudian di bandingkan dengan hasil simulasi dari program FDS untuk melihat seberapa besar FDS dapat menggambarkan kejadian pergerakan asap yang sebenarnya. Dari hasil experiment didapatkan bahwa time respon yang dibutuhkan suatu smoke detektor pada saat experiment relatif lebih lama dibandingkan time respon yang didapat dari hasil FDS pada lokasi dan kondisi yang sama dengan selisih waktu ± 19 detik. Dari hasil experiment juga didapatkan persentase opasitas pada saat alarm dari smoke detektor berbunyi relatif lebih besar dibandingkan hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan FDS. Dari hasil experiment persentase opasitas yang terukur saat smoke alarm berbunyi mencapai 11%/m – 12%/m, tetapi dari simulasi yang didapat dari FDS, persentase opasitas yang terukur saat smoke detektor berbunyi adalah 2,9%/m – 3,3%/m.

ABSTRACT

Name : Gilang Lazuardi
Major : Mechanical Engineering
Title :

EFFECT OF PARTITION DEPTH AND BURNING TYPE ON SMOKE DETECTION TIMES

Early detection of fire have a very important role of the safety of a building, therefore the use of smoke detectors is very important in a building. The main objective of this research is to optimize the performance of a smoke detector with the selection and placement of smoke detectors accordingly. In research conducted this test to know the response time of the placement of smoke detectors smoke detector on the variations of location and distance to the source of fire with the configuration space of a different geometry, using the dividers with a different altitude. Results obtained from the experiment to be compared with the results from FDS simulation program to see how FDS can describe the actual smoke movement. From the results of the experiment it was found that the required response time of a smoke detector at the time of experiment is relatively long response time compared to the results obtained from the FDS on the same location and condition with the time difference ± 19 seconds. From the results of the experiment also found the percentage of opacity at the time of the smoke detector alarm sounds is relatively larger than the results obtained from simulation using FDS. From the results of the experiment that measured the percentage of opacity time when the smoke alarm sounds reached 11% / m - 12% / m, but from that obtained from simulation of FDS, which measured the percentage of time opacity smoke detector beep is 2.9% / m - 3.3%

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
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
BAB 2 DASAR TEORI	8
2.1 Api, Pembakaran, dan Kebakaran	8
2.2 Kelas Kebakaran	10
2.3 Asap Sebagai Hasil Pembakaran.....	12
2.4 Sistem Penanggulangan Kebakaran.....	15
2.4.1 Klasifikasi Sistem Penanggulangan Kebakaran.....	17
2.4.1.1 Sistem Proteksi Aktif.....	18
2.4.1.2 Sistem Proteksi Pasif.....	19
2.4.2 Smoke Detektor Sebagai Sistem Proteksi Kebakaran.....	21
BAB 3 METODOLOGI PENGUJIAN	25
3.1 Tahap Persiapan	25
3.1.1 Peralatan Keamanan	25
3.1.2 Spesifikasi & Persiapan Alat Uji.....	25
3.2 Tahap Percobaan dan Pengambilan Data.....	27
3.2.1 Pemodelan / Simulasi dengan FDS	34
3.2.2 Prosedur Kalibrasi	35
3.2.3 Prosedur Pengambilan Data Respon time dan opacity dari photoelektrik smoke detector dan ionisasi menggunakan bensin dan foam pada jarak yang berbeda.....	37
BAB 4 HASIL & ANALISIS	39
4.1 Analisa Hasil Simulasi Menggunakan FDS.....	39
4.1.1 Simulasi Dengan Menggunakan Pool Fire Dengan Bahan Bakar Propane Dan Bahan Bakar Foam.....	39
4.1.2 Simulasi Menggunakan Poolfire Bahan Bakar Bensin Dengan Konfigurasi Perbedaan Ketinggian Sekat. ...	43
4.2 Hasil Experiment	47

4.2.1	Pengaruh Jenis Bahan Mampu Bakar Terhadap Respon Time Smoke Detector.....	50
4.2.2	Pengaruh Penggunaan Sekat Dan Lokasi Penempatan Smoke detector	56
4.2.3	Pengaruh Death Zone	62
4.3	Perbandingan Hasil FDS Dan Experiment.....	64
4.3.1	Jarak Terhadap Time Respon Dengan Menggunakan Bahan Bakar Dan Tipe Smoke Detector Yang Berbeda.....	64
4.3.2	Perbandingan Time Respon Dari Pengaruh Sekat Dan Lokasi Penempatan Smoke Detector.....	66
BAB 5 KESIMPULAN		69
DAFTAR PUSTAKA		71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Formasi Volatile dari Padatan yang Dapat Terbakar	10
Tabel 3.1	<i>Material Properties</i>	35
Tabel 4.1	Hasil Simulasi FDS Dengan Bensin dan <i>Foam</i>	41
Tabel 4.2	Hasil Time Respon dan Persentase Opasitas Asap Dari Simulasi Dengan Sekat 90 cm dan 45 cm.....	44
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran <i>Time Response</i> Dan Persentase Opasitas Dari Jenis <i>Smoke detector</i> dan Bahan Bakar Yang Berbeda ...	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Beberapa Cara Uap Dihasilkan Dari Bahan Bakar	9
Gambar 2.2.	Smoke Detector Ionization	23
Gambar 2.3.	Smoke Detector Photoelectric.....	24
Gambar 3.1.	Simbol LDR	28
Gambar 3.2.	Cahaya Bebas Mengenai LDR.....	29
Gambar 3.3	Asap Sebagai Penghalang laer Menuju LDR.....	30
Gambar 3.4	Cone Calorimeter, Lab Pembakaran DTM FTUI	31
Gambar 3.5	Smoke Opacity Meter	32
Gambar 3.6	Ruang Uji Full Scale	33
Gambar 4.1	Lokasi Smoke Detector Pada Simulasi FDS.....	40
Gambar 4.2	A. Jarak Detektor - Time Respon; B. Jarak Detektor - Persentase Opacity Saat Alarm Berbunyi; C. Time Respon - Persentase Opacity Saat Alarm Berbunyi.....	42
Gambar 4.3	Simulasi pada saat 60 detik. A. Simulasi Dengan Ketinggian Sekat 90 cm; B. Simulasi Dengan Sekat 450 cm	44
Gambar 4.4	A. Time Respon Dengan Ruang Uji Sekat 45 cm; B. Time Respon Detektor dengan Ruang Uji Sekat 90 cm.....	45
Gambar 4.5	Pengaruh Waktu Terhadap Persentase Opasitas Asap A). Ketinggian Sekat 45 cm; B). Ketinggian Sekat 90 cm	46
Gambar 4.6	Grafik hubungan voltase terhadap smoke obscuration/0,11m.....	48
Gambar 4.7	Time Respon Smoke detector Dari Bahan Bakar Yang Berbeda A). Flaming; B). Smouldering	52
Gambar 4.8	Persentase Opasitas Smoke detector Tipe Ionisasi dan Photoelektrik Hasil Experiment A). Flaming ; B). Smouldering	54
Gambar 4.9	Perubahan Persentase Opasitas Terhadap Waktu	55
Gambar 4.10	Skema Lokasi Penempatan Smoke detector Dengan Ketinggian Sekat 90 cm	57
Gambar 4.11	Perubahan Persentase Opasitas Terhadap Waktu Pada Ruang Uji Dengan Ketinggian Sekat 160 cm	58
Gambar 4.12	Pengaruh Lokasi Smoke detector Terhadap Time Respon Dengan Ketinggian Sekat 90 cm.....	59
Gambar 4.13	Perubahan Persentase Opasitas Asap Terhadap Waktu Dengan Ketinggian Sekat 45 cm.....	60
Gambar 4.14	Pengaruh Lokasi Smoke detector Terhadap Time Respon Dengan Ketinggian Sekat 45 cm.....	61
Gambar 4.15	Daerah Dead Air Space.....	62
Gambar 4.16	Skema Experiment Smoke detector Ketinggian Sekat 45 cm.....	63
Gambar 4.17	Skema Experiment Smoke detector Ketinggian Sekat 90 cm.....	63
Gambar 4.18	Time Respon Smoke detector Hasil FDS dan Experiment A). Flaming; B). Smouldering	65

Gambar 4.19	Pengaruh Penggunaan Smoke detector Tipe Ionisasi dan Photoelektrik Terhadap Persentase Opasitas Smoke detector Dari Hasil FDS dan Experiment C). Flaming D). Smouldering	65
Gambar 4.20	Perbandingan Perubahan Persentase Opasitas Asap Terhadap Waktu Hasil Simulasi Dan Experiment Dengan Ketinggian Sekat 45 Cm	66
Gambar 4.21	Perbandingan Pengaruh Perubahan Persentase Opasitas Asap Terhadap Waktu Hasil FDS dan Experiment Dengan Ketinggian Sekat 90 cm	67
Gambar 4.22	Perbandingan Time Respon Hasil FDS Dan Experiment Dengan Sekat 45 cm	68
Gambar 4.23	Perbandingan Time Respon Hasil FDS dan Experiment Dengan Sekat 90 cm	68



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Berdasarkan statistik dari beberapa negara di dunia, peristiwa kebakaran menimbulkan kerugian yang cukup besar, bila dibandingkan dengan bentuk bencana yang lain, baik dari segi ekonomi, lingkungan maupun manusia. Statistik di DKI Jakarta mencatat bahwa terjadi peningkatan kasus kebakaran pada tahun 1994 sebesar 929 kasus kebakaran dan terus meningkat pada tahun 1998 – 2000 yang disebabkan oleh berbagai kerusuhan dan kebakaran [*www.safe.gq.nu*, 15 November 2004]. Dari data tersebut terbukti bahwa peristiwa kebakaran, disamping peristiwa bencana alam, merupakan salah satu resiko yang tinggi untuk bahaya kematian, kerusakan lingkungan dan berhentinya produksi suatu perusahaan. Untuk itu diperlukan berbagai pencegahan-pencegahan timbulnya kebakaran,

Pencegahan kebakaran adalah usaha menyadari/mewaspadaikan akan faktor-faktor yang menjadi sebab munculnya atau terjadinya kebakaran dan mengambil langkah-langkah untuk mencegah kemungkinan tersebut menjadi kenyataan. Banyak 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, suatu 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.

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. Pada dasarnya, sistem deteksi kebakaran didesain dan dipasang

berdasarkan keperluan yang ditentukan. Ketika suatu penelitian menunjukkan bahwa kehadiran suatu *smoke detector* pada suatu area atau lingkungan tempat tinggal bisa mengurangi angka resiko bahaya dan kematian yang diakibatkan oleh kebakaran (e.g. Mallonee et al., 1996; Ahrens, 2004), ada beberapa lokasi penempatan *Smoke detector* yang potensial pada suatu area yang dapat menyebabkan keterlambatan secara signifikan pada waktu aktivasi suatu *smoke alarm*. Keterlambatan dalam memberikan respon terhadap kehadiran asap tersebut dapat mengakibatkan terjadinya bahaya yang serius terhadap penghuni area bahkan bisa menyebabkan kematian karena penghuni tidak mengetahui adanya kebakaran yang ditandai dengan kehadiran asap. Oleh karena itu, desain suatu *system smoke detection* akan memerlukan metode yang akurat untuk menentukan waktu aktivasi dan penempatan *smoke detector* yang paling efektif pada suatu bangunan dengan geometris tertentu agar suatu *Smoke detector* dapat bekerja secara optimal.

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.

Penggunaan sistem proteksi aktif kebakaran sudah sangat dikenal oleh masyarakat. Berbagai standar telah dikeluarkan untuk menjamin bahwa sistem proteksi kebakaran telah terpasang dan berfungsi dengan baik dan benar. Walaupun sistem pemadaman tersebut sudah banyak digunakan, namun hal itu tidak menjamin sistem tersebut tidak memiliki kekurangan. Masih banyak kekurangan yang dihadapi sistem proteksi kebakaran, seperti penggunaan *sprinkler* yang sangat banyak mengeluarkan air sehingga dapat merusak peralatan yang terkena air. Ada juga kelemahan pada alat pemadam api ringan (APAR)

Universitas Indonesia

yang saat ini banyak digunakan. APAR yang saat ini banyak dipakai terbuat dari zat-zat yang dapat membahayakan secara langsung maupun tidak langsung seperti halon, CO₂, dan serbuk kimia kering.

Dari sisi manajemen asap, dengan mempergunakan kasus kebakaran Ruko, penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa pemanfaatan *smoke shaft system*, berpotensi untuk meningkatkan keselamatan penghuni. Saputra, dkk. (2007) memperlihatkan bahwa *smoke shaft system* dapat memperpanjang waktu tercapainya kondisi tak mampu huni dari 160s menjadi 400s.

Dalam bangunan tinggi *smoke detector* banyak digunakan karena dapat bekerja secara efektif dan mampu memberikan respon yang sangat cepat pada tahapan awal terjadinya kebakaran. Namun demikian, karena *system Smoke detector* akan berkaitan dengan perancangan sistem alarm, maka pemodelan yang memadai untuk mendapatkan kinerja aktivasi yang tepat akan menentukan efektifitas strategi keselamatan kebakaran [Zhang, dkk., 2008]. Pada tahapan produksi, pada umumnya *smoke detector* telah diuji menggunakan tes kotak asap dimana asap dialirkan pada kecepatan yang tinggi. Hasil simulasi pergerakan asap pada bangunan Ruko yang dilakukan dalam penelitian sebelumnya [Saputra, dkk., 2007] memperlihatkan bahwa akumulasi asap terjadi dengan kecepatan yang relatif lambat. Zhang, dkk. (2008) mengindikasikan bahwa dalam kebakaran sesungguhnya *Smoke detector* berpotensi memberikan respon yang lebih lambat (delay) akibat perbedaan kecepatan asap dibandingkan dengan kondisi pengujiannya.

Perkembangan pesat yang dicapai oleh bidang Pemodelan Kebakaran (Fire Modeling) telah memungkinkan dilakukannya simulasi kebakaran menggunakan pendekatan *Zone Model* maupun *Field Model* [SFPE Handbook, 2002 dan Mell, W.R., 2007]. Pemodelan penyebaran asap yang akan dilakukan pada penelitian ini berbasis pada *Field Model* menggunakan *Fire Dynamic Simulator* (FDS) yang dikembangkan oleh NIST [Grattan, K., 2007]. FDS merupakan model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk fire-driven fluid flow. Dalam model ini partikel Lagrangian digunakan untuk mensimulasikan pergerakan asap,

Universitas Indonesia

semburan sprinkler maupun semburan bahan bakar. Penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa hasil simulasi FDS dapat mendukung laporan investigasi kebakaran dari pihak Kepolisian [Nugroho, et.al., 2007].

Berdasarkan uraian tersebut di atas penelitian ini akan mengkaji secara mendalam faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dan parameter aktivasi *smoke detector* akibat asap yang dihasilkan dari produk pembakaran kayu, kegiatan memasak, maupun rokok. Pemodelan dan simulasi pergerakan asap memungkinkan diketahuinya pengaruh konfigurasi ruangan pada parameter aktivasi *detector*. Hasil pemodelan dan simulasi akan divalidasi dengan hasil *experimental* pergerakan asap dan aktivasi *detector* skala laboratorium

1.2 Perumusan masalah

Skripsi ini akan membahas rancang bangun peralatan penelitian skala laboratorium yang dapat mengukur secara simultan ketebalan asap yang dihasilkan dari berbagai sumber asap yang berbeda dalam ruang *experiment* dengan menganalisa pengaruh geometris terhadap waktu aktivasi *smoke detector*. 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 menentukan daerah *dead air space* sebagai pertimbangan penempatan *smoke detector* yang efektif.

1.3 Tujuan penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk makalah ini dimaksudkan untuk memenuhi tugas akhir untuk jenjang sarjana. Tujuan dari penulisan ini yaitu

Universitas Indonesia

pembaca dapat memahami arti penting penggunaan *smoke detector* pada suatu bangunan sebagai deteksi awal kebakaran, Identifikasi karakteristik pergerakan asap pada suatu kompartmen, Identifikasi pengaruh lokasi *smoke detector* terhadap aktivasi alarm, Validasi kesesuaian hasil pemodelan terhadap hasil experiment sehingga dapat dilihat seberapa besar kesesuaian antara experiment dan simulasi. Sehingga apabila tujuan itu tercapai maka diharapkan kita bisa menggunakan *smoke detector* dengan fungsi yang optimal.

1.4 Pembatasan Masalah

1. Sumber asap yang akan diuji terbuat dari bahan-bahan yang umum menyebabkan tipe kebakaran jenis *flaming* yaitu *poolfire* bahan bakar bensin dan yang menyebabkan tipe kebakaran jenis *smouldering* yaitu *foam*.
2. Variasi ketinggian sekat dari *ceiling* yang digunakan sebagai perbandingan adalah 90 cm dan 45 cm dengan jarak 160 cm dari sumber api.
3. Membandingkan waktu aktivasi *smoke detector* pada jarak dan lokasi penempatan yang berbeda terhadap sumber asap sebagai berikut:
 - Variasi jarak *smoke detector* di *ceiling*: 155 cm, 195 cm, 240 cm, 280 cm dan 325 cm.
 - Variasi jarak *smoke detector* di *wall*: 155 cm dan 280 cm.
 - Variasi tinggi lokasi *smoke detector* di *wall*: 90 cm dan 120 cm di *wall* kanan dan *wall* kiri.
4. Membandingkan hasil yang didapat dari butir 2 pada variasi ketinggian sekat 45 cm dan 90 cm yang diletakan pada jarak 160 cm dari sumber api.
5. Mengukur opacity ketebalan asap saat alarm *smoke detector* aktif.
6. Mengukur distribusi penyebaran ketebalan asap setiap 10 detik pada titik-titik jarak yang ditentukan di *ceiling* dan di *wall*.
7. Memvalidasikan data eksperimen dengan data FDS untuk menentukan tingkat keakurasian *software* FDS sebagai program simulasi kebakaran

Universitas Indonesia

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 *smoke detector*. 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, sensor cahaya berbasis LDR untuk mengukur opasitas, dan data logger berbasis mikrokontroler sebagai *tools* pengambilan data yang akan langsung terbaca pada computer.
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 *Smoke detector* agar bisa dimanfaatkan secara optimal sebagai sitem 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

Bagian ini berisi mengenai latar belakang masalah sehingga penelitian ini dilakukan, perumusan masalah berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian disesuaikan dengan rumusan masalah, pembatasan masalah agar pembahasan tidak melebar, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Pokok bahasan, sasaran, dan ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan dijelaskan secara garis besar pada subbab perumusan masalah, tujuan penulisan, serta pembatasan masalah. Sedangkan, subbab metodologi penelitian, dan sistematika penulisan memberikan gambaran awal tentang proses yang terjadi pada penelitian serta pembahasan isi skripsi secara singkat.

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 *smoke detector*, 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

Bagian ini menampilkan data yang telah didapat dari hasil pengujian. Data yang didapat kemudian diolah, kemudian dilakukan analisis sesuai dengan hasil yang didapat dan berdasarkan literatur yang ada. Analisis yang dilakukan mengenai pengaruh jarak terhadap respon time *smoke detector*, pengaruh sekat terhadap pergerakan asap dan respon time *smoke detector*, pengaruh jenis

Universitas Indonesia

kebakaran yang terjadi terhadap tipe *smoke detector* yang dipakai, dan pengaruh lokasi *smoke detector* terhadap waktu aktivasi *smoke detector*.

BAB V KESIMPULAN

Bagian ini berisi kesimpulan dari seluruh penelitian yang merupakan jawaban dari tujuan penelitian.



Universitas Indonesia

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. Api, Pembakaran, dan Kebakaran

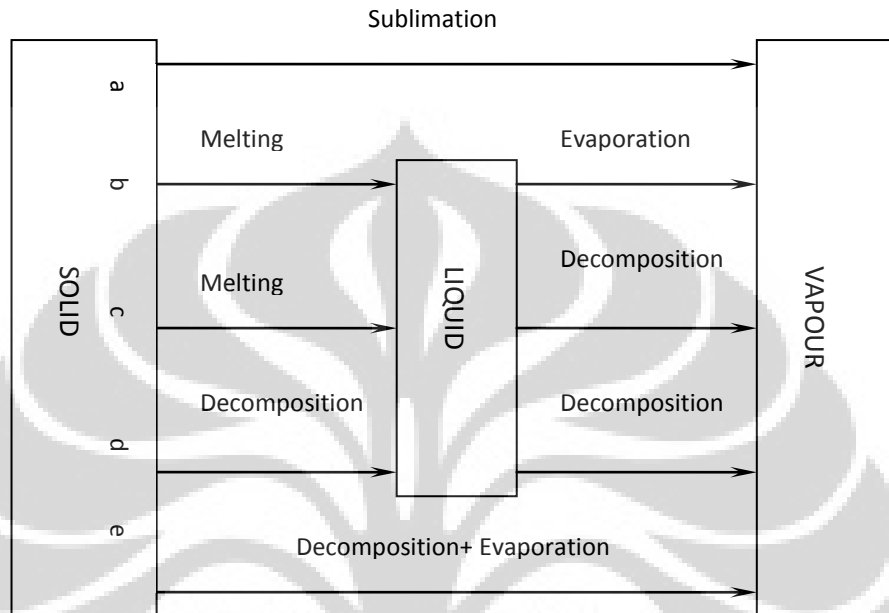
Api merupakan sebuah proses pembakaran, dimana terjadi sebuah reaksi kimia kompleks antara bahan bakar, oksigen dan sumber-sumber *ignition*. Mastorakos [2003] mendefinisikan istilah ‘pembakaran’ sebagai reaksi kimia antara bahan bakar dan *oxidizer* yang melibatkan pelepasan energi signifikan dalam bentuk panas.

Bahan bakar adalah segala zat yang melepaskan energi ketika dioksidasi [Mastorakos, 2003]. 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.

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 padatan yang seperti ini ditunjukkan oleh padatan jenis (e) pada Gambar 2.1. Adapun, penjelasan mekanisme Gambar 2.1. dan contoh-contoh padatan sesuai dengan jenis perubahan fasenya ditunjukkan lebih lanjut pada Tabel 2.1. 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 [Mastorakos, 2003]. Udara merupakan oxidizer alami, karena udara pada keadaan normal memiliki kandungan oksigen sebesar 21%.



Gambar 2.1. Beberapa cara uap dihasilkan dari bahan bakar (Drysdale, 2003)

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.

Sedangkan kebakaran adalah peristiwa terbakarnya material baik itu padat, cair atau gas dalam skala besar yang disertai terbentuknya asap dimana 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, *heat release rate* (dijelaskan kemudian), yang besar.

Table 2.1. Formasi volatile dari padatan yang dapat terbakar (Drysdale, 2003)

Designation (Gambar 2.1.)	Mechanism	Examples
a	Sublimation	Methenamine
b	Melting and evaporation without chemical change	Low molecular weight paraffin waxes, although the mechanism likely to involve (b) and (c)
c	Melting, then decomposition followed by evaporation of low molecular weight products	Thermoplastic; high molecular weight waxes, etc.
d	Decomposition to produce molten products which decompose further to yield volatile species	Polyurethanes
e	Decomposition to give volatile species directly	Cellulose; most thermosetting resins (except polyurethanes)

2.2 Kelas Kebakaran

Dalam memadamkan api atau kebakaran maka 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.

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

1. Kelas A



Universitas Indonesia

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

Universitas Indonesia

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 [Drysdale, 2003], maupun kajian skala laboratorium [Tsantaridis, 2003], 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 [Tsantaridis, 2003: 7]. 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 [Nugroho, 2007]. Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa laju produksi asap yang terjadi pada tahapan pirolisis lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tahapan nyala (*flaming*).

2.3. Asap Sebagai Hasil Pembakaran

Produk sampingan yang dihasilkan kebakaran selain timbul panas adalah asap yang akan menyebar ke lingkungan sekitarnya, yang dapat menghalangi pandangan sehingga dapat menyulitkan proses evakuasi atau penyelamatan dari

Universitas Indonesia

penghuni bangunan. Asap adalah produk gas dari pembakaran material *organic* dimana partikel kecil padat dan cair terdispersikan (Gross et al, 1967). Asap merupakan salah satu hasil pembakaran yang sangat berbahaya karena menurut data statistik yang diperoleh di UK dan USA menunjukkan bahwa lebih dari 50% kematian yang diakibatkan oleh kebakaran disebabkan karena terhirupnya partikulat-partikulat asap yang mungkin mengandung zat-zat beracun (Home Office, 1995; “National Fire Protection Association,”).

2.3.1. Pengukuran Partikulat Asap

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

- a) Menyaring asap dan menentukan berat dari partikulat zat tersebut (hanya cocok untuk experiment skala kecil)(ASTM, 1989).
- b) Mengumpulkan asap pada suatu ruangan yang telah diketahui volumenya dan tentukan *optical density* (hanya untuk experiment skala kecil dan menengah) (Rashbash dan Philips, 1978; ASTM, 1994a; ISO, 1990).
- 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 (Atkinson dan Drysdale , 1989; ASTM, 1993d; babrauskas, 19950).

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

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 :

$$m = 0.071 Qc^{1/3} z^{5/3} [1 + 0.026 Qc^{2/3} z^{-5/3}] kg/s \quad (2.1)$$

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. Jika intensitas awal cahaya dituliskan sebagai I_0 , maka pengurangan intensitas cahaya setelah kehadiran asap di dalamnya (I) dapat dijelaskan oleh Lambert-Beer Law

$$I = I_0 \exp(-\kappa CL) \quad (2.2)$$

Dimana k adalah koefisien tetap, C merupakan konsentrasi masa dari partikel asap dan L adalah jarak antara sumber cahaya dan sensor yang dilewati oleh asap. *Optical density* didefinisikan dalam sebuah natural logaritma (Babrauskas, 1995b):

$$D_c = -\log_c \left(\frac{I}{I_0} \right) = kCL \quad (2.3)$$

Atau logaritmik yang sering digunakan [Rasbash and Philips, 1978; Rasbash, 1995]

$$D_{10} = -10 \log_c \left(\frac{I}{I_0} \right) = \frac{10}{2.303} kCL \quad (2.4)$$

Dimana nilai 10 adalah angka konstan dengan pengukuran dari pelafian dari suara dan signal elektrik (decibles atau db).

Membandingkan kedua perumpamaan dengan persamaan (2.2) menunjukkan bahwa *optical density* memiliki hubungan dengan konsentrasi asap dan lebih banyak dikenal dengan persentase obscuration, yang diberikan oleh:

$$\frac{I_0 - I}{I_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

2.3.3. Pergerakan Asap

Asap adalah gas panas yang mengapung – yang pada dasarnya adalah udara panas 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. Ini 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. Masa 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 yang merupakan fluida bergerak berdasarkan pengaruh dari adanya gaya yang mendorong, yang mana gaya yang berpengaruh adalah 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. System tata udara yang ada di dalam gedung.

2.4. 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, *maintenance/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 :

Universitas Indonesia

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

Untuk meminimalkan terjadinya kebakaran, manajemen keamanan kebakaran atau *fire safety management* (FSM) menjadi sangat mendesak untuk dilakukan. Pengelolaan itu dimulai dari pengetahuan dan pengenalan terhadap sumber api, yang akan membantu dalam menentukan metode pemadaman. Kebakaran dapat terjadi bila tercapai kesetimbangan dari tiga komponen yang terdiri atas panas, oksigen, dan bahan bakar. Jika api berasal dari panas, pemadaman dilakukan dengan memindahkan sumber panas—metode ini disebut dengan pendinginan. Jika api bersumber dari oksigen, pemadamannya dengan memindahkan unsur oksigen melalui pembatasan pasokan udara atau mengurangi konsentrasi oksigen (pengisolasian). Jika sumbernya bahan bakar, pemadaman dilakukan dengan memindahkan unsur bahan bakar (pembatasan bahan).

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.

2.4.1. Klasifikasi Sistem Penanggulangan Kebakaran

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 :

Universitas Indonesia

- 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)
3. Klasifikasi berdasarkan cara/teknologi penanggulangan, dibagi dalam dua kategori :
- *Soft Teknologi* (sistem proteksi melalui perangkat peraturan, standar, manajemen dan perencanaan desain)
 - *Hard Teknologi* (dengan penggunaan perangkat peralatan)

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

2.4.1.1. Sistem Proteksi Aktif

Sistem proteksi aktif merupakan sistem perlindungan terhadap kebakaran melalui sarana aktif yang terdapat pada bangunan atau sistem perlindungan dengan menangani api/kebakaran secara langsung. Cara yang lazim digunakan adalah :

a. Sistem Pendeteksian Dini

Sistem pendeteksian dini terhadap terjadinya kebakaran dimaksudkan untuk mengetahui serta dapat memberi refleksi cepat kepada penghuni

untuk segera memadamkan api pada tahap awal. Sensor-sensor yang umum dikenal adalah :

- alarm kebakaran;
- detektor panas, asap, nyala dan atau gas;
- manual call point;
- panel control;
- sumber daya darurat lainnya.

b. Sistem Pemercik (*Sprinkler*) Otomatis

Sistem ini biasanya bersinergi langsung dengan sistem pendeteksi dini, dimana bila sistem detektor bekerja, langsung dilanjutkan dengan bekerjanya alat ini untuk pemadaman. Beberapa sistem yang biasa dikenal antara lain :

- alarm kebakaran;
- sistem sprinkler otomatis;
- sistem hidran (hidran dalam maupun halaman); hose reel;

c. Sistem Pemadam dengan bahan kimia portable :

- alat pemadam Halon/BCP;
- alat pemadam CO₂;
- alat pemadam *Dry chemicals*;
- alat pemadam busa/*foam*;

d. Sistem Pemadam Khusus, yang mencakup :

- *CO₂ component*,
- *Halon extinguisher unit*;
- *Foam systems*;

e. Sistem Pengendalian Asap, sistem yang umum dipakai :

- *smoke venting*;
- *smoke towers*;
- tata udara untuk pengendalian asap;
- elevator smoke control.

2.4.1.2. Sistem Proteksi Pasif

Sistem proteksi pasif merupakan sistem perlindungan terhadap kebakaran yang bekerja melalui sarana pasif yang terdapat pada bangunan. Biasanya juga disebut sebagai sistem perlindungan bangunan dengan menangani api dan kebakaran secara tidak langsung. Caranya dengan meningkatkan kinerja bahan bangunan, struktur bangunan, pengontrolan dan penyediaan fasilitas pendukung penyelamatan terhadap bahaya api dan kebakaran. Sistem ini adalah yang paling lazim dan maksimal yang bisa dilakukan pada kasus fasilitas pemukiman.

Yang termasuk di dalam sistem proteksi pasif ini antara lain :

- Perencanaan dan disain site, akses dan lingkungan bangunan
- Perencanaan struktur bangunan
- Perencanaan material konstruksi dan interior bangunan
- Perencanaan daerah dan jalur penyelamatan (evakuasi) pada bangunan
- Manajemen sistem penanggulangan kebakaran

a. Perencanaan dan disain site, akses dan lingkungan bangunan

Beberapa hal yang termasuk di dalam permasalahan site dalam kaitannya dengan penanggulangan kebakaran ini antara lain :

- penataan blok-blok massa hunian dan jarak antar bangunan,
- kemudahan pencapaian ke lingkungan pemukiman maupun bangunan,
- tersedianya area parkir ataupun open space di lingkungan kawasan,
- menyediakan hidrant eksterior di lingkungan kawasan,
- menyediakan aliran dan kapasitas suply air untuk pemadaman.

b. Perencanaan Struktur dan Konstruksi Bangunan

Hal-hal yang berkaitan dengan perencanaan sistem ini antara lain :

- Pemilihan material bangunan yang memperhatikan sifat material

- kemampuan / daya tahan bahan struktur (*fire resistance*) dari komponen-komponen struktur.
 - penataan ruang, terutama berkaitan dengan areal yang rawan bahaya , dengan memilih material struktur yang lebih resisten.
- c. Perencanaan daerah dan jalur penyelamatan (evakuasi) pada bangunan
Biasanya diperuntukkan untuk bangunan pemukiman berlantai banyak dan merupakan bangunan yang lebih kompleks. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan perencanaan sistem ini :
- kalkulasi jumlah penghuni/pemakai bangunan
 - tangga kebakaran dan jenisnya
 - pintu kebakaran
 - daerah perlindungan sementara
 - jalur keluar bangunan &
 - peralatan dan perlengkapan evakuasi
- d. Manajemen sistem penanggulangan kebakaran
Sistem manajemen kebakaran ini mencakup lima aspek yang harus dipertimbangkan di dalam sistem penanggulangan kebakaran, yaitu :
- tindakan preventif / pencegahan
 - sistem prosedural
 - sistem komunikasi
 - perawatan / pemeliharaan
 - sistem pelatihan

Aspek-aspek tersebut masing-masing harus selalu dievaluasi kelengkapan dan fungsinya agar dapat berfungsi dengan baik pada saat diperlukan. Untuk itu diperlukan sistem manajemen yang dapat mengelolanya dengan baik.

2.4.2. Smoke Detektor Sebagai Sistem Proteksi Kebakaran

Universitas Indonesia

Pada dasarnya, sistem deteksi kebakaran di desain dan dipasang berdasarkan keperluan yang ditentukan. Salah satu sistem proteksi aktif yang banyak digunakan adalah *smoke detector*. . Ketika suatu penelitian menunjukkan bahwa kehadiran suatu *smoke detector* pada suatu area atau lingkungan tempat tinggal bisa mengurangi secara signifikan angka resiko bahaya dan kematian yang diakibatkan oleh kebakaran (e.g. Mallonee et al., 1996; Ahrens, 2004), ada beberapa lokasi penempatan *smoke detector* yang potensial pada suatu area yang dapat menyebabkan keterlambatan secara signifikan untuk mengaktifkan suatu smoke alarm. Keterlambatan dalam memberikan respon terhadap kehadiran asap tersebut dapat mengakibatkan terjadinya bahaya yang serius terhadap penghuni area bahkan bisa menyebabkan kematian karena penghuni tidak mengetahui adanya kebakaran yang ditandai dengan kehadiran asap. Oleh karena itu, desain suatu sistem smoke detection akan memerlukan metode yang akurat untuk menentukan waktu aktivasi dan penempatan detector yang paling efektif pada suatu bangunan dengan geometris tertentu agar suatu detector dapat bekerja secara optimal.

Perlu sekali untuk mengetahui prinsip kerja beberapa detector karena sumber api dan bagaimana api timbul mempunyai beberapa karakteristik. Penentuan jenis detector yang dipakai yang paling tepat adalah saat bangunan tersebut dibangun dan diketahui peruntukannya. Misalnya pemakaian detector akan sangat berbeda antara bangunan yang dipakai untuk gudang, gedung perkantoran ataupun sebagai hotel.

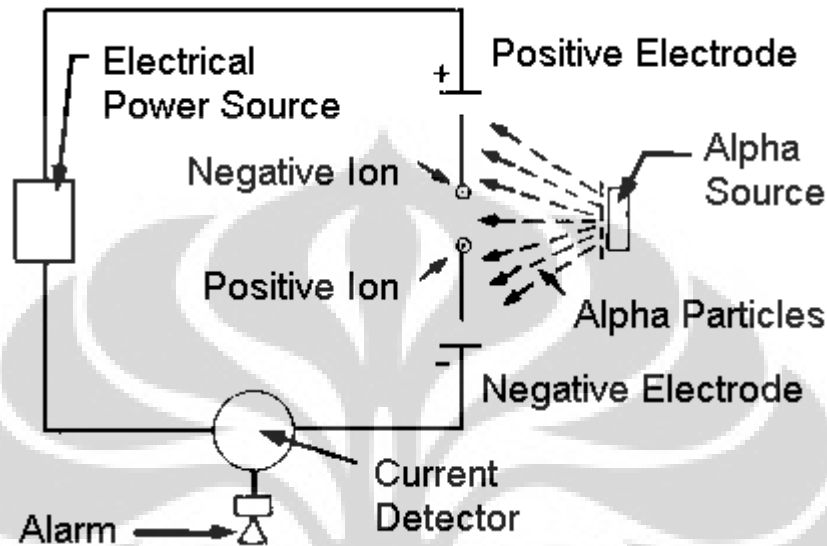
Secara umum terdapat dua tipe detector kebakaran yang paling banyak digunakan yaitu yang berorientasi pada thermal (*sprinklers* dan *heat detector*) dan yang berorientasi terhadap asap (*smoke detector*). Untuk memprediksikan respon dari sprinklers dan heat detector digunakan hubungan temperature maksimum dan kecepatan (*plume and ceiling jet correlations*) terhadap model perpindahan panas konveksi yang terjadi pada suatu benda dengan massa tertentu (Stroup and Evans, 1988). Model ini telah tergabung dalam *fire analysis tool suites* (FPETool) seperti juga zonal-type fire models (FAST). Selain itu, sejak

Universitas Indonesia

tahun 1990 NFPA 72E telah membuat metode untuk menentukan jarak heat detector berdasarkan laju dan ukuran pertumbuhan api, karakteristik respon thermal detector (Respon Time Indeks), dan tinggi langit-langit.

Penentuan aktivasi *smoke detector* juga telah dimasukkan ke dalam daerah model (seperti FPETool dan FAST) (Upadhyay and Ezekoye, 2005). Metode percobaan yang paling sederhana untuk aktivasi *smoke detector* memperlakukan sebagai element panas yang paling sensitive (tanpa adanya selisih peradaan panas) dan menggunakan korelasi yang lemah antara peningkatan temperature dan kepadatan asap pada lokasi dimana *smoke detector* berada. Peningkatan kritis temperature di atas temperature lingkungan untuk aktivasi *smoke detector* diasumsikan sebesar 11.1°C (20°F) (Heskestad and Delichatsios, 1977). Metode ini mengabaikan banyak factor yang mempengaruhi aktivasi *smoke detector* misalnya karakteristik respon dari detector sebaik karakteristik asap. Banyak terdapat kritikan dasar teknik dan ketepatan terhadap pendekatan tersebut yang meninggalkan keraguan yang besar terhadap validitasnya (Beyler and DiNenno, 1991; Schifiliti and Pucci, 1996; Luck and Sievert, 1999; Schifiliti, 2001; Cholin and Marrion, 2001; Mowrer and Friedman, 1998; Gottuk et al., 1999; Wakelin, 1997).

2.4.2.1. *Smoke detector Tipe Ionisasi*

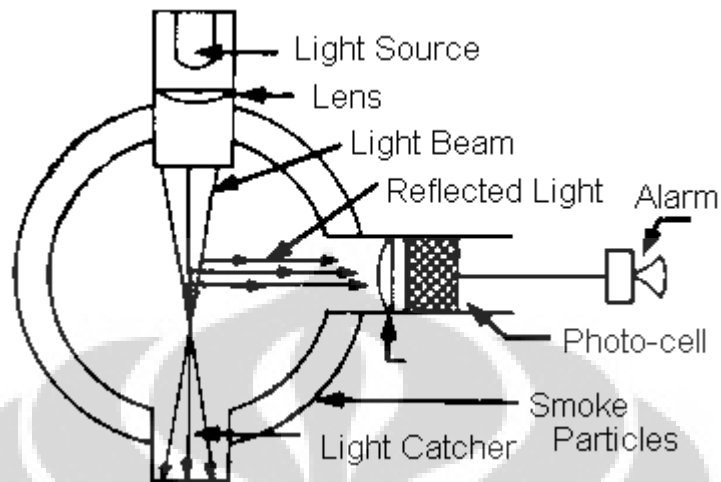


Gambar 2.2. *smoke detector ionization*

Suatu detektor asap jenis 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 pengindra 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. Pendeteksian cara ionisasi lebih bereaksi terhadap partikel yang tidak kelihatan (ukuran lebih kecil dari 1 mikron) yang diproduksi oleh kebanyakan nyala kebakaran. Reaksinya agak lebih rendah terhadap partikel yang lebih besar dari kebanyakan api tanpa nyala (SNI 03-3985-2000, Tata Cara Pemasangan dan pengujian system deteksi dan alarm kebakaran untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung)

Universitas Indonesia

2.4.2.2. Smoke detector Tipe Photoelektrik



Gambar 2.3. smoke detector photoelectric

Pada detektor asap jenis pancaran cahaya foto-elektrik, suatu sumber cahaya dan suatu pengindera peka sinar disusun sedemikian rupa sehingga sinar dari sumber cahaya tidak secara normal jatuh ke pengindera peka sinar. Ketika partikel asap masuk ke lintasan cahaya, sebagian dari cahaya terpencarkan oleh pantulan dan pembiasan ke sensor (pengindera), menyebabkan detektor itu bereaksi. Deteksi pancaran cahaya foto-elektrik 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. (SNI 03-3985-2000, Tata Cara Pemasangan dan pengujian sistem deteksi dan alarm kebakaran untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung).

BAB 3

METODOLOGI PENGUJIAN

Dalam melakukan penelitian dan pengujian, maka dibutuhkan tahapan-tahapan yang harus dijalani agar percobaan dan pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar yang ada. Dengan menerapkan prosedur percobaan yang sama dan konsisten maka hasil yang didapat akan dapat dipercaya dan valid. Dalam melakukan eksperimen pengujian karakteristik pergerakan asap dan *smoke detector* ini, ada sejumlah komponen yang harus dipersiapkan antara lain *pool fire*, ruang pengujian asap, *smoke detector* tipe photoelektrik dan ionisasi, alat ukur & alat pencatat data tambahan.

3.1 TAHAP PERSIAPAN

Sebelum melakukan pengujian atau pengambilan data, maka persiapan teknis maupun non-teknis harus dilakukan. Hal ini patut dilakukan untuk menjamin pengambilan data dapat berjalan dengan baik (sesuai standar yang ada), dan dapat juga menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Dalam tahap persiapan ini ada tiga tahap persiapan yaitu persiapan peralatan keamanan (*safety tools*), menyiapkan peralatan uji, dan persiapan sampel.

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 ini (setelah dilakukan pengkajian) ada beberapa bahaya atau risiko yang dapat timbul 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, penyalaan untuk *pool fire* berdiameter besar dapat dilakukan terlebih dahulu di luar ruangan.
2. Rangkaian Listrik : Di dalam ruangan laboratorium terdapat beberapa rangkaian listrik seperti 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. Tabung-tabung Oksigen, Nitrogen : Dalam laboratorium terdapat beberapa tabung oksigen, nitrogen yang dapat menimbulkan bahaya apabila salah dalam memakai dan menanganinya. Seperti tabung oksigen harus dijauhkan dari sumber api 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 & CO₂. Oleh karena itu sebelum dilakukan pengujian, aliran udara keluar harus benar-benar telah dipersiapkan, seperti pembukaan jendela, pintu, *exhaust fan* dll.
5. Bahan Bakar : Dalam pengujian *pool fire* dipergunakan bahan bakar jenis bensin (*gasoline*) yang sangat mudah menguap dan terbakar. Sehingga saat pengujian dan penyimpanan harus benar-benar dijauhkan dari sumber api dan panas. Untuk bahan bakar solid digunakan *foam*.

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

- Alat Pemadam Api Ringan (APAR) tipe *dry blower*. Alat pemadam ini harus dicek dan diperiksa apakah masih layak pakai dan belum kadaluarsa.

- Sarung tangan tahan panas, untuk menjaga keamanan tangan dari temperatur tinggi saat pengujian berlangsung.

3.1.2. Spesifikasi & Persiapan Alat Uji

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 :

3.1.2.1. Wadah Bahan Bakar (*pool fire*)

Wadah bahan bakar berfungsi sebagai tempat bahan bakar melakukan proses pembakaran (kebakaran). Wadah yang digunakan untuk pengujian ini memiliki diameter sebesar 6 cm. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.

3.1.2.2. Ignitor

Untuk menyalakan api dan mengignisiasi pembakaran *pool fire*. Ignitor berupa ignitor gas seperti yang banyak digunakan pada kompor-kompor rumah tangga.

3.1.2.3. Kamera

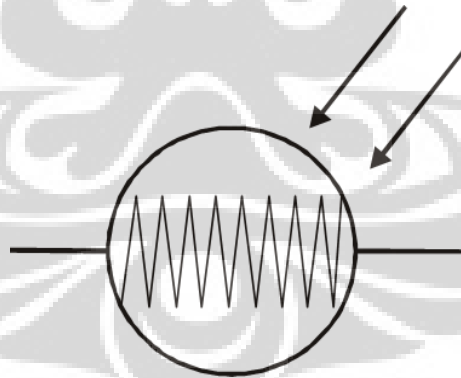
Dipergunakan untuk merekam secara visual kejadian per detik saat proses penyalaan, pembakaran, dan pergerakan asap. Rekaman ini dapat dipergunakan untuk melihat proses apa yang terjadi dan dapat menganalisis apa yang terjadi.

3.1.2.4. *StopWatch*

Untuk mencatat waktu aktivasi alarm dari *smoke detector* yang dihitung dari mulai api dinyalakan dan menghitung opasitas asap setiap waktu pada lokasi yang berbeda sehingga bisa didapatkan kecepatan pergerakan asap pada titik-titik tersebut.

3.1.2.5. Sensor Cahaya berbasis LDR

LDR atau *Light Dependent Resistor* adalah salah satu jenis resistor yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh cahaya yang diterima olehnya. LDR dibuat dari Cadmium Sulfida yang peka terhadap cahaya. Seperti yang telah diketahui bahwa cahaya memiliki dua sifat yang berbeda yaitu sebagai gelombang elektromagnetik dan foton/partikel energi (dualisme cahaya). Saat cahaya menerangi LDR, foton akan menabrak ikatan Cadmium Sulfida dan melepaskan elektron. Semakin besar intensitas cahaya yang datang, semakin banyak elektron yang terlepas dari ikatan. Sehingga hambatan LDR akan turun saat cahaya meneranginya.



Gambar 3.1. Simbol LDR

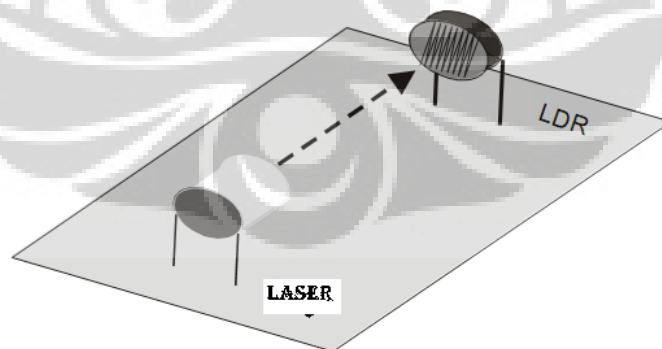
LDR akan mempunyai hambatan yang sangat besar saat tak ada cahaya yang mengenainya (gelap). Dalam kondisi ini hambatan LDR, mampu

Universitas Indonesia

mencapai 1 M ohm. Akan tetapi saat terkena sinar, hambatan LDR akan turun secara drastis hingga nilai beberapa puluh ohm saja. Dalam aplikasi, dianjurkan untuk mengukur nilai R_{max} dan R_{min} dari LDR. Pengukuran R_{max} dilakukan saat LDR berada pada tempat gelap, sebaliknya pengukuran R_{min} dilakukan pada tempat terang.

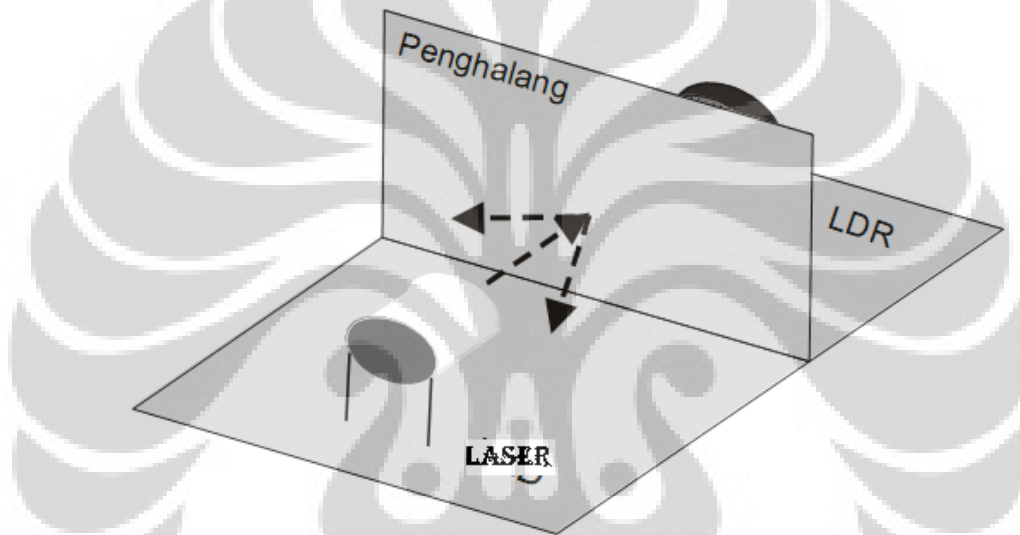
Resistansi LDR berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR sekitar $10M\Omega$ dan dalam keadaan terang sebesar $1K\Omega$ atau kurang. LDR digunakan untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Saklar cahaya otomatis dan alarm pencuri adalah beberapa contoh alat yang menggunakan LDR. Akan tetapi karena responsnya terhadap cahaya cukup lambat, LDR tidak digunakan pada situasi dimana intensitas cahaya berubah secara drastis.

Sesuai dengan rancangan sensor di atas kami mendesain sebuah sensor yang dapat mendeteksi adanya kehadiran asap pada suatu lokasi. Sumber cahaya yang dipakai untuk mengenai permukaan sensor adalah sinar laser dengan jarak 1 meter dari LDR. Penjelasan sebagai berikut, ketika tidak ada asap yang melewati sensor maka cahaya dari sinar laser akan bebas menuju ke LDR sehingga hambatan LDR akan berkurang. Pada kondisi ini *multimeter* akan mengeluarkan tegangan "0 Volt" atau sama dengan logika Low. (Lihat Gambar 3.2)



Gambar 3.2. cahaya laser bebas mengenai LDR

Sebaliknya pada saat terdapat asap yang melintasi sensor maka asap tersebut bertindak sebagai penghalang (Lihat Gambar 3.3). Sehingga intensitas cahaya yang diterima LDR akan berkurang. Hal ini sama saja dengan LDR berada pada tempat yang gelap. Pada kondisi ini *multimeter* akan mengeluarkan tegangan yang lebih tinggi dan nilainya berubah sesuai dengan kepekatan asap yang melintasi sensor. Nilai maksimum voltase yang ditunjukkan oleh *multimeter* adalah “4,5 Volt” atau samadengan logika *High* apabila ketebalan asap mencapai ketebalan yang menyebabkan sinar laser tidak bisa mengenai permukaan sensor.



Gambar 3.3. Asap Sebagai Penghalang Laser Menuju LDR

Saat sinar laser mengenai tepat permukaan sensor maka pembacaan *multimeter* menunjukkan angka 0 volt dan jika sensor ditutup (tidak ada cahaya yang mengenai sensor) maka voltasenya mencapai maksimal. Oleh karena itu alat ini bisa mendeteksi kehadiran asap karena dengan adanya asap maka intensitas cahaya yang diterima oleh sensor pada ruangan uji akan berkurang karena terhalang oleh asap sehingga akan didapatkan perubahan voltase yang dihasilkan.

Karena hasil yang diperoleh dari sensor tersebut berupa voltase maka perlu dilakukan kalibrasi agar hasil pembacaan data yang dihasilkan bisa berbentuk persentase perubahan ketebalan asap (*opacity*) dan perubahan jarak pandang (

Universitas Indonesia

peak). Kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan *cone calorimeter* dan gas analyzer.

3.1.2.6. Cone Calorimeter

Cone calorimeter berfungsi sebagai alat simulasi kebakaran secara parsial pada suatu ruangan [Babrauskas and Peacock, 1992]. Karena menurut Babrauskas, pada awalnya *cone calorimeter* dikembangkan sebagai alat untuk mengukur laju produksi kalor dari produk-produk bangunan agar kontribusi produk-produk bangunan tersebut terhadap kebakaran ruang dapat diramalkan [Tsantaridis, 2003].

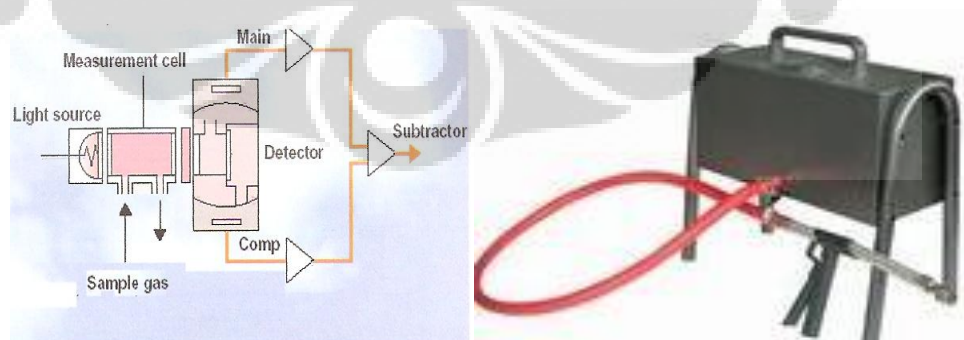
Alat ini diperlukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam menghitung heat release suatu pembakaran bahan bakar. Alat ini juga digunakan dalam kegiatan kalibrasi sensor cahaya. Ada beberapa komponen yaitu exhaust blower, plat orifis, & manometer miring. Sebelum digunakan pastikan bahwa semua peralatan tsb berjalan dengan baik dan tidak ada kerusakan. Dalam mengatur kecepatan *exhaust blower* digunakan frekuensi sebesar 13.3 Hz untuk mendapatkan *flow rate* sesuai standar yang telah ditetapkan ASTM yakni 0.024 m³/s.



Gambar 3.4. Cone Calorimeter, Lab. Pembakaran DTM FTUI

3.1.2.7. Smoke *Opacity* Meter

Dipergunakan untuk mengetahui persentase ketebalan asap dan jarak pandang (*peak*) dari asap yang dihasilkan setiap waktu. Sampel gas dimasukkan kedalam *measurement cell*, *light source* memancarkan sinar, apabila *receiver* menerima sinar secara penuh berarti opasitas 0% dan jika tidak diterima sama sekali berarti opasitas 100%. Alat ini menjadi acuan kalibrasi untuk sensor cahaya berbasis LDR.



Gambar 3.5. Smoke *Opacity* Meter

Universitas Indonesia

3.1.2.8. Busa / *foam*

Untuk mendapatkan data hasil pembakaran dengan tipe smouldering pada percobaan ini digunakan busa dan tempat busa yang berukuran diameter dan massa yang sama dengan ukuran untuk *pool fire* bahan bakar bensin.

3.1.2.9. Timbangan

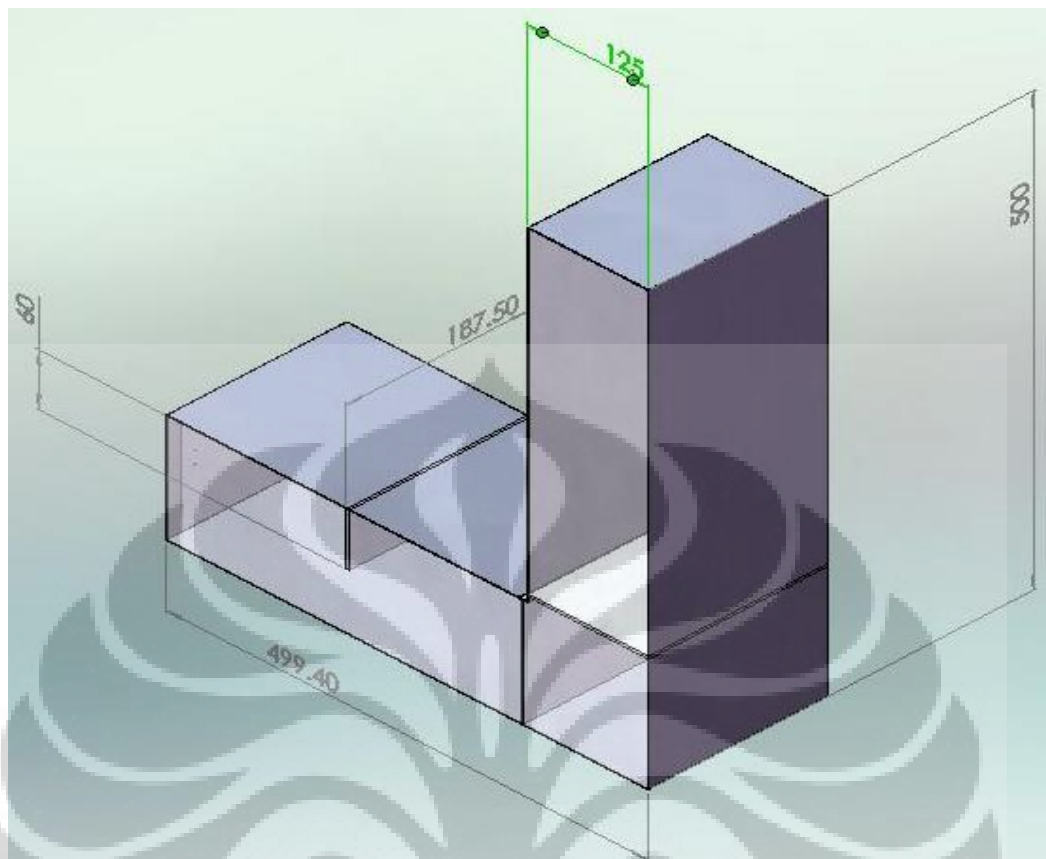
Untuk menimbang busa dan bensin sebelum diambil datanya agar data yang didapat konsisten dan relevan. Dalam menyiapkan timbangan ini yang perlu diperhatikan yaitu timbangan harus diletakkan pada bidang datar & timbangan tidak boleh terkena aliran angin, karena kedua hal tersebut sangat mempengaruhi hasil timbangan. Timbangan ini juga digunakan untuk mengukur laju penurunan massa saat pembakaran *pool fire* dan *foam*.

3.1.2.10. *Heater*

Alat ini digunakan untuk membakar *foam*. agar bara pada *foam* tidak padam dan terus memproduksi asap maka digunakan *heater*.

3.1.2.11. *Design* dan Pembuatan Ruang Uji

Untuk melaksanakan *experiment* laboratorium skala penuh maka dibuat ruangan uji untuk melihat pergerakan asap pada skala penuh. Ruang uji yang dibuat dapat mewakili bentuk ruangan koridor dan apartement seperti pada gambar di bawah:



Gambar 3.6. Ruang Uji Full Scale

Ruangan pengujian tersebut sebagian besar bahan dasarnya terbuat dari seng dan besi, namun di bagian-bagian sisinya terbuat dari mika dengan tujuan agar pergerakan asap dan kondisi dalam ruangan pengujian dapat terlihat saat dilakukan pengujian.

3.1.2.12. *Multimeter*

Multimeter digunakan untuk melihat perubahan voltase yang disebabkan oleh adanya perubahan ketebalan asap.

3.2 Tahap Percobaan dan Pengambilan Data

Seperti yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya bahwa pada penelitian ini akan divalidasikan antara hasil *experiment* dengan hasil simulasi menggunakan FDS. Pembuatan simulasi dengan menggunakan FDS merupakan langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan *experiment*.

3.2.1. Pemodelan / Simulasi dengan 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:

- Geometri
 - P x L x T = 4.5 m x 2.0 m x 4.5 m
 - T coridor = 1.2 m
 - T sekat = 0.9 m
 - Jarak Sekat = 330 cm dan 160 cm
- Material and *Surf Id of Fire Source*
 - Fire Source* = gasoline dan foam
 - Massa bahan bakar = 2 gram
 - Luas penampang bahan bakar = 0,06 m x 0,06 m
- *Smoke Detector*
 - Pada simulasi ini digunakan 13 *smoke detector*

Dalam simulasi ini digunakan 2 variasi jarak sekat terhadap sumber asap untuk melihat perbedaan pergerakan dan akumulasinya. Variasi jarak yang digunakan adalah 330 cm dan 160 cm. Dalam simulasi ini bahan bakar yang

digunakan adalah *foam* dan propane dimana masing-masing bahan bakar tersebut mempunyai material properties yang telah ditentukan dalam FDS. Material properties dari masing-masing bahan bakar yang digunakan dalam kegiatan simulasi ini dapat ditunjukkan pada table sebagai berikut:

Table 3.1. material properties

Material	Specic Heat	Conductivity	Density	Heat Of Reaction	Heat of Combustion	Reference Temperatur
Propane	2.24	0.16	787	880	46112	76 (boiling temp)
<i>Foam</i>	1.0	0.05	40.0	1500	30000	350

Selain material sumber bahan bakar, parameter lain yang ditentukan dalam pembuatan simulasi adalah *smoke detector*. Properties dari smoke detektor 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 *smoke detector* untuk menyebabkan *smoke detector* tersebut aktif biasanya telah di setting saat pembuatan *smoke detector* tersebut, namun nilai persentase *opacity* yang biasa digunakan seagai standar adalah sebesar 3.28%/m.

3.2.2. Prosedur Kalibrasi

Langkah awal yang dilakukan dalam percobaan penelitian tentang *smoke detector* adalah kegiatan kalibrasi. Kegiatan kalibrasi ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor cahaya berbasis LDR dimana *output* dari sensor tersebut

Universitas Indonesia

berupa penurunan atau kenaikan voltase agar dikonversikan ke dalam bentuk persentase *opacity* asap. Pengambilan data kalibrasi alat ini menggunakan poolfire berdiameter 6 cm dengan bahan bakar bensin sebagai sumber api dan asap. Prosedur dalam kalibrasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Alat dan Bahan

- LDR
- Sinar laser
- Bensin
- *Multimeter*
- *Smoke Opacity Meter*
- *Cone calorimeter*

b. Cara Kerja

1. Pasanglah LDR dan sinar laser pada *duct cone calorimeter* yang akan dilalui oleh asap dan aturlah sedemikian hingga sinar laser tepat mengenai permukaan LDR
2. Hubungkan LDR dengan *multimeter* agar perubahan voltase dapat terbaca
3. Hubungkan ujung selang *smoke opacity meter* pada *duct cone calorimeter* agar perubahan ketebalan asap dapat terbaca di layar monitor computer.
4. Hubungkan kabel konektor dari gas analyzer ke computer
5. Tempatkan *pool fire* berdiameter 6 cm bahan bakar bensin dengan massa 2 gram dalam ruang pemakaran
6. Aktifkan gas analyzer bersamaan dengan bahan bakar mulai dibakar dan mulai hitung waktunya
7. Catat perubahan voltase dan *opacity* yang terjadi setiap 10 detik
8. Buat grafik hubungan antara perubahan voltase dan perubahan *opacity*. sehingga didapatkan korelasi antara perubahan voltase dan perubahan *opacity*.

3.2.3 Prosedur Pengambilan Data Respon time dan *opacity* dari photoelektrik *smoke detector* dan ionisasi menggunakan bensin dan *foam* pada jarak yang berbeda.

1. Mengatur jarak sekat sehingga jaraknya 330 cm terhadap sumber asap
2. Tempatkan *smoke detector* tipe ionisasi pada jarak-jarak yang ditentukan pada ceiling, yaitu: 325 cm, 280 cm, 240cm, 195cm, dan 155 cm
3. Atur sedemikian hingga sensor cahaya dapat bekerja dengan baik yaitu dimana sinar laser tepat mengenai permukaan LDR dengan jarak antara sumber cahaya sinar laser ke LDR adalah 1 meter dan menunjukkan voltase minimal pada *multimeter* sehingga sensor cahaya tersebut dapat mendeteksi adanya kehadiran asap.
4. Letakkan sensor cahaya tepat dibawah *smoke detector* untuk mengukur perubahan voltase yang terjadi pada daerah tersebut akibat adanya asap
5. Letakkan *foam* diatas *heater* dan letakkan dalam ruang uji
6. Hitung waktu sesaat setelah *heater* dinyalakan sampai masing-masing *smoke detector* yang telah ditempatkan pada lokasi-lokasi yang ditentkan aktif
7. Catat perubahan voltase yang terjadi pada lokasi-lokasi tersebut saat masing-masing *smoke detector* aktif
8. Mengubah hasil perubahan voltase menjadi persentase *opacity* dengan persamaan yang didapatkan dari hasil kalibrasi yang telah dibuat.
9. Ulangi langkah-langkah diatas dengan menggunakan *smoke detector* tipe photoelektrik
10. Ulangi langkah-langkah yang tersebut pada butir 1 sampai 9 untuk bahan bakar bensin

3.2.4. Prosedur pengambilan data pengaruh sekat terhadap respon time dan konsentrasi asap

1. Mengatur jarak sekat sehingga jaraknya 160 cm terhadap sumber asap dengan ketinggian sekat 90 cm dan 45 cm.
2. Tempatkan *smoke detector* tipe ionisasi pada jarak-jarak yang ditentukan pada ceiling, yaitu: 280 cm dan 155 cm, dan pada wall yaitu: dengan jarak 280 cm dari sumber asap dengan ketinggian 90 cm dan 120 cm dari permukaan lantai, 155 cm dari sumber asap dengan ketinggian 90 cm dan 120 cm.
3. Atur sedemikian hingga sensor cahaya dapat bekerja dengan baik yaitu dimana sinar laser tepat mengenai permukaan LDR dengan jarak antara sumber cahaya sinar laser ke LDR adalah 1 meter dan menunjukkan voltase minimal pada *multimeter* sehingga sensor cahaya tersebut dapat mendeteksi adanya kehadiran asap.
4. Letakkan sensor cahaya tepat dibawah *smoke detector* untuk mengukur perubahan voltase yang terjadi pada daerah tersebut akibat adanya asap
5. Tempatkan 2 gram bahan bakar bensin yang ditempatkan pada tempat berdiameter 6 cm.
6. Hitung waktu sesaat setelah bensin dinyalakan dengan menggunakan ignitor samapi detector yang telah ditempatkan pada lokasi-lokasi yang ditentukan aktif
7. Catat perubahan voltase yang terjadi pada lokasi-lokasi tersebut setiap 10 detik.
8. Catat perubahan voltase yang terjadi pada lokasi-lokasi tersebut saat masing-masing *smoke detector* aktif

9. Mengubah hasil perubahan voltase menjadi persentase *opacity* dengan persamaan yang didapatkan dari hasil kalibrasi yang telah dibuat.
10. Ulangi langkah-langkah diatas saat jarak sekat diubah menjadi 160 cm



BAB 4

HASIL & ANALISIS

Bab ini terbagi menjadi beberapa sub-bab yang telah menjadi batasan masalah dalam penelitian ini, diantaranya :

- 4.1. Analisa Hasil Simulasi Dengan FDS
- 4.2. Analisa Hasil Experiment
 - 4.2.1. Hasil kalibrasi
 - 4.2.2. Pengaruh Sumber bahan bakar
 - 4.2.3. Pengaruh sekat terhadap konsentrasi asap
 - 4.2.4. Pengaruh death zone
- 4.3. Perbandingan data hasil experiment dengan simulasi

4.1. Analisa Hasil Simulasi Menggunakan FDS

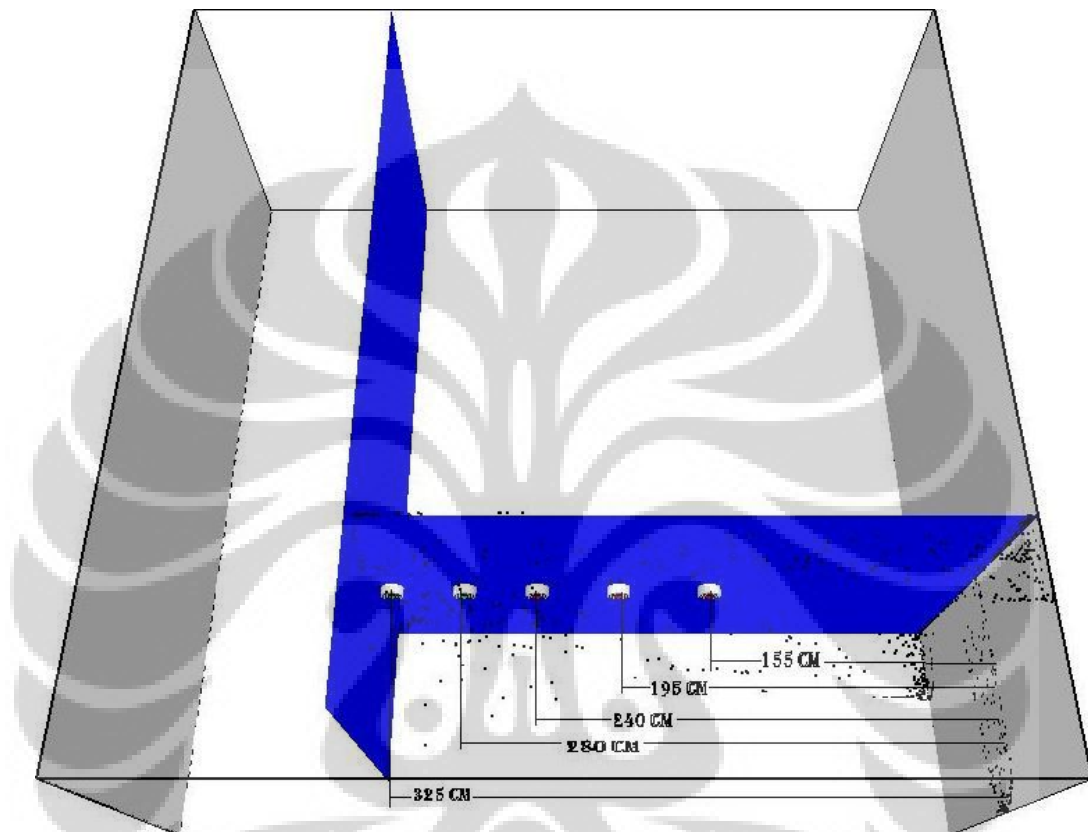
Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, sebelum dilakukan eksperimen kegiatan awal yang dilakukan adalah melakukan simulasi dengan menggunakan FDS. Tujuan utama dari kegiatan simulasi ini adalah untuk memprediksikan karakteristik pergerakan asap yang terjadi dan waktu aktivasi yang dibutuhkan oleh *Smoke Detector* untuk mendeteksi adanya asap sehingga dengan mengacu pada hasil simulasi yang ada dapat diperkirakan hasil eksperimen yang akan dilakukan.

4.1.1. Simulasi Dengan Menggunakan *Pool Fire* Dengan Bahan Bakar *Propane* Dan Bahan Bakar *Foam*

Kegiatan simulasi ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan karakteristik pergerakan asap pada propane dan *Foam* serta pengaruhnya terhadap waktu yang dibutuhkan oleh *Smoke Detector* untuk mendeteksi adanya asap dari bahan bakar yang berbeda. Dalam simulasi ini digunakan masing-masing *Smoke Detector* diletakkan di *ceiling* pada jarak yang berbeda dari sumber bahan bakar yang

diaktifkan dengan menggunakan jarak sekat 330 cm dari sumber asap dan tinggi sekat 120 cm.

Visualisasi dari hasil simulasi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.1. Lokasi *Smoke Detector* Pada Simulasi FDS

Dari Table 4.1 di atas dapat dilihat bahwa *Smoke Detector* mempunyai kemampuan yang berbeda dalam mendeteksi adanya asap, hal ini sangat dipengaruhi oleh jenis bahan yang terbakar. Pada data di atas terlihat bahwa pada saat menggunakan bahan bakar bensin, waktu aktivasi dari *Smoke Detector* lebih cepat dibandingkan saat bahan bakar yang digunakan adalah *Polyurethane Foam* dengan catatan *Smoke Detector* yang digunakan dalam simulasi tidak dibedakan antara jenis *Smoke Detector* tipe *photoelectric* dan tipe *ionization* karena dalam

Universitas Indonesia

FDS *Smoke Detector* tipe *photoelectric* dan tipe *ionization* dianggap sama berdasarkan kalibrasi yang telah ditentukan (UL 217, 2005).

Dari simulasi ini didapatkan data-data sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil Simulasi FDS Dengan Bensin dan *Foam*

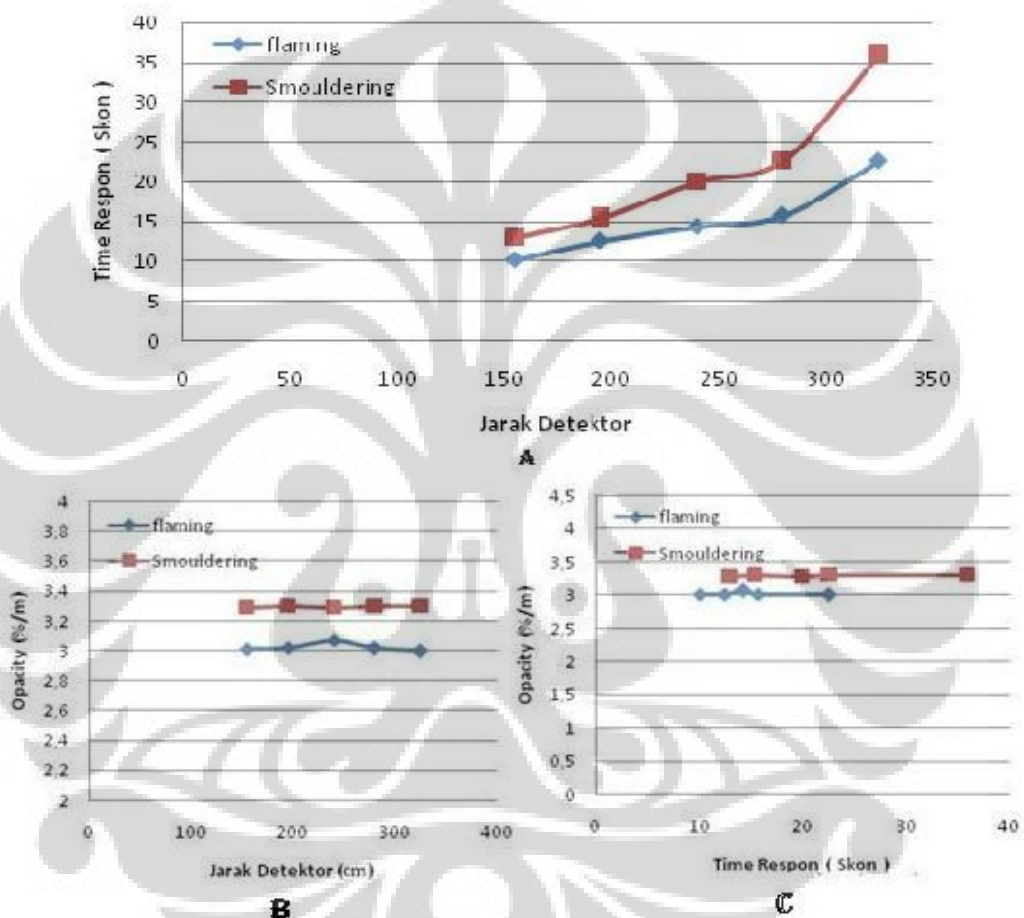
Sumber Asap	Massa (g)	R Detector (cm)	Time responese (s)	OPACITY (%/m)
Bensin (Propane)	2	325	22,65	3,004
Bensin (Propane)	2	280	15,77	3,019
Bensin (Propane)	2	240	14,32	3,07
Bensin (Propane)	2	195	12,55	3,02
Bensin (Propane)	2	155	10,13	3,4
<i>Polyurethane Foam</i>	2	325	36,02	3,3
<i>Polyurethane Foam</i>	2	280	22,65	3,3
<i>Polyurethane Foam</i>	2	240	19,99	3,29
<i>Polyurethane Foam</i>	2	195	15,45	3,3
<i>Polyurethane Foam</i>	2	155	12,97	3,29

Perbedaan waktu aktivasi antara saat menggunakan bahan bakar bensin dan bahan bakar *Polyurethane Foam* pada dasarnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerak partikel asap yang dihasilkan oleh bensin dan *Polyurethane Foam* karena suatu *Smoke Detector* akan merespon adanya asap berdasarkan persentase *opacity* tertentu dari asap yang mencapai *smoke detector*, standar nilai persentase *opacity* yang biasa digunakan adalah sebesar 3,28%/m (NFPA, 2002).

Pergerakan partikel-partikel asap dari bensin lebih cepat dibandingkan pergerakan partikel-partikel asap dari *Polyurethane Foam* sehingga partikel-partikel asap dari bensin lebih cepat mencapai *chamber Smoke Detector* yang menyebabkan waktu aktivasi menggunakan bahan bakar bensin jauh lebih cepat dibanding *Polyurethane Foam*. Dalam pengelompokan jenis pembakaran *Polyurethane Foam* termasuk dalam bagian material yang menyebabkan terjadinya tipe kebakaran jenis *Smouldering* dan bensin merupakan jenis *flaming*.

Universitas Indonesia

Smouldering adalah bentuk kebakaran yang terjadi tanpa adanya nyala api, pergerakannya lambat, dan temperature yang rendah yang disertai dengan perkembangan panas ketika oksigen mengenai permukaan bahan bakar pada fasa kondensasi. Perbedaan mendasar antara pembakaran *Smouldering* dan *flaming* adalah *Smouldering* lebih banyak terjadi pada permukaan padat daripada pada gas. Sehingga dari data-data di atas dapat dibuat hubungan grafik sebaga berikut:



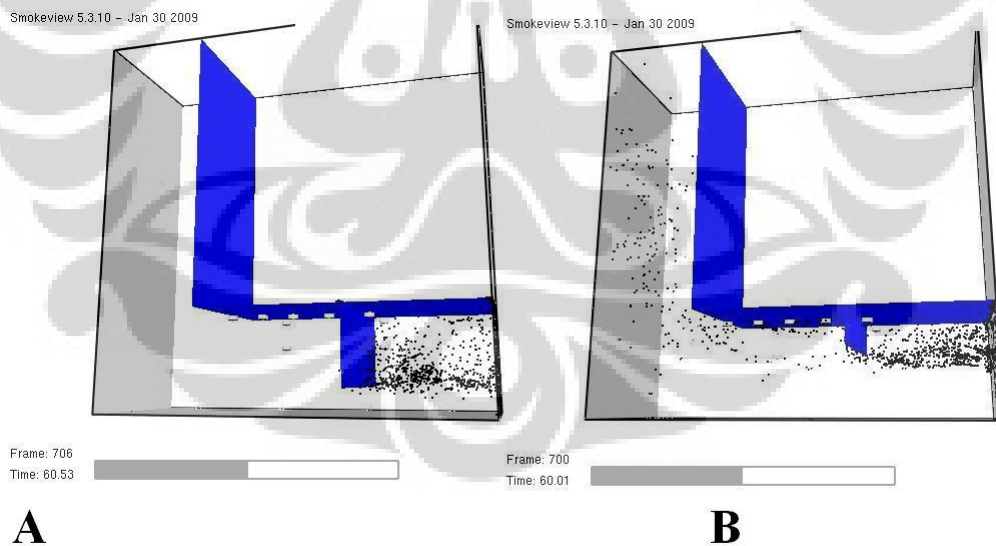
Gambar 4.2. A. Jarak Detektor - *Time response*; B. Jarak Detektor - Persentase *Opacity* Saat Alarm Berbunyi; C. *Time response* - Persentase *Opacity* Saat Alarm Berbunyi

Dari Grafik 4.2 tersebut dapat diketahui bahwa antara variable jarak, waktu aktivasi, dan persentase opasitas saat *smoke* alarm aktif sangat berkaitan satu sama lain. Semakin jauh jarak *Smoke Detector* dari sumber asap maka semakin lama suatu *Smoke Detector* dapat mendeteksi kehadiran asap dan

semakin lama juga mencapai suatu ketebalan asap yang menyebabkan *Smoke Detector* tersebut berbunyi, namun persentase *opacity* asap yang menyebabkan aktifnya smoke alarm selalu tetap yaitu antara 3%/m sampai 4%/m.

4.1.2. Simulasi Menggunakan Poolfire Bahan Bakar Bensin Dengan Konfigurasi Perbedaan Ketinggian Sekat.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada simulasi pergerakan asap ini digunakan dua konfigurasi berdasarkan ketinggian sekat dari sumber api. Variasi ketinggian sekat yang digunakan adalah 45 dan 90 cm dari *ceiling*. Namun, untuk simulasi ini bahan bakar yang digunakan adalah poolfire dengan bahan bakar bensin dengan massa 2 g dan diameter poolfire 6 cm. Perbedaan ketinggian sekat ini digunakan untuk melihat pengaruh adanya sekat terhadap pergerakan asap yang terjadi. Visualisasi dari gambar ruangan uji dengan perbedaan jarak sekat dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



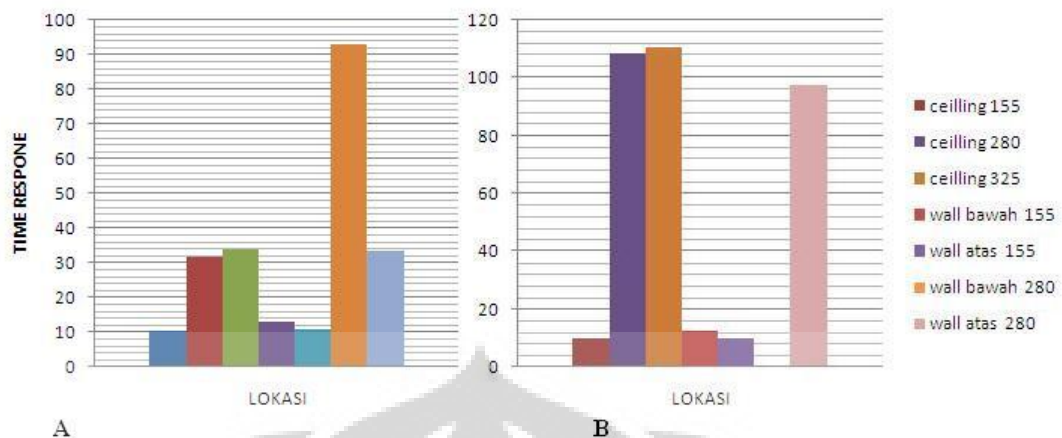
Gambar 4.3. Simulasi pada saat 60 detik. A. Simulasi Dengan Ketinggian Sekat 90 cm; B. Simulasi Dengan Sekat 45 cm

Dari simulasi yang dilakukan di dapatkan hasil data sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil *Time response* dan Persentase Opasitas Asap Dari Simulasi Dengan Sekat 90 cm dan 45 cm

Ketinggian Sekat	Lokasi <i>Smoke Detector</i> (cm)	Posisi	<i>Time response</i> (skon)	Smoke Obscuration (%/m)
90	155 (Tengah)	Ceilling	33	3,38
	280 (Tengah)	Ceilling	49	3,007
	325 (Tengah)	Ceilling	67	3,002
	155 (Samping Kanan)	<i>wall</i> bawah	29.5	3,32
	155 (Samping Kanan)	<i>wall</i> atas	25.6	2,9
	280 (Samping Kanan)	<i>wall</i> bawah	109.3	2,8
	280 (Samping Kanan)	<i>wall</i> atas	47	3,016
	45	155 (Tengah)	Ceilling	10.28
280 (Tengah)		Ceilling	31.57	3,019
325 (Tengah)		Ceilling	33.87	3,004
155 (Samping Kanan)		<i>wall</i> bawah	13.1	2,75
155 (Samping Kanan)		<i>wall</i> atas	10.8	2,84
280 (Samping Kanan)		<i>wall</i> bawah	93.11	3,1
280 (Samping Kanan)		<i>wall</i> atas	33.36	3,005

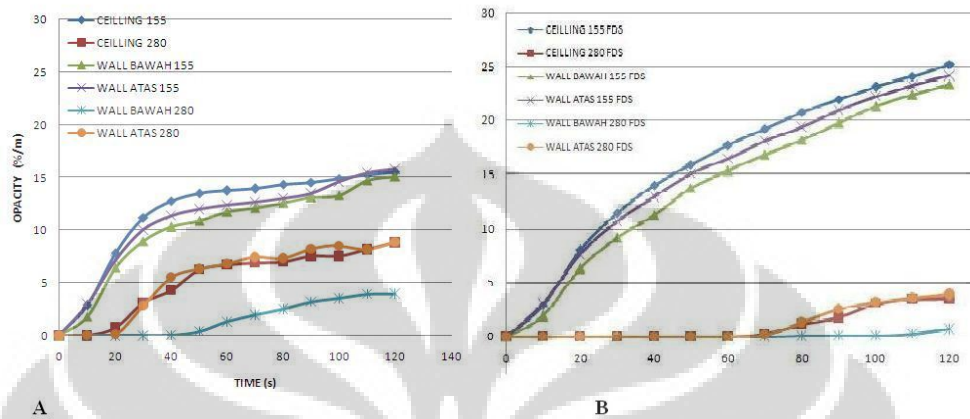
Table 4.2 di atas menunjukkan adanya peredaan *time response* antara 2 konfigurasi ketinggian sekat pada posisi dan lokasi penempatan *Smoke Detector* yang sama. Untuk lebih memudahkan pembacaan maka dari data di atas dapat dibuat diagram sebagai berikut:



Gambar 4.4. A. *Time response* Dengan Ruang Uji Sekat 45 cm; B. *Time response* Detektor dengan Ruang Uji Sekat 90 cm

Gambar 4.4 tersebut menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada pola aliran pergerakan asap dengan sekat 90 cm dan sekat 45 cm. Untuk *Smoke Detector* yang terletak pada jarak 155 cm dari sumber api, tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan antara penggunaan sekat dengan ketinggian 90cm dan sekat dengan ketinggian 45 cm, namun perbedaan *time response* yang sangat signifikan ditunjukkan oleh *smoke detector-Smoke Detector* yang terletak pada jarak 280 cm dari sumber api. Hal ini disebabkan oleh sekat dengan ketinggian 90 cm menjadi penghambat pergerakan asap sehingga asap cenderung terkumpul lebih lama dibanding dengan sekat dengan ketinggian 45 cm sehingga *Smoke Detector* pada jarak 280 ini mempunyai waktu *response* relative lebih lama. Selain itu perbedaan yang sangat terlihat adalah pada *Smoke Detector* dengan jarak 280 bawah tidak dapat merespon asap pada ketinggian sekat 90 cm, sedangkan pada sekat dengan ketinggian 45 cm masih mampu mendeteksi adanya asap walaupun dengan *response time* yang cukup lama. Dengan ketinggian sekat 90 cm menghambat laju pergerakan asap lebih lama dibandingkan dengan ketinggian sekat 45 cm, hal ini perlu diwaspadai terutama pada bangunan-bangunan yang memiliki *obstacle-obstacle* pada langit-langit atapnya.

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa sekat dengan ketinggian 90 cm lebih menghalangi pergerakan asap menuju daerah yang ada di belakang sekat, hal ini dapat ditunjukkan pada grafik *Time – opacity* untuk melihat perbedaan distribusi aliran asap pada penggunaan sekat dengan ketinggian 45 cm dan 90 cm, yaitu:



Gambar 4.5. Pengaruh Waktu Terhadap Persentase Opasitas Asap A). Ketinggian Sekat 45 cm; B). Ketinggian Sekat 90 cm

Dari Gambar 4.5 atas dapat terlihat pola pergerakan asap dengan ketinggian sekat 45 cm dan 90 cm. Pada sekat dengan ketinggian 45 cm terlihat *opacity* yang terbaca pada *Smoke Detector* yang terletak di dalam sekat lebih kecil dibandingkan dengan *Smoke Detector* pada sekat dengan ketinggian 90 cm. hal ini menunjukkan bahwa asap di sekat dengan ketinggian 90 cm lebih banyak terletak di dalam sekat karena terhalangi oleh sekat dengan ketinggian 90 cm sedangkan pada sekat dengan ketinggian 45 cm asap lebih cenderung merata ke belakang sekat. Dan untuk *Smoke Detector* yang terletak diluar sekat untuk sekat dengan ketinggian 90 cm cenderung membaca asap relative rendah dan pada posisi *Smoke Detector* dengan jarak 280 yang terletak di *wall* bawah hanya membaca/mendeteksi sedikit adanya asap, hal ini terjadi karena asap mengumpul di dalam sekat untuk waktu yang relative lama. Untuk sekat dengan ketinggian 45 cm *Smoke Detector* yang terletak diluar sekat masih dapat meresponse adanya asap yang terbentuk. Untuk itu perlu disadari bahwa bangunan-bangunan yang mempunyai *obstacle* di atas 45 cm beresiko lebih tinggi dibanding bangunan-

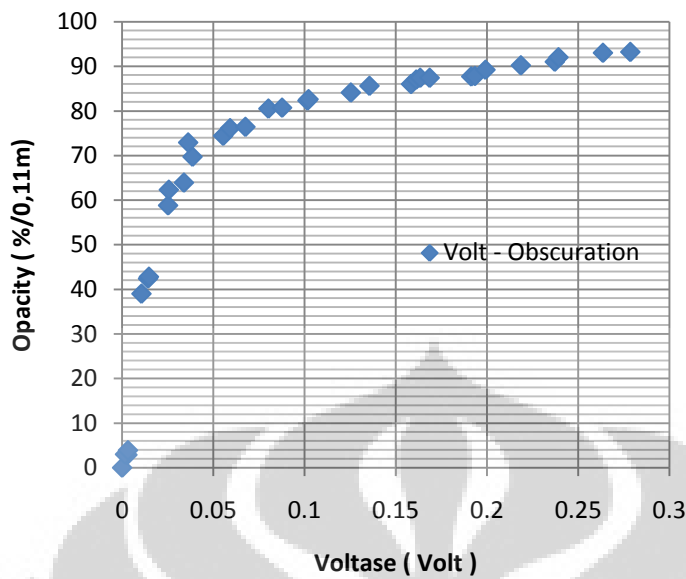
bangunan yang memiliki obstacle lebih rendah dari 45 cm walaupun sama-sama memiliki *Smoke Detector* yang dipasang dengan posisi yang sama.

Dari Gambar 4.5 juga terlihat dengan ketinggian sekat lebih rendah menyebabkan ruangan yang dapat di telusuri asap lebih luas dibandingkan dengan sekat yang lebih tinggi, sehingga konsentrasi asap pada sekat dengan ketinggian 45 cm lebih rendah dibanding dengan konsentrasi asap pada sekat dengan ketinggian 90 cm [“Mechanical Smoke Movement”].

4.2. Hasil Experiment

4.2.1. Hasil Kalibrasi

Kalibrasi merupakan salah satu bagian terpenting dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini kalibrasi yang dilakukan adalah untuk melihat hubungan antara perubahan voltase yang terbaca pada sensor cahaya terhadap perubahan persentase ketebalan asap yang terbaca pada *smoke opacity meter*. Prosedur kalibrasi yang dilakukan dalam penelitian ini telah diuraikan pada bab sebelumnya yaitu tentang metodologi penelitian dan pengambilan data. Pada kegiatan kalibrasi ini didapatkan data hubungan antara perubahan nilai tegangan dan perubahan nilai ketebalan asap yang direpresentasikan pada Gambar 4.6



Gambar 4.6. Grafik hubungan voltase terhadap smoke obscuration/0,11m

Gambar 4.6 di atas menggambarkan trend hubungan antara voltase dan smoke obscuration yang bergerak secara eksponensial. Dari grafik tersebut didapatkan persamaan:

$$Y = Y_0 + Ae^{-x/t} \quad (4.1)$$

Keterangan:

Y = Smoke Obscuration (%/0,11m)

X = Voltase (volt)

$Y_0 = 87,01$

$A = - 89,6$

$t = 0,022$

Persamaan 4.1 masih belum dapat merepresentasikan hasil pengukuran smoke obscuration yang didapatkan dari pengukuran dalam ruangan pengujian karena kalibrasi dilakukan dengan menggunakan *cone calorimeter* yang menggunakan jarak antara sumber cahaya dari sinar laser ke permukaan LDR adalah 0,11 meter, sedangkan dalam ruangan pengujian pengukuran ketebalan asap jarak antara sinar laser ke permukaan LDR yang digunakan adalah 1 meter.

Universitas Indonesia

Oleh karena itu perlu dilakukan pendekatan analisa pengaruh jarak terhadap persentase smoke obscuration dengan pertimbangan dari persamaan yang didapatkan dari hukum Lambert-beer seperti berikut (Drysdale, D.D. 1985):

$$I = I_0 \exp(-\kappa CL) \quad (4.2)$$

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya bahwa dari persamaan 4.2 dapat dihitung persentase kepekatan asap seperti berikut:

$$\frac{I_0 - I}{I_0} \times 100\% \quad (4.3)$$

Dari persamaan 4.2 dan 4.3 dapat diturunkan rumus untuk mencari persentase kepekatan asap dengan persamaan berikut:

$$[1 - \exp(-\kappa CL)] \times 100\% \quad (4.4)$$

Dari persamaan 4.4 dapat terlihat bahwa persentase kepekatan asap merupakan fungsi dari negative eksponensial dari jarak sinar laser ke permukaan LDR (sensor cahaya) dengan asumsi bahwa nilai κ dan C adalah konstan.

Dengan massa bahan bakar yang sama untuk daerah yang mempunyai volume yang berbeda akan mempunyai persentase ketebalan asap yang berbeda pada saat waktu yang sama. Pada saat area yang diukur mempunyai panjang 0,11 meter hasil pengukuran persentase kepekatan asap menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan saat area yang diukur mempunyai panjang 1 meter dengan jumlah massa yang sama karena luas permukaan yang lebih besar menyebabkan asap tidak terkumpul namun menyebar, hal ini menyebabkan persentase kepekatan asap menjadi lebih kecil. Sehingga dari persamaan tersebut dapat dibuat persamaan hubungan antara perubahan voltase terhadap perubahan persentase kepekatan asap per meter (%/m)

$$Y = \left[\frac{\exp(-1)}{\exp(-0,11)} \right] \times [Y_0 + Ae^{-x/t}] \quad (4.5)$$

4.2.1. Pengaruh Jenis Bahan Mampu Bakar Terhadap Respon *Time Smoke Detector*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa terdapat beberapa jenis tipe pembakaran. Secara umum tipe pembakaran tersebut adalah tipe pembakaran jenis *flaming* dan tipe pembakaran jenis *Smouldering*. Untuk melihat pengaruh jenis pembakaran terhadap respon *time Smoke Detector* maka dilakukan experiment dalam ruangan pengujian dengan menggunakan jenis bahan mampu bakar yang dapat menyebabkan tipe pembakaran jenis *flaming* dengan menggunakan pool fire bahan bakar bensin dan bahan yang dapat menyebabkan tipe kebakaran jenis *Smouldering* dengan menggunakan *Polyurethane Foam* dengan menggunakan massa yang tetap.

Percobaan yang dilakukan dengan menggunakan jenis bahan bakar yang berbeda tersebut juga diuji dengan menggunakan tipe *Smoke Detector* yang berbeda yaitu *Smoke Detector* tipe *ionization* dan *Smoke Detector* tipe *photoelectric* yang masing-masing diletakkan di ceiling. Skema alat percobaan dapat dilihat pada bab 3 tentang metodologi pengujian.

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

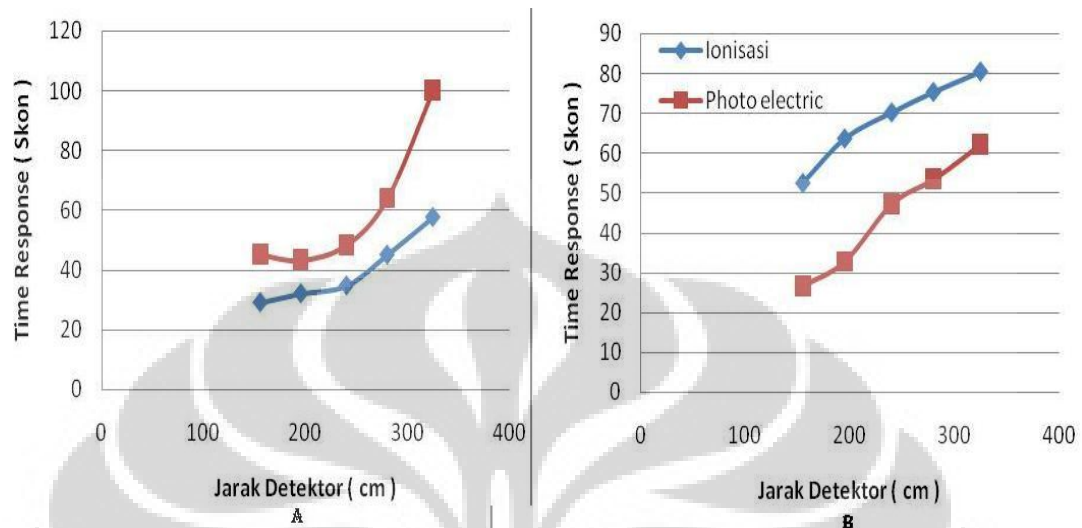
Table 4.3. Hasil Pengukuran *Time response* Dan Persentase Opasitas Dari Jenis *Smoke Detector* dan Bahan Bakar Yang Berbeda

Jarak sekat (cm)	Sumber Asap	Tipe	<i>Smoke detector</i>	Jarak detector (cm)	<i>Time response</i> (s)	Smoke Opacity (%/m)
330	Bensin	<i>Flaming</i>	<i>Ionization</i>	325	57,6	11,29
330	Bensin	<i>Flaming</i>	<i>Ionization</i>	280	45	12,37
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Ionization</i>	240	34,7	11,4
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Ionization</i>	195	32	11,8
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Ionization</i>	155	29	11,17
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Photo electric</i>	325	100,3	15,35
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Photo electric</i>	280	63,9	15,35
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Photo electric</i>	240	48,3	15,26
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Photo electric</i>	195	45,2	15,53
330	Bensin	<i>flaming</i>	<i>Photo electric</i>	155	42,2	15,35
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Ionization</i>	325	80,4	14,4
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Ionization</i>	280	75,3	14,4
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Ionization</i>	240	70,2	13,4
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Ionization</i>	195	63,7	13,2
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Ionization</i>	155	52,6	13,4
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Photo electric</i>	325	62,3	101,5
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Photo electric</i>	280	53,5	9,9
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Photo electric</i>	240	47,3	10,03
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Photo electric</i>	195	32,8	10,03
330	<i>Foam</i>	<i>Smouldering</i>	<i>Photo electric</i>	155	26,6	10,15

Dari tabel di atas dapat terlihat bahwa jenis bahan bakar yang terbakar sangat mempengaruhi *time response* dari *smoke detector*. Tabel di atas menunjukkan hubungan antara jenis bahan bakar, jarak detektor dari sumber api, persentase ketebalan asap pada *Smoke Detector* saat alarm *smoke detector*, dan

Universitas Indonesia

jenis tipe *Smoke Detector* yang digunakan. Hubungan – hubungan antara variabel tersebut akan lebih jelas jika data yang ada direpresentasikan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 4.7. Time response *Smoke Detector* Dari Bahan Bakar Yang Berbeda A). *Flaming*; B). *Smouldering*

Dari Gambar 4.7 di atas dapat terlihat karakteristik pengaruh sumber bahan bakar yang dipakai terhadap *time response* dari jenis *Smoke Detector* yang digunakan. Gambar 4.7 tersebut menunjukkan bahwa untuk jenis pembakaran jenis *flaming* yaitu dengan menggunakan bensin, *time response* dari *Smoke Detector* tipe *ionization* lebih cepat dibanding *time response* *Smoke Detector* tipe *photoelectric* pada jarak yang sama dari sumber api. Dari data yang didapat selisih *time response* dari *Smoke Detector* tipe *ionization* dan *Smoke Detector* *photoelectric* sangat besar. Dari percobaan yang dilakukan untuk *Smoke Detector* yang terletak di *ceiling* pada jarak 325 cm dari sumber api, *Smoke Detector* tipe *ionization* merespon adanya asap pada detik ke 62,3 sedangkan *Smoke Detector* tipe *photoelectric* merespon adanya asap pada detik ke 101,5.

Untuk jenis pembakaran jenis *Smouldering* yaitu dengan menggunakan bahan bakar dari *Polyurethane Foam* hasil yang didapatkan sesuai dengan grafik B (Gambar 4.7) menunjukkan bahwa respon *time* dari *Smoke Detector* tipe *photoelectric* lebih cepat dibandingkan *Smoke Detector* tipe *ionization* untuk

Universitas Indonesia

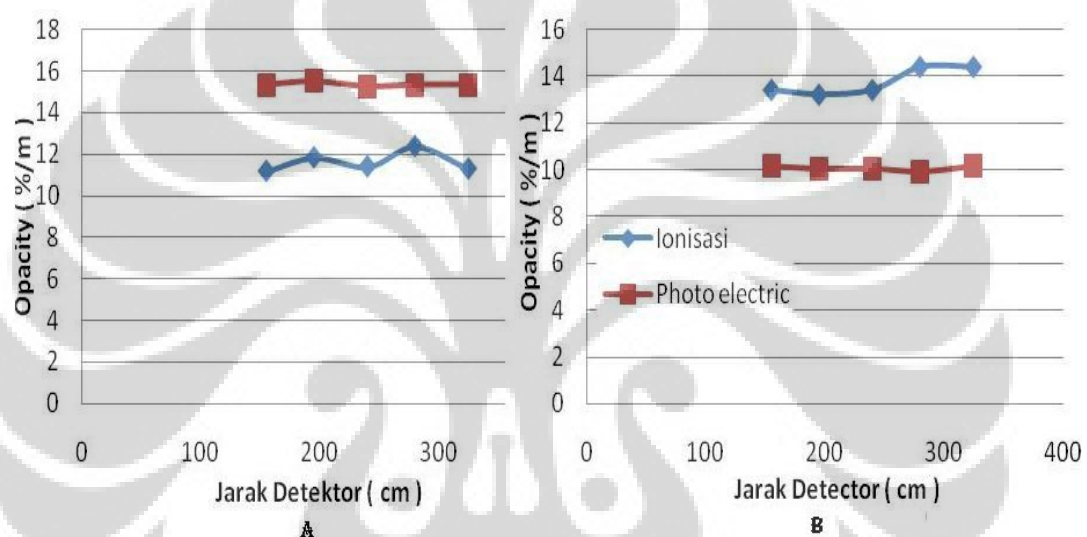
penempatan masing-masing *Smoke Detector* pada jarak yang sama dari sumber api. Dari data yang didapatkan dari hasil percobaan diambil satu sampel untuk mengidentifikasi perbedaan *time response* antara *Smoke Detector* tipe *ionization* dan *Smoke Detector* tipe *photoelectric* yaitu pada *Smoke Detector* yang terletak pada jarak 325 cm dari sumber api. Pada jarak tersebut dengan menggunakan bahan bakar *Polyurethane Foam Smoke Detector* tipe *photoelectric* merespon adanya asap pada detik ke 62,3 sedangkan *Smoke Detector* tipe *ionization* pada detik ke 80,4. Percobaan yang sama juga pernah dilakukan oleh Joseph. Su, dkk pada tahun 2003 dengan menggunakan skala yang lebih besar yaitu menggunakan bahan-bahan yang umum terdapat dalam lingkungan rumah dan mengelompokkan bahan-bahan tersebut menjadi dua jenis yaitu bahan-bahan yang bisa menyebabkan kebakaran jenis *flaming* yang menimbulkan nyala api dan bahan-bahan yang bisa menyebabkan kebakaran jenis *Smouldering*. Dari percobaan tersebut menunjukkan bahwa *Smoke Detector* tipe *ionization* lebih reaktif terhadap partikel-partikel yang dihasilkan oleh kebakaran tipe nyala (*flaming fire*), sedangkan *Smoke Detector* tipe *photoelectric* lebih reaktif terhadap partikel-partikel yang dihasilkan oleh kebakaran tanpa nyala (*Smouldering fire*). Perbedaan sensitifitas dari masing-masing tipe *Smoke Detector* yang berbeda tersebut terhadap jenis partikel asap yang dihasilkan oleh jenis kebakaran yang berbeda disebabkan oleh teknologi yang digunakan dan prinsip pendeteksian dari *Smoke Detector* tersebut. Pendeteksian cara *ionization* lebih bereaksi terhadap partikel yang tidak kelihatan (ukuran lebih kecil dari 1 mikron) yang diproduksi oleh kebanyakan nyala kebakaran, reaksinya agak lebih rendah terhadap partikel yang lebih besar dari kebanyakan api tanpa nyala sedangkan deteksi pancaran cahaya foto-elektrik 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. (SNI 03-3985-2000)

Selain factor pemilihan tipe *Smoke Detector* yang tepat dalam instalasi *smoke detector*, factor penting yang juga harus diperhatikan adalah jarak *Smoke*

Universitas Indonesia

Detector dari sumber api. Dari grafik-grafik di atas terlihat bahwa jarak mempunyai hubungan yang linear terhadap *time response*, semakin jauh jarak detektor dari sumber api semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh *Smoke Detector* untuk merespon adanya asap.

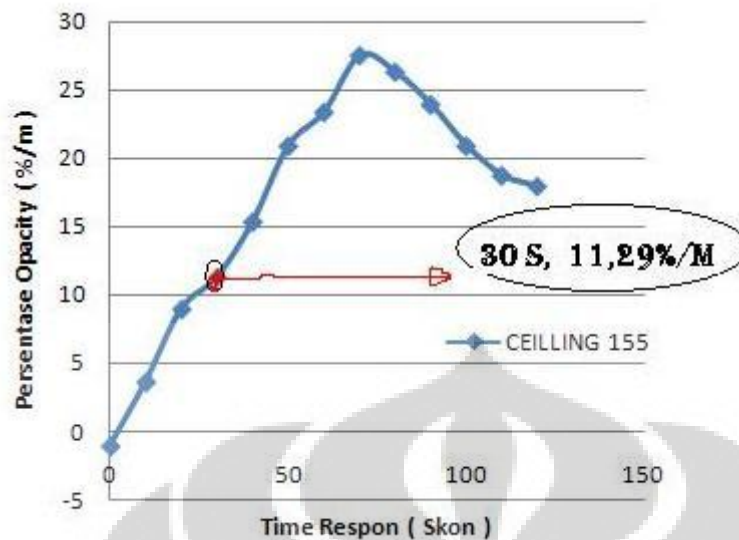
Dari data hasil percobaan dapat diketahui bahwa *Smoke Detector* membutuhkan persentase ketebalan asap tertentu untuk merespon adanya asap sehingga alarm aktif. Persentase ketebalan asap minimal yang dibutuhkan oleh masing-masing tipe *Smoke Detector* untuk merespon adanya asap dari percobaan yang dilakukan dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.8. Persentase Opasitas *Smoke Detector* Tipe *Ionization* dan *Photoelectric* Hasil Experiment A). *Flaming* ; B). *Smouldering*

Dari grafik A (Gambar 4.8) yaitu pada kondisi kebakaran jenis *flaming*, untuk *Smoke Detector* persentase *opacity* minimal yang terukur saat alarm *Smoke Detector* tipe *ionization* berbunyi adalah sekitar 11%/m sampai 12%/m sedangkan untuk *Smoke Detector* tipe *photoelectric* persentase *opacity* yang terukur saat alarm *Smoke Detector* mulai berbunyi adalah sebesar $\pm 15\%/m$. Selain itu dari grafik B juga dapat dilihat persentase *opacity* yang terukur untuk masing-masing tipe *Smoke Detector* pada saat alarm berbunyi. Dari grafik B tersebut dapat terlihat bahwa pada kondisi pembakaran dengan jenis *Smouldering* persentase

opacity yang terukur pada *Smoke Detector* saat alarm berbunyi adalah sekitar 13%/m sampai 14%/m untuk *Smoke Detector* tipe *ionization* dan 9%/m sampai 10%/m untuk *Smoke Detector* tipe *photoelectric*. Perbedaan hasil pengukuran persentase *opacity* tersebut menunjukkan perbedaan sensitifitas dari masing-masing tipe *Smoke Detector* yang digunakan. Perbedaan sensitifitas tersebut disebabkan karena pengukuran persentase *opacity* dilakukan di luar area *Smoke Detector* sehingga persentase *opacity* yang terukur merupakan fungsi dari *time response* dari masing-masing tipe *Smoke Detector* yang digunakan. Misalkan pada saat partikel-partikel asap yang digunakan berasal dari produk pembakaran jenis *flaming* maka respon *time* *Smoke Detector* tipe *ionization* akan lebih cepat dibandingkan *Smoke Detector* tipe *photoelectric* pada lokasi yang sama. Karena lokasi pengukuran dilakukan pada tempat yang sama tentu saja untuk *Smoke Detector* yang mempunyai respon *time* lebih lama akan menghasilkan persentase *opacity* yang lebih besar selama bahan yang dibakar belum habis, begitu juga saat bahan bakar yang digunakan berasal dari bahan yang dapat menyebabkan tipe pembakaran jenis *Smouldering*, karena *Smoke Detector* tipe *photoelectric* mempunyai sensitifitas yang lebih besar terhadap partikel-partikel yang dihasilkan dari pembakaran jenis *Smouldering* sehingga persentase *opacity* yang terukur saat alarm berbunyi lebih kecil dibandingkan dengan *Smoke Detector* tipe *ionization*, hubungan antara *time* dan persentase *opacity* dapat direpresentasikan pada grafik dibawah ini:



Gambar 4.9. Perubahan Persentase Opasitas Terhadap Waktu

Gambar 4.9 merupakan salah satu hasil pengukuran yang menunjukkan hubungan waktu terhadap persentase *opacity* dimana *Smoke Detector* ditempatkan pada jarak 155 cm dar sumber api. Dari grafik tersebut terdapat tanda merah yang menunjukkan waktu saat *Smoke Detector* berbunyi dan persentase *opacity* yang terukur. Dengan memperhatikan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu *time response* yang dibutuhkan maka persentase *opacity* yang terukur akan semakin besar. Meskipun grafik tersebut diambil dari pembakaran jenis *flaming* dengan menggunakan *Smoke Detector* tipe *ionization* namun pergerakan grafik seperti tersebut diatas juga berlaku untuk *Smoke Detector* tipe *photoelectric* dan pembakaran tipe *Smouldering*.

4.2.3. Pengaruh Penggunaan Sekat Dan Lokasi Penempatan *Smoke detector*

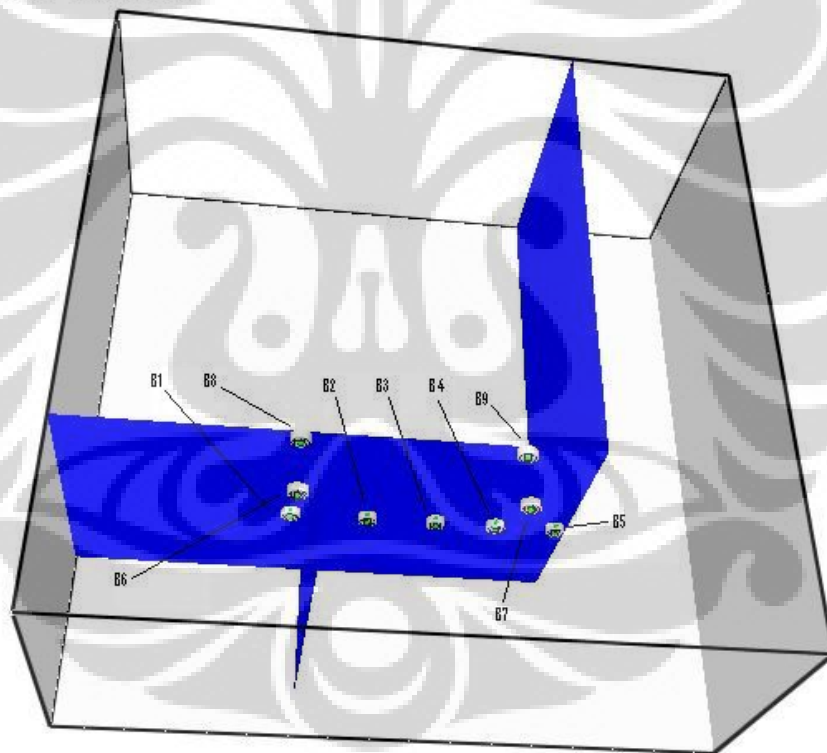
Pada percobaan yang dilakukan, variasi ketinggian sekat yang digunakan adalah 45 cm dan 90 cm dengan sumber api sebagai acuan. Pada percobaan ini hanya digunakan 6 unit *Smoke Detector* tipe *ionization*. Percobaan ini dibagi dalam dua tahap pengambilan data, yaitu penagmbilan data pengaruh waktu terhadap kenaikan persentase *opacity* dengan menggunakan ketinggian sekat 45

cm dan pengambilan data pengaruh waktu terhadap kenaikan persentase *opacity* dengan menggunakan ketinggian sekat 90 cm.

4.2.3.1. Data Persentase *Opacity* Dengan Sekat 90 Cm

Pada percobaan ini hanya *Smoke Detector* yang digunakan untuk diambil datanya yaitu dengan ketentuan 3 *Smoke Detector* yang terletak di depan sekat (1 *Smoke Detector* di *ceiling* dan 2 *Smoke Detector* yang lain ditempatkn di *wall* dengan ketinggian yang berbeda). Skema percobaan tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Smokeyview 5.3.10 - Jan 30 2009



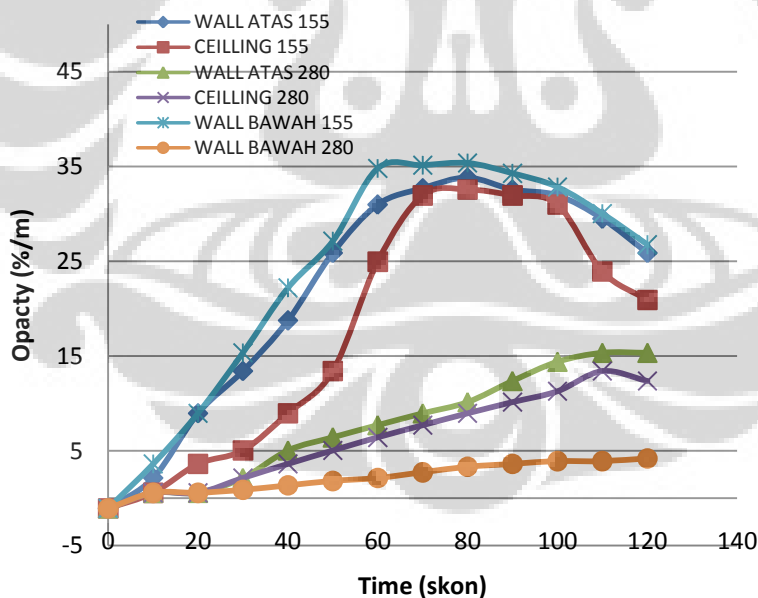
Gambar 4.10. Skema Lokasi Penempatan *Smoke Detector* Dengan Ketinggian Sekat 90 cm

Masing-masing *Smoke Detector* yang digunakan dalam pengujian diberikan identitas berupa nomer. Pada gambar diatas terdapat 9 *Smoke Detector* tipe

ionization, namun yang dipakai dalam pengujian untuk melihat pengaruh sekat hanya 6 *smoke detector*, yaitu:

1. B1: *Smoke Detector* pada *ceiling* dengan jarak 155 cm dari sumber api
2. B4: *Smoke Detector* pada *ceiling* dengan jarak 280 cm dari sumber api
3. B6: *Smoke Detector* pada *wall* dengan jarak 155 cm dari sumber api dengan ketinggian 90 cm dari lantai
4. B7: *Smoke Detector* pada *wall* dengan jarak 280 cm dari sumber api dengan ketinggian 90 cm dari lantai
5. B8: *Smoke Detector* pada *wall* dengan jarak 155 cm dari sumber api dengan ketinggian 120 cm dari lantai
6. B9: *Smoke Detector* pada *wall* dengan jarak 280 cm dari sumber api dengan ketinggian 120 cm dari lantai

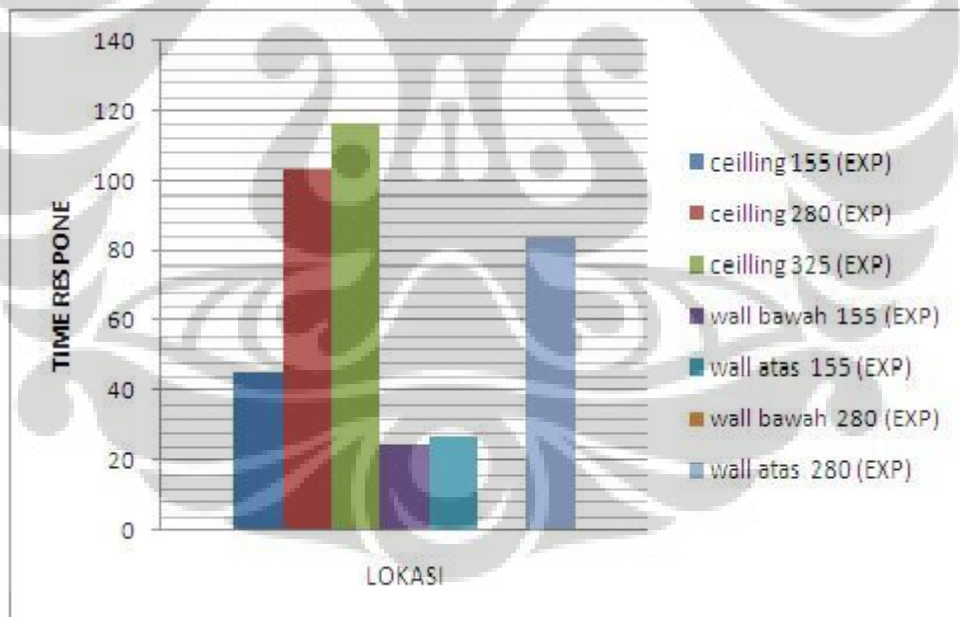
Dari hasil pengukuran yang didapatkan dapat dilihat hubungan antara perubahan persentase *opacity* terhadap waktu yang direpresentasikan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 4.11. Perubahan Persentase Opasitas Terhadap Waktu Pada Ruang Uji Dengan Ketinggian Sekat 160 cm

Dari Gambar 4.11 dapat terlihat hubungan persentase *opacity* terhadap waktu. Gambar 4.11 menunjukkan pada daerah di depan sekat yaitu pada daerah yang terletak pada jarak 155 cm dari sekat menunjukkan perubahan persentase *opacity* yang sangat cepat dibandingkan pada daerah yang terletak di belakang sekat. Hal ini karena adanya sekat menghalangi asap untuk bergerak sehingga partikel-partikel asap hanya mengumpul pada area tersebut sampai selang waktu tertentu sehingga menyebabkan pergerakan pertumbuhan asap pada daerah di depan sekat dan di belakang sekat sangat jauh.

Grafik hubungan persentase *opacity* terhadap waktu juga dapat menggambarkan selisih perbedaan *time response* dari lokasi-lokasi penempatan *Smoke Detector* yang ditentukan. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa pada percobaan dengan menggunakan ketinggian sekat 90 cm *Smoke Detector* yang pertama kali merespon adanya asap adalah *Smoke Detector* yang terletak pada lokasi *wall atas*. Urutan respon *time* dari masing-masing *Smoke Detector* dapat dilihat dari diagram berikut:

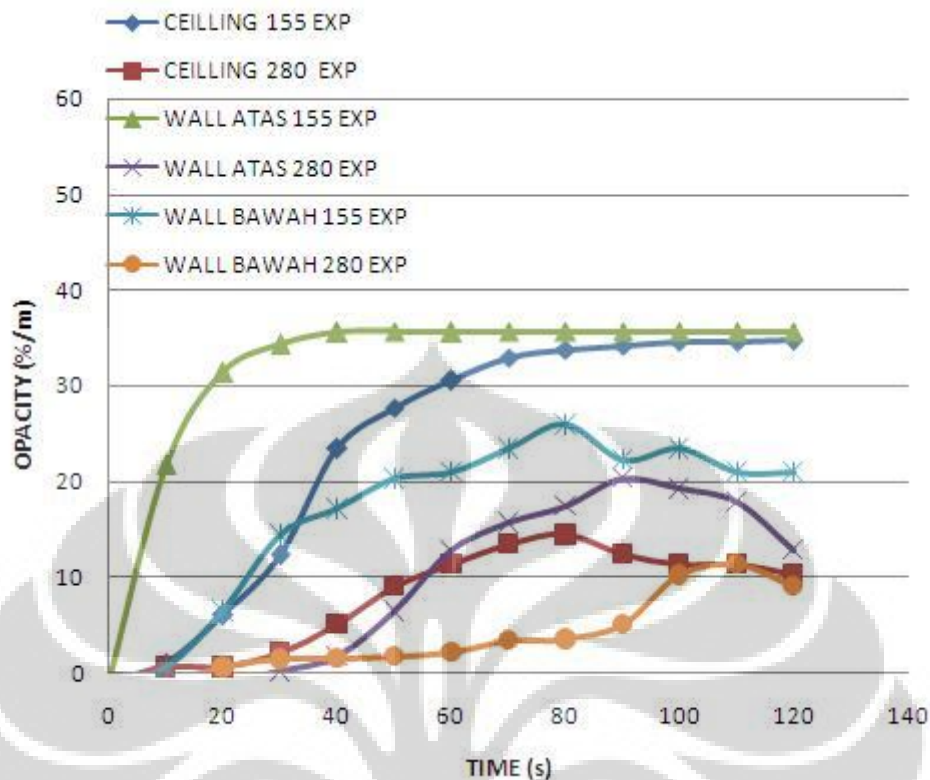


Gambar 4.12. Pengaruh Lokasi *Smoke Detector* Terhadap *Time response* Dengan Ketinggian Sekat 90 cm

Dari Gambar 4.12 terlihat bahwa *time response Smoke Detector* yang paling cepat adalah yang ditempatkan pada *wall* yang berjarak 155 cm dari sumber api dengan ketinggian 90 cm dari lantai (*wall* bawah), sedangkan respon *time* paling lambat ditunjukkan oleh *Smoke Detector* yang berada pada lokasi *ceiling* dengan jarak 325 cm dari sumber api dengan selisih waktu ± 91 detik. Dari percobaan yang didapat dengan menggunakan ketinggian sekat 90 cm terdapat satu *Smoke Detector* yang tidak merespon adanya asap yaitu *Smoke Detector* yang ada pada lokasi *wall* yang berjarak 280 cm dari sumber api dengan ketinggian 90 cm dari lantai. Hal ini disebabkan oleh massa bahan bakar yang digunakan saat experiment kecil sehingga saat bahan bakar telah habis, partikel-partikel asap belum mencapai *Smoke Detector* pada lokasi tersebut. Pada daerah penempatan *Smoke Detector* yang sama yaitu pada area yang berjarak 155 cm dari sumber asap terlihat bahwa penempatan *Smoke Detector* di *wall* lebih efektif dibandingkan penempatan *Smoke Detector* di *ceiling* dengan selisih *time response* ± 24 detik dengan catatan harus memperhatikan ketinggian pemasangan *Smoke Detector* dari lantai. Ketinggian yang direkomendasikan untuk pemasangan detektor adalah antara 10cm – 30 cm dari atap bangunan [NFPA 72-2007].

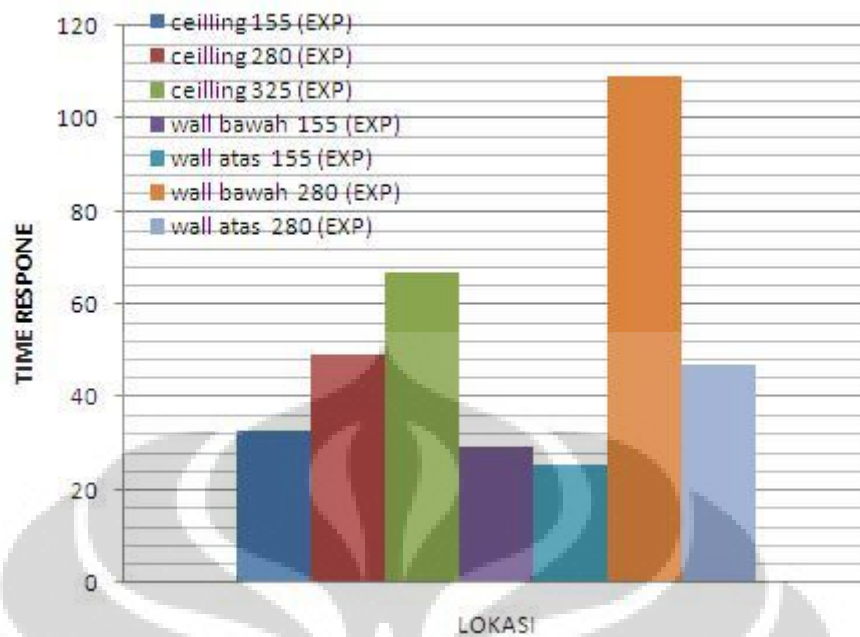
4.3.2. Data Persentase *Opacity* Dengan ketinggian Sekat 45 cm

Pada percobaan dengan menggunakan ketinggian sekat 45 cm, prosedur yang digunakan dalam pengambilan data sama saat percobaan dengan menggunakan sekat dengan ketinggian 90 cm, namun ketinggian sekat yang digunakan diubah menjadi 45 cm dari *ceiling*. Di bawah ini adalah grafik pengaruh waktu terhadap kecepatan perubahan persentase asap yang didapatkan dari hasil experiment dengan menggunakan sekat dengan ketinggian 45 cm.



Gambar 4.13. Perubahan Persentase Opasitas Asap Terhadap Waktu Dengan Ketinggian Sekat 45 cm

Dari Gambar 4.13 dapat terlihat adanya perbedaan pola gerakan asap dengan ketinggian 45 cm dan saat ketinggian sekat 90 cm. Berbeda dengan pola aliran asap dengan ketinggian sekat 90 cm, pada Gambar 4.14 memperlihatkan pola aliran asap yang sedikit terhambat oleh sekat dengan ketinggian 45 cm, hal ini dapat dilihat bahwa *Smoke Detector ceiling* 280 mulai meningkat opactynya pada deetik ke 40an, *Smoke Detector wall* aas 280 pada detik 50an, dan *Smoke Detector wall* bawah 280 pada detik ke 90an. Hal ini terjadi karena sekkat yang diletakan pada jarak 160 cm dari sumber api memiliki peran menghalangi asap untuk dapat langsung mengalir ke jarak yang lebih jauh. Asapa berkumpul untuk beberapa saat yang menyebabkan *Smoke Detector ceiling*, *wall* atas dan *wall* bawah 155 membaca *opacity* yang lebih tinggi dan mulai dari detik-detik awal.



Gambar 4.14. Pengaruh Lokasi *Smoke Detector* Terhadap *Time response* Dengan Ketinggian Sekat 45 cm

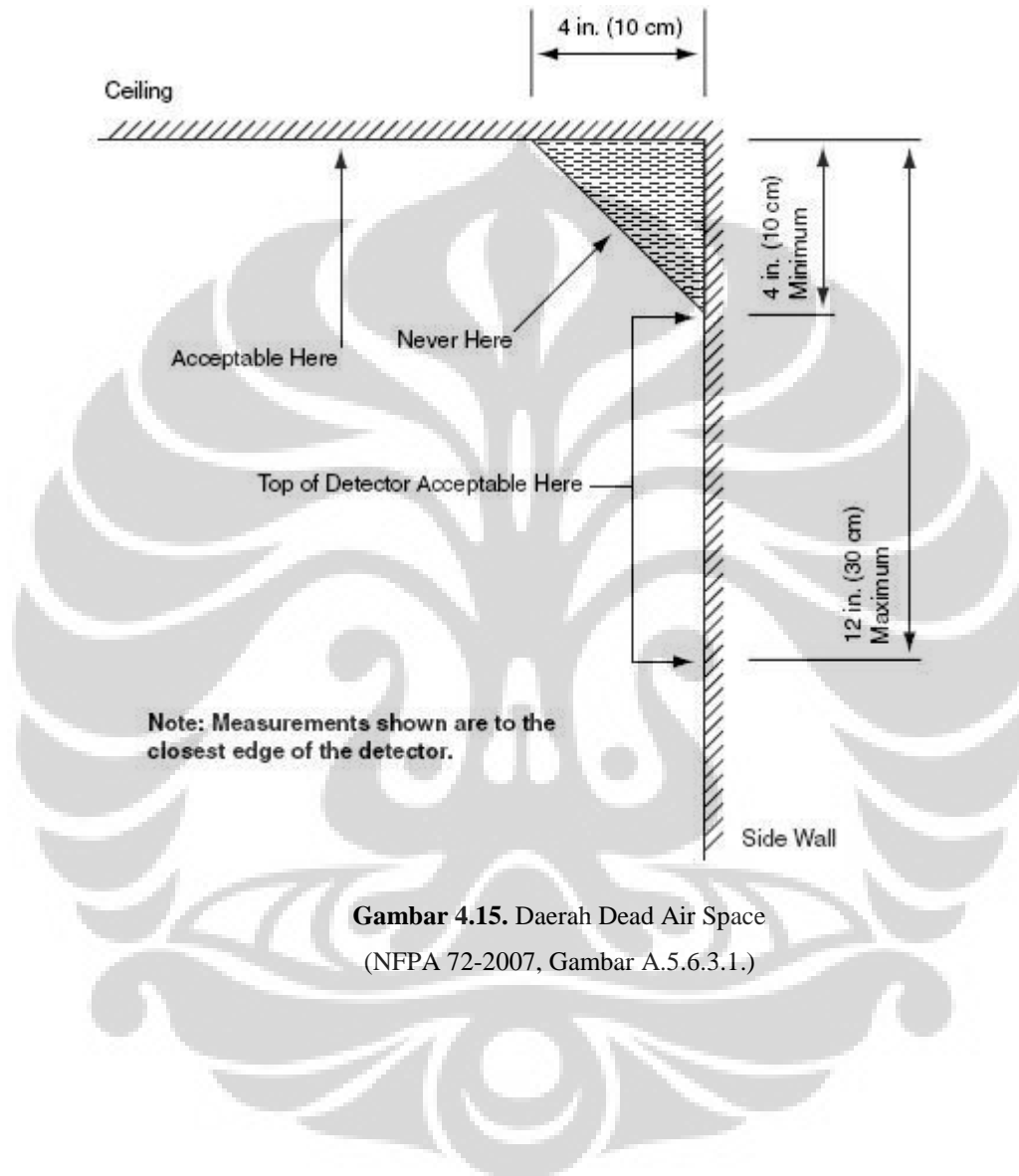
Pada Gambar 4.14 dapat diketahui pola urutan waktu *response* dari *Smoke Detector* menyerupai dengan ketinggian sekat 90 cm, hanya saja *Smoke Detector* pada ketinggian sekat 90 cm yang terletak di *wall* bawah 280 tidak merespon adanya asap (Gambar 4.11) *Smoke Detector* yang diletakan pada area death zone atau tempat yang tidak disarankan penempatannya [NFPA, 72-2007] memiliki waktu *response* yang lebih cepat di banding dengan *Smoke Detector* yang dilatekan pada daerah rekomendasi.

4.2.4. Pengaruh Death Zone

Dalam penelitian kali ini juga ingin melihat pengaruh death zone (dead air space) terhadap *response* dari *smoke detector*, dimana death zone adalah daerah yang sulit dijangkau oleh asap dan tempat yang tidak disarankan untuk meletakan *Smoke Detector* [Joseph Z. Su* and George P. Crampton]. Terlihat bahwa area

Universitas Indonesia

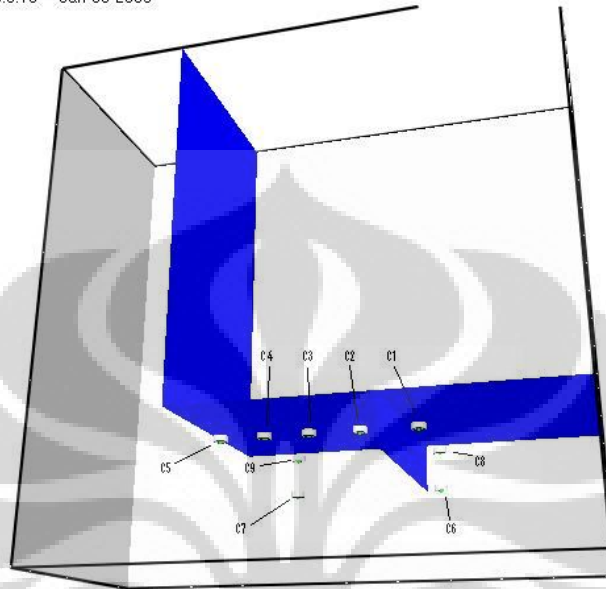
death zone terletak 4 in (10cm) dari sudut pertemuan antara *ceiling* dan *wall* dan peletakan *Smoke Detector* disarankan tidak lebih rendah dari 12 in atau 30 cm dari *ceiling*. [NFPA 72-2007, Gambar A.5.6.3.1]



Gambar 4.15. Daerah Dead Air Space
(NFPA 72-2007, Gambar A.5.6.3.1.)

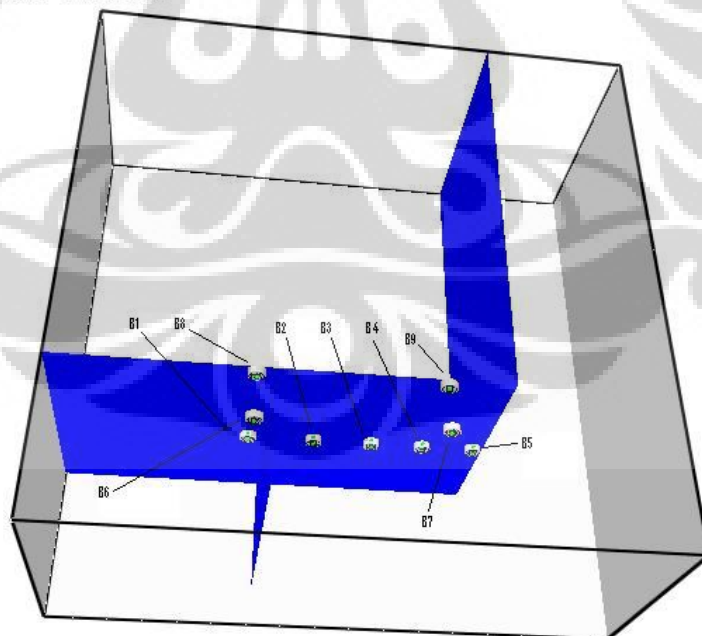
Berikut ini adalah gambar dari skema lokasi-lokasi penempatan *Smoke Detector* yang digunakan saat melakukan experiment:

Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009



Gambar 4.16. Skema Experiment *Smoke Detector* Ketinggian Sekat 45 cm

Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009



Gambar 4.17. Skema Experiment *Smoke Detector* Ketinggian Sekat 90 cm

Universitas Indonesia

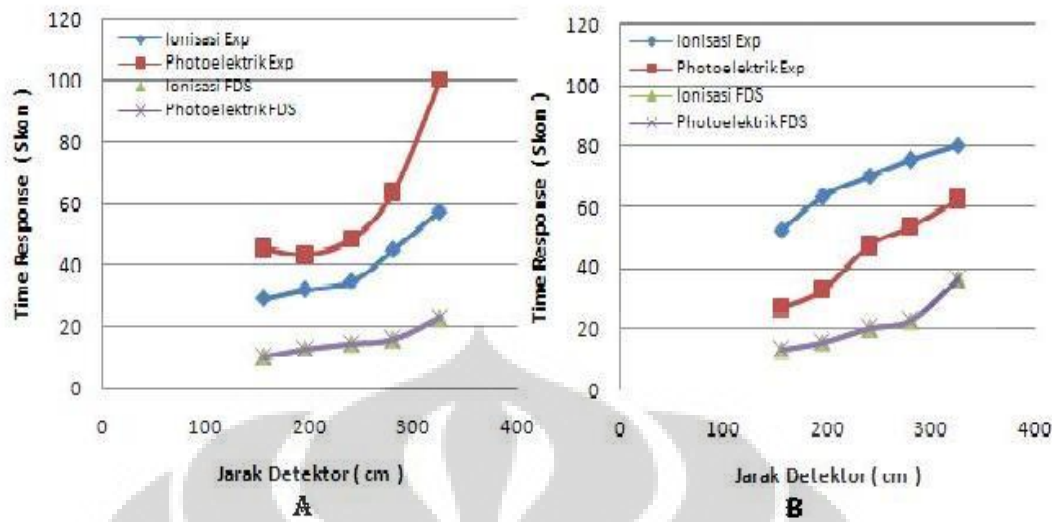
Dari pengertian area death zone tersebut maka dalam percobaan yang dilakukan dapat diidentifikasi *Smoke Detector* yang diletakan di dalam dan di luar death zone, *Smoke Detector* yang berada dalam death zone yaitu C5, C8, C9, B1, B8, dan B9. Hampir dari semua *Smoke Detector* yang diletakan pada area dead air space memiliki *response time* yang lebih cepat di bandingkan pada *Smoke Detector* yang berada pada area *recommended*, hal ini juga dinyatakan oleh Joseph Z. Su dkk pada penelitiannya yang berjudul “An Experimental Examination of Dead Air Space for Smoke Alarm”. Pada jarak horizontal yang sama dengan sumber api C8 memiliki *response time* sebesar 25.6 detik sedangkan C1 yang dalam hal ini terletak pada posisi *recommended* memiliki *response time* sebesar 33 detik, hal ini terjadi juga antara B1 dan B6, B4 dan B9. Kejadian ini tak hanya terjadi pada proses eksperimen, tetapi juga terjadi pada proses simulasi oleh FDS.

4.3. Perbandingan Hasil FDS Dan Experiment

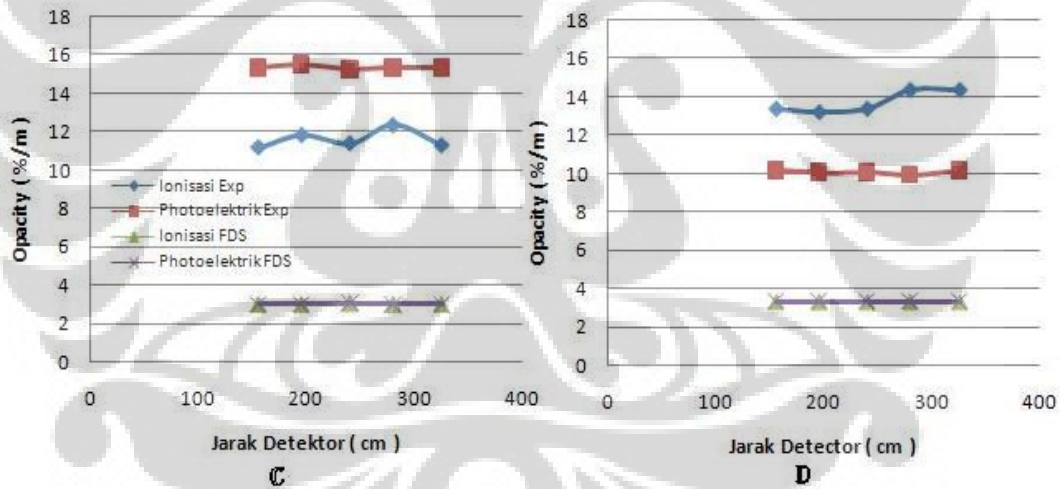
Untuk melihat seberapa besar kesesuaian antara hasil yang didapatkan dari FDS dan experiment maka perlu dilakukan analisa perbandingan hasil dari keduanya. Variable-variabel yang akan dijadikan perbandingan antara FDS dan experiment adalah sebagai berikut:

4.3.1. Jarak Terhadap *Time response* Dengan Menggunakan Bahan Bakar Dan Tipe *Smoke Detector* Yang Berbeda

Untuk melihat perbandingan *time response* dari penggunaan bahan bakar dan *Smoke Detector* yang berbeda pada jarak yang telah ditentukan, dapat menggunakan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.18. Time response Smoke Detector Hasil FDS dan Experiment A). Flaming; B). Smouldering



Gambar 4.19. Pengaruh Penggunaan Smoke Detector Tipe Ionization dan Photoelectric Terhadap Persentase Opasitas Smoke Detector Dari Hasil FDS dan Experiment C). Flaming D). Smouldering

Dari pada Gambar 4.19A menunjukkan bahwa *time response* yang dibutuhkan oleh *Smoke Detector* dari hasil simulasi jauh lebih kecil dibandingkan pada hasil experiment dengan perbedaan waktu rata-rata 23 detik pada pengukuran dengan varias jarak yang sama. Dari gambar 1 dan 2 juga dapat

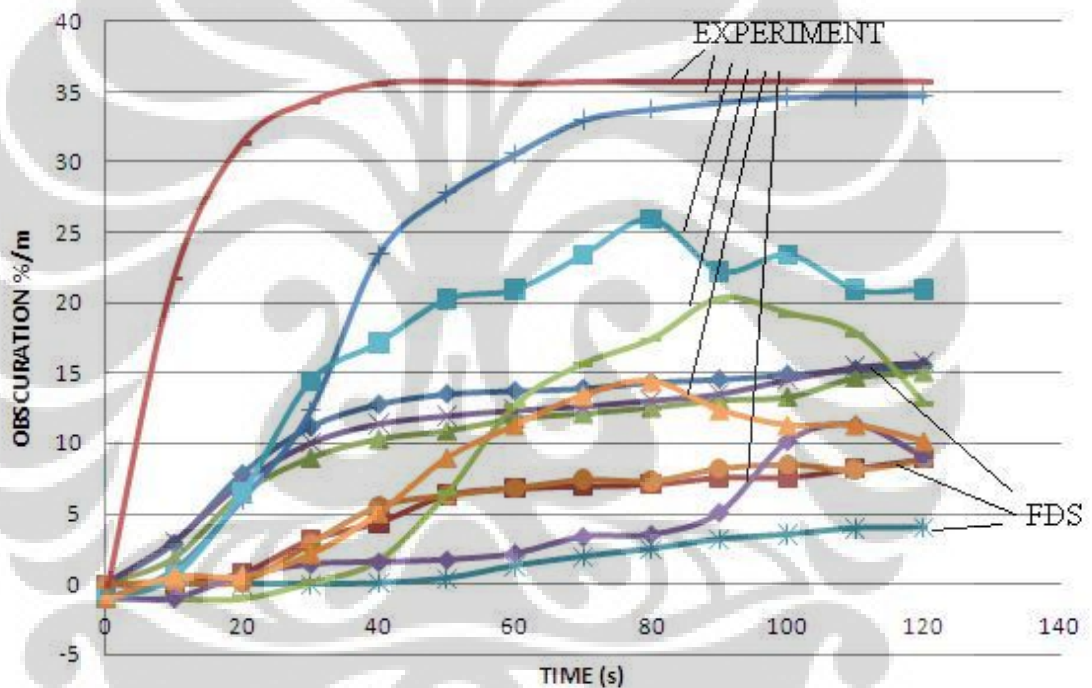
terlihat tipe *Smoke Detector* yang digunakan tidak mempunyai pengaruh terhadap *time response* yang dibutuhkan dan persentase opasitas saat *Smoke Detector* berbunyi, karena dalam simulasi FDS *Smoke Detector* yang digunakan tidak dibedakan antara *Smoke Detector* jenis *ionization* dan *Smoke Detector* jenis *photoelectric*.



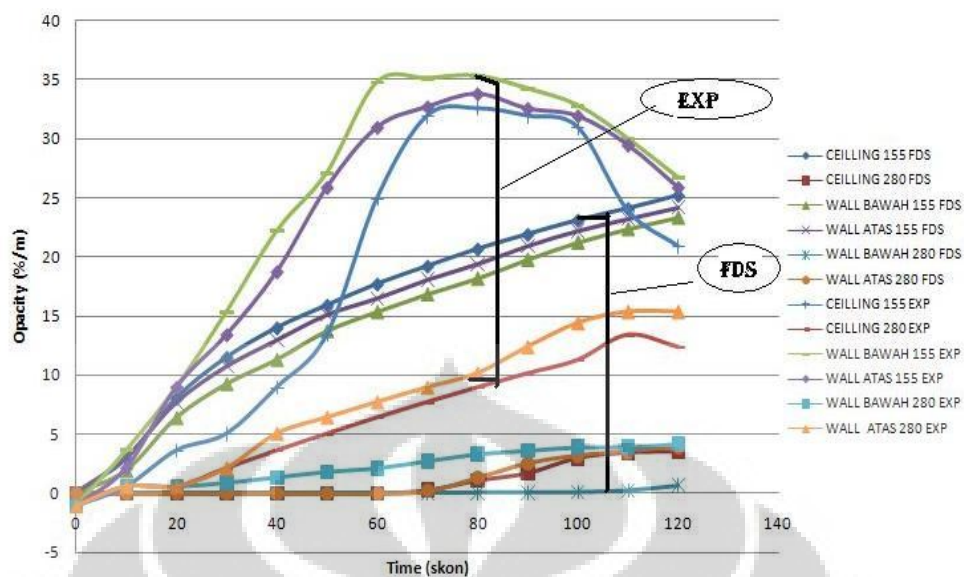
Universitas Indonesia

4.3.2. Perbandingan *Time response* Dari Pengaruh Sekat Dan Lokasi Penempatan Smoke Detector

Untuk melihat pengaruh sekat terhadap respon *time* dan perubahan persentase *opacity* telah dilakukan percobaan dan simulasi yang telah dibahas pada subbab sebelumnya. Dari hasil tersebut dapat terlihat perbandingan antara *time response* dan persentase pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan antar hasil yang didapat dari simulasi menggunakan FDS dan experiment. Hal ini dapat digambarkan pada grafik berikut ini:



Gambar 4.20. Perbandingan Perubahan Persentase Opasitas Asap Terhadap Waktu Hasil Simulasi Dan Experiment Dengan Ketinggian Sekat 45 Cm

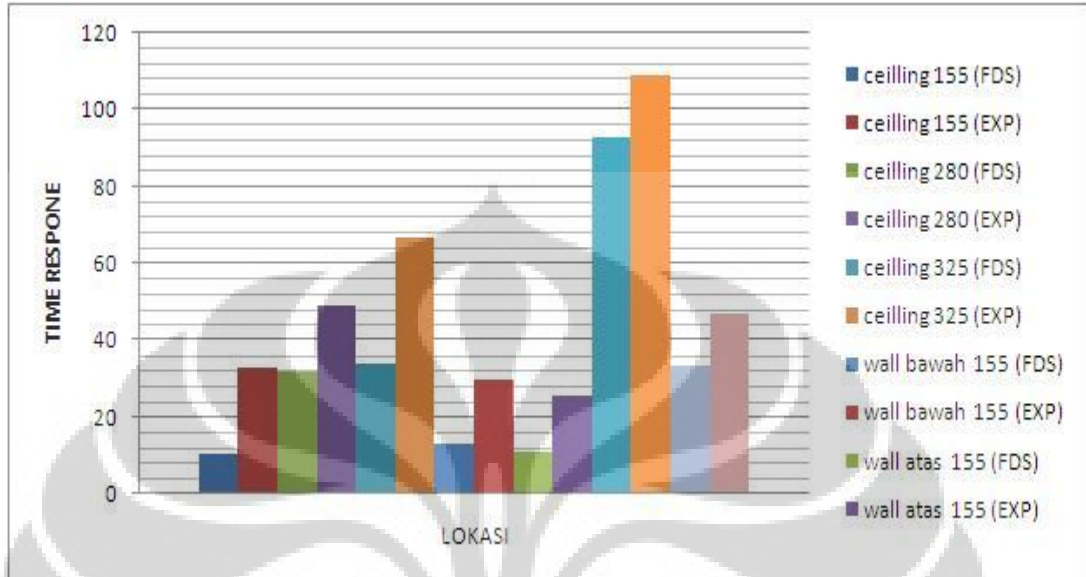


Gambar 4.21. Perbandingan Pengaruh Perubahan Persentase Opasitas Asap Terhadap Waktu Hasil FDS dan Experiment Dengan Ketinggian Sekat 90 cm

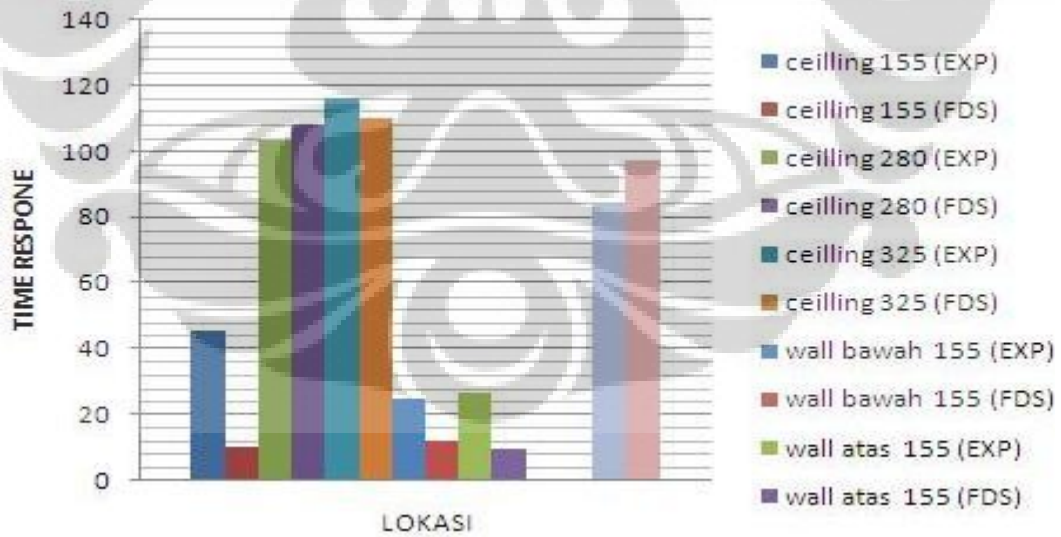
Pada Gambar 4.20 dan 4.21 terlihat bahwa perubahan persentase *opacity* yang terukur pada lokasi-lokasi *Smoke Detector* yang telah ditentukan dari hasil experiment jauh lebih besar dibandingkan perubahan *opacity* yang didapat dari hasil simulasi FDS pada jarak dan lokasi yang sama, namun bukan berarti *time response* dari *Smoke Detector* dari hasil experiment lebih cepat dibandingkan *time response* dari *Smoke Detector* dari hasil simulasi karena dari hasil experiment yang didapat nilai persentase *opacity* yang terukur adalah sebesar 11%/m – 12%/m sedangkan dari hasil simulasi nilai persentase *opacity* yang terukur saat *Smoke Detector* berbunyi adalah 2,9%/m – 3,3%/m baik pada saat ketinggian sekat yang digunakan adalah 45 cm maupun 90 cm. Dari hasil yang didapatkan dari simulasi dan experiment menunjukkan bahwa *time response* *Smoke Detector* dari hasil experiment relative lebih lama dibandingkan *time response* *Smoke Detector* dalam simulasi pada kondisi jarak dan lokasi yang sama. Hal ini cukup beralasan karena dari grafik diatas dapat terlihat bahwa variable waktu berbanding lurus terhadap perubahan persentase opasitas asap selama bahan bakar yang digunakan masih ada sehingga pada experiment untuk mencapai persentase opasitas asap 11% - 12% membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan smulasi yang

Universitas Indonesia

hanya membutuhkan persentase asap pengaktifan sebesar 2,9%/m – 3,3%/m. *Time response Smoke Detector* dari lokasi penempatan yang berbeda yang didapatkan dari hasil experiment dan FDS direpresentasikan pada diagram batang berikut:



Gambar 4.22. Perbandingan *Time response* Hasil FDS Dan Experiment Dengan Sekat 45 cm



Gambar 4.23. Perbandingan *Time response* Hasil FDS dan Experiment Dengan Sekat 90 cm

Dari Gambar 4.22 dan 4.23 terlihat perbedaan urutan respon *time Smoke Detector* yang disebabkan oleh perbedaan pola aliran asap dari hasil experiment dan dari hasil simulasi menggunakan FDS. Dalam experiment pola aliran asap bergerak dari *wall* bawah menuju *wall* atas kemudian menuju *ceiling*, kecuali pada ruangan yang berada diluar sekat, pada daerah ini *Smoke Detector* yang terletak di *wall* dengan jarak 280 cm dan ketinggian 120 cm dari permukaan lantai tidak merespon adanya asap saat ketinggian sekat yang digunakan 90 cm. Perbedaan pola aliran asap antara hasil simulasi dengan experiment terutama disebabkan oleh pengaruh arah angin karena simulasi yang dilakukan dengan FDS diasumsikan ruangan yang digunakan tertutup dan tidak ada pengaruh angin sementara experiment dilakukan pada ruangan yang masih terdapat pengaruh angin.

Ketinggian sekat ini dapat diibaratkan sebagai pintu yang terbuka dan tertutup dalam penelitian yang dilakukan Joseph Z. Su dkk pada penelitiannya yang berjudul “An Experimental Examination of Dead Air Space for Smoke Alarm”. Pintu dan sekat ini sangat mempengaruhi pergerakan dari asap dan juga tentunya sangat mempengaruhi dari *response time smoke detector*, agar penempatan *Smoke Detector* dapat berfungsi secara optimal.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Sensitifitas dari masing-masing smoke detektor sangat dipengaruhi oleh jenis bahan yang terbakar,
2. Smoke detektor tipe ionisasi lebih reaktif terhadap partikel-partikel yang dihasilkan oleh kebakaran bentuk flaming, yaitu kebakaran yang menghasilkan nyala api dan menghasilkan asap berwarna hitam.
3. Smoke detektor tipe photoelektrik lebih reaktif terhadap partikel-partikel yang dihasilkan oleh kebakaran bentuk smouldering, yaitu suatu kebakaran tanpa nyala api dengan laju pembakaran yang lambat dan biasanya asap yang dihasilkan berwarna putih.
4. Laju pembakaran bensin lebih cepat dibandingkan dengan laju pembakaran polyurethane foam, namun asap yang dihasilkan oleh polyurethane foam lebih banyak.
5. Smoke detektor akan merespon adanya asap saat partikel-partikel asap yang memasuki daerah sensor smoke detektor telah mencapai persentase opasitas tertentu, dari hasil experiment persentase opasitas yang terukur saat alarm smoke detektor berbunyi adalah 11%/m – 12%/m. sedangkan hasil simulasi menunjukkan pengukuran sebesar 2,9%/m sampai 3,2%/m.
6. Tidak semua area yang termasuk ke dalam dead air space merupakan area yang tidak dapat dilalui oleh asap, karena dari hasil percobaan dan simulasi menunjukkan smoke detektor yang ada pada lokasi tersebut memberkan respon time yang lbih cepat.
7. Sekat pada suatu ruangan menyebabkan aliran asap terhalang dan cenderung mengumpul pada area tersebut sampai delay waktu tertentu.
8. Penempatan smoke detektor di dinding lebih efektif dibanding penempatan di langit-langit dengan pertimbangan karakteristik pergerakan asap dari experiment dan simulasi.
9. Simulasi kebakaran dengan menggunakan FDS sangat cocok untuk menggamarkan kondisi kebakaran pada ruangan yang tertutup, namun

kurang tepat jika dipakai untuk memodelkan kebakaran pada suatu ruangan yang terbuka.



Universitas Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

1. Bukowski RW, Peacock RD, Averill JD, Cleary TG, Bryner NP, Walton WD, RenekePA, Kuligowski ED. (2003). "Performance of home smoke alarms analysis of the response of several available technologies in residential fire settings". National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST Technical Note 1455, December 2003 (revised March 2006)
2. CAN/ULC-S553-M86. (1995). "Standard for the Installation of Smoke-Alarms," Underwriters' Laboratories of Canada, Toronto, ON, Canada.
3. CAN/ULC-S531-M87, (1995) "Standard for Smoke-Alarms," Underwriters' Laboratories of Canada, Toronto, ON, Canada, Edition, pp. 1-86.
4. Drysdale, Dougal. (2003). "An Introduction to Fire Dynamics Second Edition," John Wiley & Sons Ltd, England.
5. Grattan, K., Baum, H., Rehm, R., Hostikka, S., dan Floyd, J. (2007, October 30). "Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide," Baltimore, Maryland, USA.
6. Mulholland, GW. (2002). "Smoke Production and Properties, Chapter 13, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering," 3rd Edition, pp. 2-258 –2-268.
7. National Building Code of Canada. (1995). "Canadian Commission on Building and Fire Codes," National Research Council of Canada, Ottawa.
8. NFPA 72. (2007). National fire alarm code. National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, Edition 12.
9. Nugroho, Y.S. (2007, 4-6 December 2007). "On the Measurement of Smoke Production Rate of Tropical Wood," Proceeding The 10th International Conference on Quality in Research (QIR).

10. Saputra, A., Nugroho, YS., and Sugiarto, B. (2007, December). "Fire Safety Improvement of Rumah Toko Building by Smoke Shaft Systems," *Jurnal Teknologi*, Ed. No. 4 Thn. XXI, 247-255.
11. Su JZ, Crampton GP, Carpenter DW, McCartney C, Leroux P. (2003). *Kemano fire studies—Part 1: "response of residential smoke alarms."* Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, Ottawa, ON, Canada, Research Report 108.
<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/rr/rr108/>
12. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition. (2002).
13. Tsantaridis, Lazaros. (2003). "Reaction to fire performance of wood and other building products – Cone Calorimeter results and analysis." Doctoral Thesis, Sweden.
14. Wang YA. (2007). "Study of smoke movement in multi-storey buildings using experiments and computer modeling," Master thesis, Carleton University.
15. Zhang, W., Olenick, S.M., Klassen, M.S., Carpenter, D.J., Roby, R.J., and Torero, J.L. (2008). "A smoke detector activation algorithm for large eddy simulation fire modelling," *Fire Safety Journal* 43, 96-107.