



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENENTUAN KRITERIA BAHAYA KEBAKARAN MELALUI  
EVALUASI CITRA HASIL PEMODELAN ASAP**

**SKRIPSI**

**Guruh Dharsono  
0806330144**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENENTUAN KRITERIA BAHAYA KEBAKARAN MELALUI  
EVALUASI CITRA HASIL PEMODELAN ASAP**

**SKRIPSI**

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

**Guruh Dharsono  
0806330144**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JANUARI 2012**

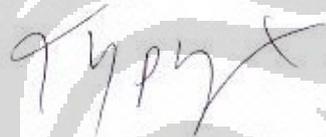
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Guruh Dharsono

NPM : 0806330144

Tanda Tangan :



Tanggal : 20 Januari 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Guruh Dharsono

NPM : 0806330144

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi :

### PENENTUAN KRITERIA BAHAYA KEBAKARAN MELALUI EVALUASI CITRA HASIL PEMODELAN ASAP

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

#### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D

Penguji : Prof. Dr. Ir. I Made Kartika Dhiputra, Dipl-Ing

Penguji : Dr. Ir. H. Danardono A.S, DEA

Penguji : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng

Penguji : Dr. Agus S. Pamitran, ST., M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Januari 2012

## UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

رَبِّ الْعَالَمِينَ , Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah

SWT atas limpahan rahmat dan nikmat iman yang telah diberikan. Sholawat dan salam tak lupa saya panjatkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa kita kepada suatu risalah tauhid yang sempurna. Sehingga dengan rahmat dari Allah SWT dan petunjuk risalah Nabi SAW, saya dapat menyelesaikan dengan baik skripsi yang berjudul:

### **PENENTUAN KRITERIA BAHAYA KEBAKARAN MELALUI EVALUASI CITRA HASIL PEMODELAN ASAP**

Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari jika tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, akan sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu, atas tercapainya usaha dan kerja keras ini, penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Dra. Maryani dan Aiptu Lopiyo Seknun, yang telah banyak mengasuh dan memberikan semangat sampai ke jenjang yang tinggi ini.
2. Pembimbing penulis, Prof. Ir. Yulianto S Nugroho, M.Sc., Ph.D, yang telah banyak menyediakan waktu luang, masukan, ide, saran, dan kritiknya untuk banyak berdiskusi pada penelitian ini.
3. Para Dosen, terutama penguji sidang skripsi, dan Guru penulis dari mulai SD sampai SMA yang telah banyak memberikan dukungan, pengajaran, waktu diskusi, saran dan kritiknya terhadap penulis untuk penelitian ini.

4. Keluarga penulis, baik dari Keluarga Besar Seknun dan Keluarga Bpk.H. Sujai bin Zaenan, yang juga tak lupa memberikan semangat dan tidak bisa disebutkan satu persatu di kata pengantar ini.
5. Para staf DTM seperti Pak Syarif dan Mas Yasin yang telah membantu penulis dalam penelitian ini.
6. Revaldo Ilfesta Metzi Zen S.Si.,( M.kom), Hendra Gunawan S. ST, Hendar Kusnandar ST.,(MT), Eric Gunawan (ST), M Agung Santoso (ST.,MT), Fakhrurozi ST, Tri Cahyo Wibowo ST sebagai teman satu pembimbing penulis yang telah banyak membantu. Dan tidak lupa teman – teman satu kossan Hardono Subroto (ST), Saeful Sulun (ST), mas Hamdani P (ST), Ahmad Faqih (ST) dan Fasri Hatomi (ST), serta teman – teman satu angkatan mesin 2008 yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang tidak lupa tetep memberikan semangatnya terhadap penulis.
7. Seluruh Keluarga Besar Universitas Indonesia yang telah banyak mendukung penulis

Akhir kata, penulis mohon maaf karena di dalam penulisan skripsi ini pasti akan ada kesalahan dalam menulis dan kesulitan membaca dan memahami bagi pembacanya. Untuk itu, Penulis sangat berharap agar ada saran dan kritiknya terhadap penulis agar karya tulis ini akan sangat bermanfaat kedepanya bagi peneliti selanjutnya yang melanjutkan topik atau kegiatan yang sama pada penelitian yang selanjutnya.

Depok, 20 Januari 2011  
Penulis

**Guruh Dharsono**

NPM: 0806 330 144

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

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

Nama : Guruh Dharsono  
NPM : 08062330144  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**PENENTUAN KRITERIA BAHAYA KEBAKARAN MELALUI  
EVALUASI CITRA HASIL PEMODELAN ASAP**

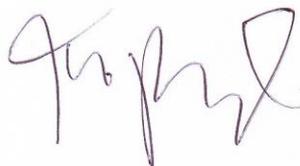
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 20 Januari 2012

Yang menyatakan



(Guruh Dharsono)

## ABSTRAK

Nama : Guruh Dharsono  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Penentuan Kriteria Bahaya Kebakaran melalui Evaluasi Citra Pemodelan Asap

Sistem deteksi kebakaran merupakan sistem yang sangat penting dalam bangunan gedung untuk memberikan peringatan dini bagi penghuni apabila suatu kondisi darurat kebakaran terjadi. Sistem deteksi kebaran umumnya berbasis detektor titik dalam bentuk detektor panas dan asap yang ditempatkan pada setiap jarak tertentu dalam ruangan sesuai standar yang berlaku. Untuk meningkatkan kehandalan sistem detektor titik, maka baru – baru ini dikembangkan pula sistem detektor berbasis pengolahan citra asap yang direkam menggunakan kamera video atau CCTV. Banyak metode yang digunakan dalam sistem pengolahan citra asap ini. Salah satu metode yang digunakan dalam pengolahan citra video asap adalah menggunakan pendekatan model gaussian. Namun, penggunaan metode citra sebagai alat pendeteksi asap yang berbahaya masih memerlukan penentuan kriteria bahaya kebakaran yang tepat.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kriteria bahaya kebakaran dari citra asap yang dihasilkan melalui suatu pemodelan kebakaran. Dalam penelitian ini digunakan *Software Fire Dynamic Simulator Version 5* untuk membuat suatu pemodelan asap. Adapun set-up dan input pemodelan serta validasinya dilakukan menggunakan hasil eksperimental pemanasan material polimer dan selulosa yang telah dilakukan oleh Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12]. Dalam simulasi ini ditambahkan detektor asap sebagai penanda kondisi berbahaya. Citra asap yang dihasilkan melalui pemodelan akan diolah menggunakan piranti lunak yang dikembangkan oleh Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24]. Kriteria kondisi bahaya didapat dari luasan asap dan densitas optik yang terjadi saat menyentuh dan menyebar pada langit – langit kompartemen. Usulan kriteria ini diharapkan bisa digunakan sebagai salah satu standar bahaya pada sistem piranti lunak yang dikembangkan kedepannya.

Kata kunci: image processing, *Fire Dynamic Simulator*, Asap, densitas optik, detektor asap

## ABSTRACT

Name : Guruh Dharsono  
Major : Teknik Mesin  
Title : Determination of Fire Hazard Criteria through Image Evaluation of Smoke Modelling Result

Fire detection system is the most important system in a building to give an earlier warning for an occupant if an emergency condition of fire hazard happened. A common fire detection system based on point detector like heat detector and smoke detector is placed on certain distance in a compartemen with an apripriate standard. To increase an ability of point detector, recently it is improved with detection sistem based on smoke image processing recorded use video camera or CCTV. Many method can be used in this smoke image processing. One of these method is gaussian mixture model. But when this sistem is used steel need a determination of fire hazard criteria.

This research purpose to determinate a fire hazard kriteria from smoke modeling result from a fire modeling. It use Fire Dynamic Simulator Version 5 to make a smoke modelling. Set-up and modeling input with its validation is done by using eksperimental result from heating material of polimer and selulose that's done by Fakhrurozi [11] and Cahyo [12]. This simulations use a smoke detector as an hazard condition. Image of smoke resulted from its modeling will be processed use developed software by Suwarno [8], Lutfi [9], and Revaldo [24]. A criteria of fire hazard is got from an area of smoke and its optical density when smoke touch and spread on maximum region of compartemen. This kriteria is suggested to be one of standard fire hazard used on the next software of smoke video detection.

Kata kunci: image processing, Fire Dynamic Simulator, smoke, optical density, smoke detector

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ..Error! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN .....	Error! Bookmark not defined.
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3. TUJUAN PENELITIAN .....	4
1.4. BATASAN PENELITIAN.....	5
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN .....	6
BAB 2 DASAR TEORI .....	8
2.1. DINAMIKA API DALAM RUANGAN .....	8
2.1. PRODUKSI DAN PERGERAKAN ASAP .....	10
2.1.1. Produksi Partikel Asap.....	11
2.1.2. Pergerakan Suatu Asap .....	15
2.1.3. Pengukuran Asap .....	20
2.3. SISTEM DETEKSI KEBAKARAN .....	22
2.3.1. Sistem Deteksi Panas ( <i>Heat Detection</i> ) .....	25
2.3.2. Sistem Deteksi Asap ( <i>Smoke Detector</i> ) .....	28
2.4. SISTEM PENGOLAHAN CITRA ( <i>IMAGE PROCESSING</i> ).....	31
2.4.1. Pengolahan Citra.....	31
2.4.2. Operasi Pengolahan Citra ( <i>Image Processing Operation</i> ).....	32
2.4.3. Korelasi Hubungan Intensitas Pixel Sebuah Asap dan <i>Optical Density</i> Asap .....	34
2.5. <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	36

2.6. FIRE DYNAMIC SIMULATOR (FDS) .....	41
2.6.1. Hydrodynamic Model .....	43
2.6.2. Large Eddy Simulation (LES).....	43
2.6.3. Direct Numerical Simulation (DNS) .....	43
2.6.4. Combustion Model.....	44
2.6.5. Batasan yang Ada pada Fire Dynamic Simulator Version 5.....	44
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>46</b>
3.1. TAHAPAN PEMBUATAN BENDA EKSPERIMEN KE SIMULASI .....	46
3.1.1. Mempersiapkan <i>Material Properties</i> dan Geometri Benda Eksperimen ke Simulasi Fire Dynamic Simulator.....	46
3.1.2. <i>Mesh</i> atau Domain Simulasi .....	51
3.1.3. Menambahkan <i>Beam Optical Density</i> , <i>Smoke Detector</i> , dan <i>Slices 2D View</i> .....	53
3.2. TAHAPAN VERIFIKASI SIMULASI DAN EKSPERIMEN .....	57
3.3. PENDETEKSIAN ASAP HASIL SIMULASI FDS EKSPERIMEN DENGAN SOFTWARE <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	62
3.3.1. Process Merekam Aktivitas Simulasi .....	62
3.3.2. Proses Konversi Kualitas <i>Video</i> dengan FPS Terendah.....	64
3.3.3. Proses Pengolahan <i>Video</i> Simulasi Menggunakan <i>SmokeDetection Open CV</i> .....	66
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS .....</b>	<b>69</b>
4.1. ANALISIS RESPON <i>SMOKE DETECTOR</i> TERHADAP PERGERAKAN ASAP.....	69
4.1.1. Respon <i>Smoke Detector</i> pada Pergerakkan Asap Foam .....	71
4.1.2. Respon <i>Smoke Detector</i> pada Pergerakkan Asap Karet.....	75
4.1.3. Respon <i>Smoke Detector</i> pada Pergerakkan Asap PVC.....	77
4.1.4. Respon <i>Smoke Detector</i> pada Pergerakkan Asap Kayu.....	79
4.1.5. Respon <i>Smoke Detector</i> pada Pergerakkan Asap Kertas .....	81
4.1.6. Respon <i>Smoke Detector</i> pada Pergerakkan Asap Sigaret.....	83
4.2. ANALISIS RESPON CITRA TERHADAP PERGERAKAN ASAP .....	87
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>99</b>
5.1. KESIMPULAN .....	99
5.2. SARAN .....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>101</b>

LAMPIRAN A.....	104
1.1. <i>INPUT CODE</i> PADA <i>NOTEPAD</i> UNTUK KOMPUTASI SIMULASI FOAM - <i>POLYURETHANE</i> PADA FDS V.5.....	104
1.2. <i>INPUT CODE</i> PADA <i>NOTEPAD</i> UNTUK KOMPUTASI SIMULASI KARET PADA FDS V.5.....	107
1.3. <i>INPUT CODE</i> PADA <i>NOTEPAD</i> UNTUK KOMPUTASI SIMULASI PVC PADA FDS V.5 .....	112
1.4. <i>INPUT CODE</i> PADA <i>NOTEPAD</i> UNTUK KOMPUTASI SIMULASI KAYU PADA FDS V.5 .....	117
1.5. <i>INPUT CODE</i> PADA <i>NOTEPAD</i> UNTUK KOMPUTASI SIMULASI KERTAS PADA FDS V.5 .....	120
1.6. <i>INPUT CODE</i> PADA <i>NOTEPAD</i> UNTUK KOMPUTASI SIMULASI SIGARET PADA FDS V.5 .....	124
LAMPIRAN B .....	130
1.1. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN FOAM PADA EVALUASI CITRA <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	130
1.2. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN KARET PADA EVALUASI CITRA <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	132
1.3. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN PVC PADA EVALUASI CITRA <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	134
1.4. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN KAYU PADA EVALUASI CITRA <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	138
1.5. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN KERTAS PADA EVALUASI CITRA <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	140
1.6. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN SIGARET PADA EVALUASI CITRA <i>SMOKEDETECTION OPEN CV</i> .....	142

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fase perkembangan api [14].	8
Gambar 2.2. Proses perubahan secara fisik bahan bakar dari fase padat hingga uap [15].	12
Gambar 2.3. Proses pembentukan molakeul asap dan jelaga (Glassman, 1989) [15].	13
Gambar 2.4. <i>Transmission electron micrograph</i> dari partikel asap. Ukuran keseluruhan penggumpalan asap sekitar 6 $\mu\text{m}$ dan diameter dari setiap bulatan partikel asap diperkirakan 0.03 $\mu\text{m}$ (sumber, Mulholland 1995). Foto oleh Eric B Steel, <i>Chemical science and Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology</i> [15].	14
Gambar 2.5. Efek cerobong pada gedung yang tinggi. (a) suhu luar ( $T_{\infty}$ ) < suhu di dalam ruangan ( $T_0$ ): (b) $T_{\infty} > T_0$ , menunjukkan arah aliran [15].	17
Gambar 2.6. Asal mula dari efek cerobong (tanpa aliran) [15].	17
Gambar 2.7. Pergerakan gaya apung [15].	19
Gambar 2.8. Gambaran cara kerja <i>beam of light</i> untuk mengukur <i>optical density</i> [15].	21
Gambar 2.9. Rancangan kurva kebakaran [18].	24
Gambar 2.10. Jarak setiap detektor [18].	26
Gambar 2.11. Perpindahan kalor yang terjadi pada atap [18].	26
Gambar 2.12. <i>Smoke detector</i> [2].	28
Gambar 2.13. Skema <i>smoke detector</i> tipe ionisasi [2,25].	29
Gambar 2.14. Cara kerja <i>smoke detector</i> tipe <i>photoelectric</i> [2,25].	30
Gambar 2.12. Sistem kerja pengolahan citra [23].	32
Gambar 2.13. Hubungan korelasi antara <i>optical density</i> dan <i>mean grey value</i> atau <i>pixel intensity</i> dari material (a) kayu, (b) kertas, (c) sigaret, (d) foam, (e)karet, dan (f) PVC [11,12].	35
Gambar 2.14. Tahapan segmentasi objek dari mulai <i>background</i> hingga <i>foreground</i> [8,9, 24].	37
Gambar 2.15. Perolehan citra (a) citra original (b) <i>foreground</i> hasil segmentasi [8, 9, 24].	38
Gambar 2.15. Proses pengolahan citra (a) citra <i>foreground</i> hasil <i>filtering</i> dan <i>bluring</i> (b) <i>foreground</i> hasil <i>tresholding</i> [8, 9, 24].	38
Gambar 2.16. Pengolahan citra <i>blob</i> (a) <i>foreground</i> hasil dilasi setelah <i>tresholding</i> (b) <i>foreground</i> dilasi setelah dilakukan erosi [8, 9, 24].	39

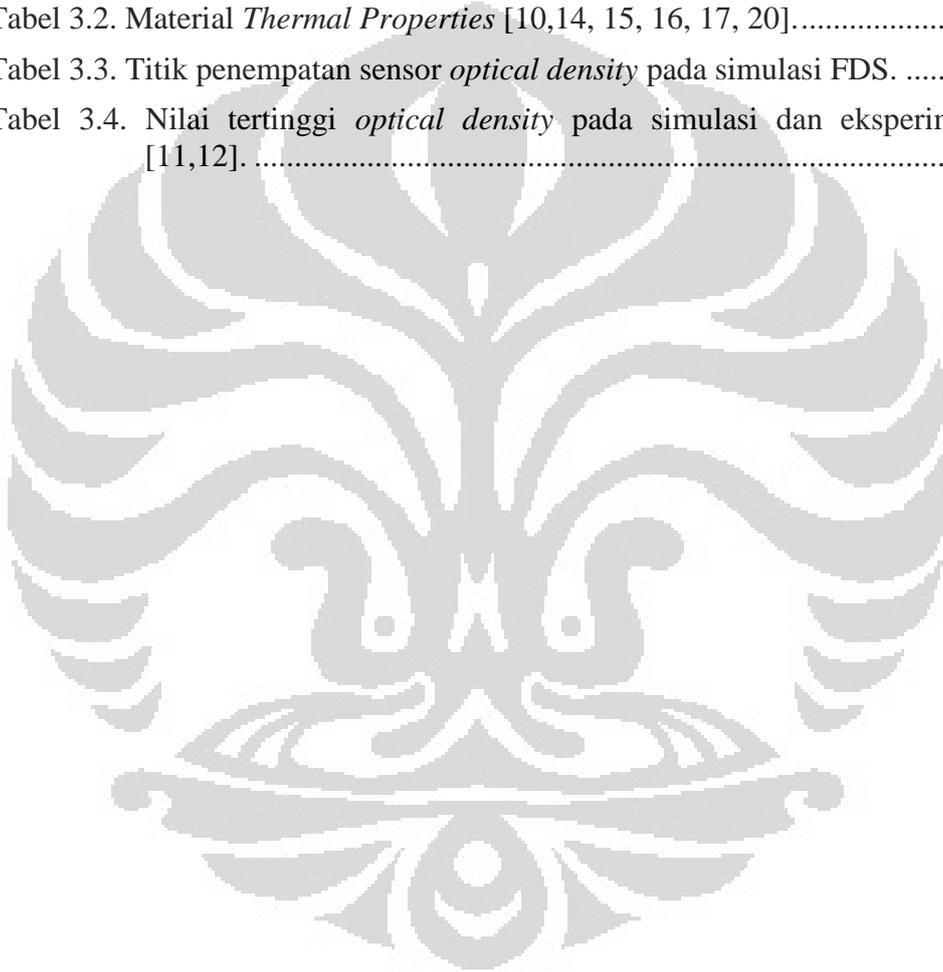
Gambar 2.17. Pengolahan citra <i>blob</i> kecil (a) <i>foreground</i> hasil <i>filtering</i> dan <i>bluring</i> (b) <i>foreground</i> hasil <i>tresholding</i> setelah <i>filtering</i> dan <i>bluring</i> (c) <i>foreground</i> setelah erosi dari hasil <i>tresholding</i> (d) <i>foreground</i> hasil dilasi setelah proses erosi [8, 9, 24].	39
Gambar 2.18. Sistem <i>fuzzy</i> pada <i>Smokedetection Open CV</i> [8, 9, 24].	40
Gambar 2.19. Urutan proses pengolahan citra asap pada <i>smokedetection open cv</i> [8, 9, 24].	40
Gambar 2.20. Cara kerja FDS dalam menampilkan sebuah pemodelan [16,17].	42
Gambar 3.1. Perbandingan model (a) metode eksperimen in situ [11,12] (b)Ukuran model keseluruhan di dalam FDS.	49
Gambar 3.2. Geometri benda eksperimen pada simulasi <i>Fire Dynamic Simulator</i> .	49
Gambar 3.3. Material polimer sintetik dan alami (selulosa) dalam eksperimen [11,12] dan simulasi FDS.	50
Gambar 3.4. Lilitan <i>jointing 0.0 kabel NYA 2.5 mm<sup>2</sup></i> [11].	51
Gambar 3.5 Perbandingan ukuran <i>Mesh</i> (a) <i>Mesh</i> IJK yang terdapat pada awal pembuatan simulasi FDS (b) Domain yang sudah diatur di dalam FDS pada daerah tertentu dari eksperimen.	52
Gambar 3.6. Gambaran alat pengukuran (a) DIN 50055 <i>Smoke Density Photometric System</i> (b) unit kontrol DIN 50055 (c) sistematik sumber cahaya DIN 50055 (d) sistematik <i>photo cell</i> DIN 50055 [11,12].	54
Gambar 3.7. Jarak ketinggian <i>Smoke Density Photometric System</i> (DIN 50055) dari sumber asap dalam eksperimen [11,12].	54
Gambar 3.9. Model <i>smoke detector</i> dalam bentuk <i>Smokeview Fire Dynamic Simulator Version 5</i> [16,17] (a) belum teraktivasi (b) teraktivasi.	55
Gambar 3.10. <i>Animated slices file</i> yang digunakan di dalam simulasi FDS.	56
Gambar 3.11. Gambaran detail penempatan <i>smoke detector</i> dan <i>beam optical density</i> dari pemodelan eksperimen simulasi FDS.	57
Gambar3.12. Validasi hasil (a) grafik <i>optical density</i> foam dari simulasi FDS (b) grafik <i>optical density</i> foam hasil eksperimen [11].	58
Gambar 3.13. Validasi hasil (a) grafik <i>optical density</i> karet dari simulasi FDS (b) grafik <i>optical density</i> karet hasil eksperimen [11].	59
Gambar 3.14. Validasi hasil (a) grafik <i>optical density</i> PVC dari simulasi FDS (b) grafik <i>optical density</i> PVC hasil eksperimen [11].	59
Gambar 3.15. Validasi hasil (a) grafik <i>optical density</i> kayu dari simulasi FDS (b) grafik <i>optical density</i> kayu hasil eksperimen [12].	60
Gambar 3.16. Validasi hasil (a) grafik <i>optical density</i> kertas dari simulasi FDS (b) grafik <i>optical density</i> kertas hasil eksperimen [12].	60

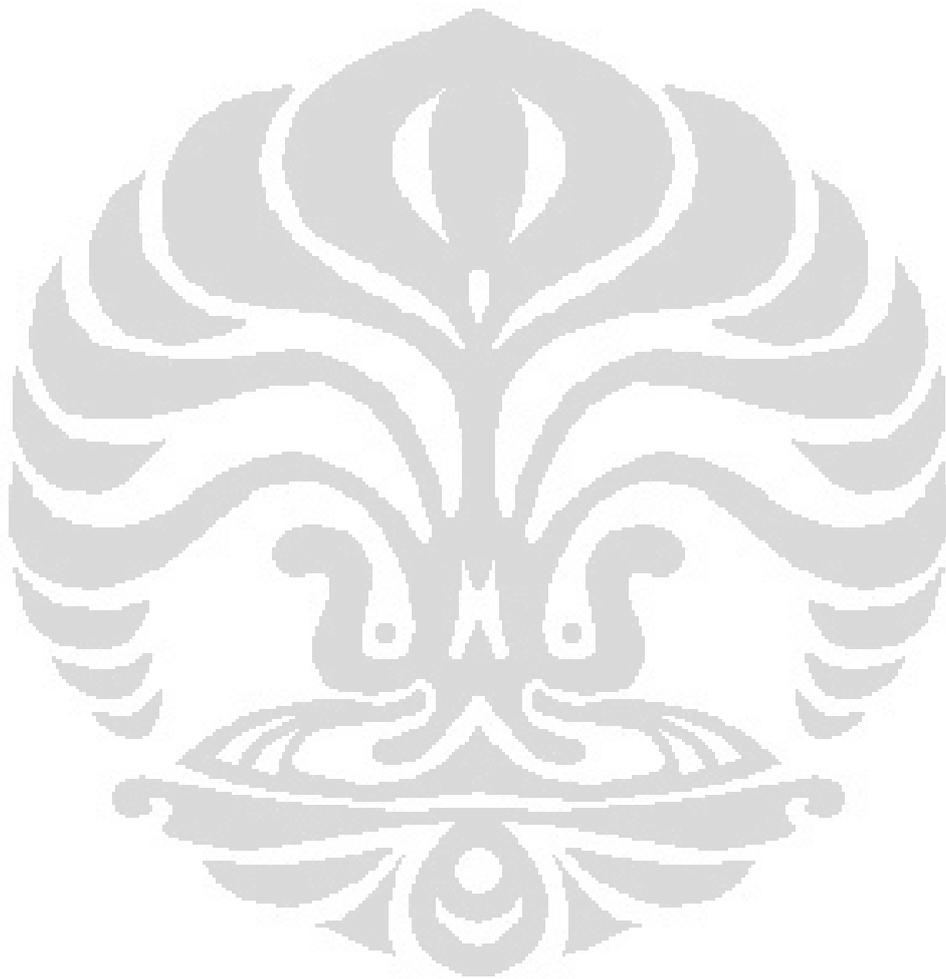
Gambar 3.17. Validasi hasil (a) grafik <i>optical density</i> sigaret dari simulasi FDS (b) grafik <i>optical density</i> sigaret hasil eksperimen [12].	61
Gambar 3.18. Tampilan <i>Camstudio</i> dengan seluruh <i>setting</i> perekaman.	62
Gambar 3.19. Aktivitas perolehan citra (a) memilih wilayah perekaman (b) proses perekaman simulasi FDS menggunakan <i>Camstudio</i> .	63
Gambar 3.20. Perbandingan (a) perekaman sebelum menjalankan simulasi FDS (b) perekaman setelah menjalankan simulasi FDS.	63
Gambar 3.21. <i>Software Format Factory</i> .	64
Gambar 3.22. Pengolahan video (a) pemotongan video (b) proses konversi video.	65
Gambar 3.23. Penyetelan kualitas video dengan mengecilkan FPS.	66
Gambar 3.24. Proses melakukan <i>debugging</i> dan membuka video simulasi.	67
Gambar 3.25. Pengisian nilai <i>threshold</i> yang sesuai <i>BG_threshold</i> dan <i>std_threshold</i> .	68
Gambar 3.26. Tampilan kerja <i>software Smokedetection Open CV</i> .	68
Gambar 4.1. Pola pergerakan asap di dalam ruangan atau kompartemen [15].	71
Gambar 4.2. Pergerakan asap foam (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan $O_u$ pada tiap <i>Smoke detector</i> (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing <i>detector</i> (c) grafik $O_u$ untuk setiap respon <i>smoke detector</i> .	73
Gambar 4.3. Pergerakan asap foam (a) Kondisi ketika <i>smoke detector</i> menyala pada simulasi (b) kondisi densitas, <i>optical density</i> , suhu, dan kecepatan asap ketika <i>smoke detector</i> menyala.	74
Gambar 4.4. Pergerakan asap karet (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan $O_u$ pada tiap <i>smoke detector</i> (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing <i>detector</i> (c) grafik $O_u$ untuk setiap respon <i>smoke detector</i> .	77
Gambar 4.5. Pergerakan asap PVC (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan $O_u$ pada tiap <i>smoke detector</i> (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing <i>detector</i> (c) grafik $O_u$ untuk setiap respon <i>smoke detector</i> .	79
Gambar 4.6. Pergerakan asap kayu (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan $O_u$ pada tiap <i>Smoke detector</i> (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing <i>detector</i> (c) grafik $O_u$ untuk setiap respon <i>smoke detector</i> .	81
Gambar 4.7. Pergerakan asap kertas (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan $O_u$ pada tiap <i>smoke detector</i> (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing <i>detector</i> (c) grafik $O_u$ untuk setiap respon <i>smoke detector</i> .	83
Gambar 4.8. Pergerakan asap sigaret (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan $O_u$ pada tiap <i>smoke detector</i> (b) titik	

respon keberadaan dan bahaya masing – masing <i>detector</i> (c) grafik $O_u$ untuk setiap respon <i>smoke detector</i> .....	85
Gambar 4.9. Pergerakan asap pada <i>slices file</i> (a) Kondisi ketika <i>smoke detector</i> menyala pada simulasi (b) kondisi densitas, <i>optical density</i> , suhu, dan kecepatan asap ketika <i>smoke detector</i> menyala.....	86
Gambar 4.10. Waktu respon <i>smoke detector</i> berdasarkan tingkat <i>optical density</i> .....	87
Gambar 4.11. Perbandingan respon citra (a) respon citra terhadap asap saat <i>smoke detector</i> merespon (b) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen saat pemanasan foam.....	88
Gambar 4.12. Grafik luasan <i>blob Smokedetection Open CV</i> yang dihasilkan terhadap asap pemanasan foam. ....	89
Gambar 4.13. Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat <i>smoke detector</i> merespon saat pemanasan karet .....	90
Gambar 4.14. Grafik luasan <i>blob Smokedetection Open CV</i> yang dihasilkan terhadap asap pemanasan karet. ....	90
Gambar 4.15. Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat <i>smoke detector</i> merespon saat pemanasan PVC.....	91
Gambar 4.16. Grafik luasan <i>blob Smokedetection Open CV</i> yang dihasilkan terhadap asap pemanasan PVC.....	92
Gambar 4.17. Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat <i>smoke detector</i> merespon saat pemanasan kayu. ....	93
Gambar 4.18. Grafik luasan <i>blob Smokedetection Open CV</i> yang dihasilkan terhadap asap pemanasan kayu.....	93
Gambar 4.19. Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat <i>smoke detector</i> merespon saat pemanasan kertas.....	94
Gambar 4.20. Grafik luasan <i>blob Smokedetection Open CV</i> yang dihasilkan terhadap asap pemanasan kertas.....	95
Gambar 4.21. Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat <i>smoke detector</i> merespon saat pemanasan sigaret.....	96
Gambar 4.22. Grafik luasan <i>blob smokedetection open cv</i> yang dihasilkan terhadap asap pemanasan kertas.....	96
Gambar 4.23. Grafik <i>optical density</i> pada langit – langit diatas sumber asap ketika asap mulai menyebar dari sumber asap. ....	97

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Densitas dari udara sebagai fungsi waktu.....	16
Tabel 2.2. <i>Fire Signature</i> dan sistem deteksi yang sesuai [18]. .....	24
Tabel 2.3. Klasifikasi temperatur atau suhu [23] .....	28
Tabel 3.1. Spesifikasi Dimensi Pengujian pada eksperimen [11,12].....	47
Tabel 3.2. Material <i>Thermal Properties</i> [10,14, 15, 16, 17, 20].....	48
Tabel 3.3. Titik penempatan sensor <i>optical density</i> pada simulasi FDS. ....	56
Tabel 3.4. Nilai tertinggi <i>optical density</i> pada simulasi dan eksperimen [11,12]. .....	61





## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. LATAR BELAKANG**

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi, bahaya yang dihasilkan dari kemajuan teknologi tersebut juga semakin mengalami perkembangan seperti bahaya kebakaran. Kebakaran merupakan salah satu peristiwa kecelakaan yang sangat tidak diinginkan karena bukan hanya menelan harta benda tetapi juga korban jiwa. Harta benda yang mengalami kerugian akibat peristiwa kebakaran juga bisa bernilai hingga milyaran rupiah. Jumlah korban jiwa pun bisa menelan hingga ratusan korban jiwa akibat dari peristiwa ini seperti luka ringan hingga luka berat seperti luka bakar, terganggunya sistem pernafasan, dan hilangnya nyawa akibat hangus terbakar dan tidak mendapatkan udara pernafasan dari asap kebakaran yang telah ditimbulkan.

Menurut data dari suatu surat kabar nasional Indonesia, tempo interaktif, penyebab terbesar kebakaran di Jakarta disebabkan korsleting listrik. “Sebanyak 59 persen pemicu kebakaran itu karena korsleting listrik,” kata Kepala Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana, Mengacu pada data dari Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana DKI Jakarta (Damkar) hingga Oktober 2011, kebakaran di Jakarta mencapai 736 kasus. Berdasarkan rakyat media online, di Jakarta Barat 183 kasus, Jakarta Selatan 169 kasus, Jakarta Timur 162 kasus, Jakarta Utara 140 kasus, Jakarta Pusat 81 kasus, dan Kepulauan Seribu 1 kasus. Sedangkan untuk kerugian materi mencapai Rp 174 miliar. Jumlah korban meninggal mencapai 12 orang dan 72 orang luka-luka, termasuk 11 petugas pemadam. Sejak 2007 hingga 2010 secara berurutan, yaitu 902 kasus, 743 kasus, 818 kasus, dan 684 kasus. Sebagian besar pemicu kebakaran karena arus listrik.

Walaupun sistem proteksi kebakaran secara dini sudah diatur dalam menteri pekerjaan umum No: 26/PRT/M/2008 tentang persyaratan teknis sistem proteksi kebakaran pada bangunan gedung dan lingkungan [1], tetap saja bahaya kebakaran selalu muncul dalam jumlah yang besar dan tidak diduga. Pada

akhirnya, dibutuhkan pengembangan eksperimental dalam sistem proteksi kebakaran. Sistem proteksi kebakaran pun dibagi menjadi dua yaitu pasif dan aktif. Sistem proteksi kebakaran pasif adalah sistem yang terbentuk dan terbangun melalui pengaturan bahan dan komponen struktur bangunan, sedangkan sistem proteksi aktif adalah sistem deteksi kebakaran baik dalam bentuk manual dan otomatis [1].

*Smoke Detector* adalah salah satu dari sistem proteksi aktif yang menggunakan sensor asap, panas, dan fotoelektrik dikarenakan sifat asap yang pada dasarnya merupakan udara panas yang mengapung ditambah kontaminasi [2,3,4]. Namun, sistem proteksi semacam ini sudah tergolong konvensional karena memiliki kekurangan seperti lamanya waktu pendeteksian bahaya dan asap yang ditimbulkan juga harus terakumulasi terlebih dahulu agar konsentrasinya meningkat. Padahal, pada saat asap sudah terdeteksi, bahaya kebakaran sudah memiliki tingkat bahaya yang sangat tinggi.

Deteksi asap dengan alat yang konvensional ini juga memiliki kekurangan lain seperti keterbatasan spasial karena sistem deteksi konvensional ini sangat dipengaruhi oleh geometri ruang [5]. Sebagai contohnya adalah gedung yang memiliki koridor dan atrium. karena masalah geometri tersebut, maka dibutuhkan pengolahan detektor asap yang berbeda. Semakin luas dan tinggi suatu ruang atau geometri yang ada, maka akan semakin mempersulit dan menghambat jangkauan deteksi dari sistem deteksi asap konvensional dikarenakan konsentrasi asap yang lama untuk terakumulasi.

Akan tetapi, kesulitan jangkauan dalam deteksi asap tersebut sudah dapat teratasi dengan perkembangan dunia *Image processing* dan juga berkembangnya kamera pengawas seperti *Closed Circuit Television (CCTV)* dengan basis *Charge Coupled Device (CCD) camera* dan *Infra Red Camera* dengan *Long Wave Infra Red Range (LWIR)*. Teknologi pengolahan citra ini dapat terintegrasi dalam sistem teknik keselamatan kebakaran sehingga berbagai macam kesulitan terkait masalah ruang ataupun geometri tersebut dapat diatasi secara cepat. Detektor berbasis pengolahan citra ini juga bisa menghasilkan banyak informasi dari asap yang dideteksi semisal luas asap, transparansi asap, ketebalan asap melalui analisa warna, pergerakan dan perkembangan asap, juga lokasi kemunculan asap [6,7].

Deteksi asap menggunakan *Video Camera* juga telah dikembangkan dan diteliti oleh peneliti sebelumnya dengan menggunakan metode Gaussian atau *Adaptive Gaussian Mixture Model* dan Sistem Inferensi *Fuzzy* untuk menentukan daerah yang di kategorikan sebagai asap dan yang bukan pada *frame* [8,9]. Namun, pada akhirnya, pengembangan harus terus dilakukan karena sistem pendeteksian menggunakan sistem ini masih menggunakan beberapa parameter yang belum terlalu jelas dan akurat. Bahkan, sebagian eksperimen menggunakan sistem ini menggunakan video dengan isi yang terbatas dengan pengetahuan apriori yang diujikan. Lebih jauh lagi, ketiadaan data primer penggunaan nilai *threshold* secara heuritis, dan kurangnya standar evaluasi, membuat verifikasi eksperimental, khususnya perbandingan algoritma menjadi suatu pekerjaan yang rentan terhadap kesalahan dan menghabiskan waktu. Selain itu, masih tidak begitu jelas atas dasar apa nilai *threshold* harus ditetapkan untuk memenuhi persyaratan keselamatan [10].

Pada penelitian deteksi asap berbasis citra dalam bidang teknik keselamatan kebakaran sebelumnya mengenai pemanasan material dengan menggunakan selulosa dan polimer, para peneliti sebelumnya sudah banyak mencari berbagai macam korelasi hubungan antara waktu kemunculan asap dengan luasan asap, *optical density*, dan temperature permukaan material, juga hubungan antara *pixel density* (8 bit) dengan *optical density* [11,12]. Namun, kali ini penelitian dilanjutkan dengan menguji kemampuan *software* yang dikembangkan oleh Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24] untuk mengolah video hasil simulasi menggunakan *software Fire Dynamic Simulator* (FDS) dengan membandingkan hasil olahan citra simulasi dan eksperimen yang telah dilakukan oleh Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12]. Material yang disimulasikan sama dengan material yang diujikan dalam eksperimen yaitu polimer dan selulosa hanya saja dalam simulasi akan ada penambahan dalam pengidentifikasian bahaya melalui *smoke detector* dan pengukuran luasan kepulan asap pada daerah *maximum region*. Korelasi ini akan digunakan sebagai pengembangan lebih lanjut dalam pendeteksian asap menggunakan *software* FDS sebelum pemasangan *video camera* sebagai pendeteksi asap pada tempat yang akan dipasang sehingga akan didapatkan posisi dan tempat yang ideal untuk pemasangan kamera.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini akan membandingkan karakteristik asap dari pemanasan material selulosa (kayu, kertas, dan sigaret) dan polimer (karet, PVC, dan Foam) hasil eksperimen pada skala lab dengan hasil simulasi menggunakan *software* FDS [11,12].

Hal yang akan dibahas di dalam penelitian ini adalah pemodelan eksperimen pemanasan material selulosa dan polimer [11,12]. Parameter yang digunakan didalam melakukan simulasi adalah karakteristik material dari eksperimen dan pengukurannya secara langsung dengan menggunakan DIN 50055 *Smoke Density Photometric system*® pada eksperimen. Hal yang paling utama di dalam penelitian ini adalah membuat perbandingan sistem deteksi asap dengan menggunakan citra dan *smoke detector* dalam mengidentifikasi bahaya.

## 1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Membuat pendekatan pergerakan asap dengan menggunakan *software Fire Dynamic Simulator Version 5* dari hasil eksperimen.
2. Membandingkan nilai *Optical Density* dari pemanasan material polimer dan selulosa pada eksperimen dan simulasi FDS.
3. Membandingkan hasil korelasi asap secara fisik di dalam eksperimen dan simulasi *Fire Dynamic Simulator Version 5* dengan menggunakan pengolahan citra menggunakan *software Smokedetection Open CV*.
4. Membandingkan kemampuan *smoke detector* di dalam simulasi *Fire Dynamic Simulator Version 5* dan sistem deteksi berbasis video dari *Smokedetection Open CV* dalam mendefinisikan tingkat bahaya dari suatu kebakaran.
5. Mendapatkan suatu kriteria bahaya yang sesuai dari hasil pengolahan citra asam hasil simulasi eksperimen

#### 1.4. BATASAN PENELITIAN

1. Karakteristik asap yang akan di modelkan berasal dari pemanasan material selulosa seperti: kayu, kertas, sigaret ,dan polimer seperti: karet, PVC, dan foam [11,12].
2. Eksperimen yang dimodelkan adalah eksperimen pemanasan material selulosa dan polimer yang telah dilakukan oleh Fakhrurozi dan Cahyo [11, 12].
3. Variasi yang diberikan pada simulasi *Fire Dynamic Simulator Version 5* adalah ketinggian pengukuran *opacity meter* yaitu pada ketinggian 3cm, 15 cm, dan 30 cm dari sumber asap [11,12].
4. Tipe *smoke detector* yang digunakan dalam simulasi adalah *photoelectric* dengan memasang empat buah *smoke detector* pada atap langit – langit eksperimen yaitu ketinggian 1.6 m dari dasar lantai dengan jarak 0.5 cm dari setiap sudutnya.
5. Pengolahan citra yang dilakukan menggunakan *software Smokedetection Open CV* yang telah dikembangkan oleh Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24].
6. Simulasi yang digunakan menggunakan *software Fire Dynamic Simulator Version 5.0*

#### 1.1. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Melakukan pengkajian beberapa literatur dan jurnal internasional mengenai *pyrolysis* pemanasan material, reaksi kimia, dan pengolahan citra.
2. Mengolah dan menalisis data yang telah diperoleh dari hasil eksperimen untuk dibuat pemodelanya [11,12].
3. Membuat simulasi dari hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan menggunakan *software Fire Dynamic Simulator Version 5* kemudian

dilakukan pengolahan citra menggunakan *software Smokedetection Open CV*.

4. Membandingkan hasil pengolahan citra simulasi FDS dari hasil *blob Smokedetection Open CV* dan *ImageJ*.
5. Penarikan kesimpulan dari semua hasil dan evaluasi perbandingan pengolahan citra dan simulasi FDS.

## 1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk mempermudah dalam memahami, karya tulis ini disusun dalam beberapa bagian, yaitu:

### BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bagian ini dibahas beberapa kerangka penulisan seperti LATAR BELAKANG, PERUMUSAN MASALAH, TUJUAN PENELITIAN, METODOLOGI PENELITIAN, dan SISTEMATIKA PENULISAN. Pada LATAR BELAKANG dibahas apa yang menjadi dorongan untuk membuat penelitian ini dan atas dasar masalah apa penelitian ini dilakukan. Pada PERUMUSAN MASALAH, dibahas masalah yang ada pada latar belakang untuk diteliti lebih dalam. TUJUAN PENELITIAN dibahas apa yang dijadikan dasar untuk dilakukannya penelitian. Pada METODOLOGI PENELITIAN, dibahas sistem tata cara penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Sedangkan pada SISTEMATIKA PENULISAN, dibahas tata cara penulisan karya tulis ilmiah ini sehingga menjadi karya tulis yang baik untuk dibaca oleh orang banyak.

### BAB 2. DASAR TEORI

Bagian ini akan dibahas dasar pemahaman yang dipakai untuk penelitian ini seperti: dinamika api di dalam ruangan, pertumbuhan dan pergerakan asap, sistem deteksi kebakaran, sistem deteksi kebakaran berbasis pengolahan citra (*smoke video detection*), *Smokedetection Open CV*, *Fire Dynamic Simulator Version 5*.

### BAB 3. METODOLOGI PENGUJIAN

Pada bagian ini, dibahas bagaimana penelitian ini dilakukan seperti membahas langkah eksperimen yang sudah dilakukan oleh Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12], langkah – langkah penelitian menggunakan simulasi FDS, dan bagaimana melakukan pengolahan data dari hasil simulasi dan sedikit dibahas pengolahan data dari eksperimen.

### BAB 4. ANALISA DAN EVALUASI

Pada BAB ini dibahas data yang dihasilkan oleh hasil simulasi FDS dan membahas ulang data yang dihasilkan oleh eksperimen sebelumnya. Data dari simulasi kemudian dibandingkan dengan data dari hasil eksperimen. Data yang didapat antara lain: *optical density* dari asap, luasan asap hasil simulasi *Fire Dynamic Simulator Version 5*, dan menentukan kriteria bahaya yang didapatkan berdasarkan nilai *optical density* dan juga luasan asap.

### BAB 5. PENUTUP

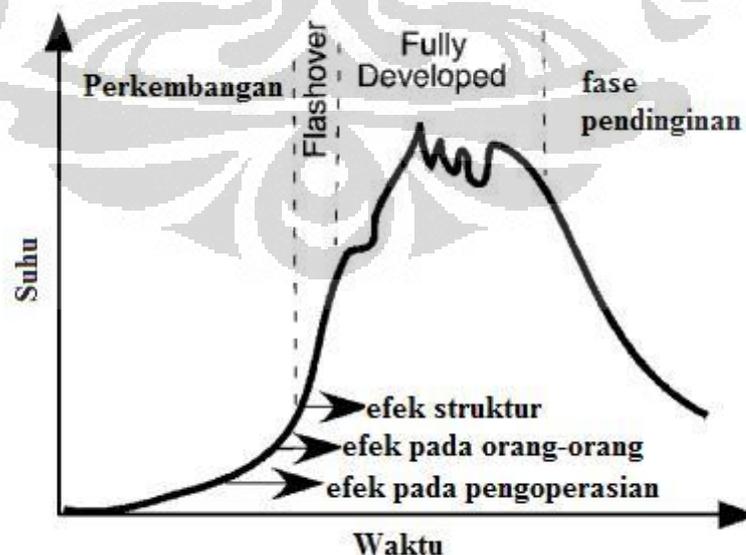
Pada bagaian ini akan dibahas mengenai kesimpulan dari analisa dan hasil evaluasi pada simulasi dan eksperimen. Dan saran untuk penelitian dan pengembangan untuk bidang yang sama kedepanya.

## BAB 2 DASAR TEORI

Bagian ini akan menjelaskan mengenai teori dan konsep yang dipakai dalam penelitian ini. Penjelasan mengenai teori dan konsep ini bertujuan untuk memberikan kemudahan dalam memahami isi karya tulis dan maksud dari penelitian ini sehingga penelitian ini akan bermanfaat kedepannya bagi peneliti sesudahnya.

### 2.1. DINAMIKA API DALAM RUANGAN

Kebakaran dalam suatu ruangan atau compartment pada umumnya didekatkan pada tiga pendekatan utama dalam suatu fase. Fase yang pertama yaitu fase berkembangnya suatu api karena pertumbuhan suatu api dalam sebuah kebakaran dari sebuah kebakaran kecil. Jika tidak ada sesuatu yang dapat menekan pertumbuhan api maka kebakaran tersebut akan tumbuh menjadi lebih besar dan akan dikontrol oleh dua hal yang paling utama yaitu bahan bakar dan juga jumlah udara yang mengalir dari ventilasi dalam ruangan. Karena semua bahan bakar dikonsumsi secara keseluruhan, pertumbuhan api juga akan semakin turun. Tingkat perkembangan dan penurunan dari sebuah kebakaran dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



**Gambar 2.1.** Fase perkembangan api [14].

Berdasarkan perkembangannya, beberapa hal yang berpengaruh dari perkembangan suatu kebakaran adalah struktur dari suatu bangunan. Selain itu, perilaku dari orang-orang yang ada didalam ruangan juga mempengaruhi berkembangnya suatu kebakaran, dan pengaruh dari pengoperasian dari penggunaan suatu bahan bakar semisal kompor gas.

Dalam kebakaran pada suatu ruangan, perkembangan suatu kebakaran dalam suatu ruangan yang harus diperhatikan adalah *flashover*. Pada umumnya, *flashover* merupakan transisi antara perkembangan api apakah masih bersifat aman atau dapat dikendalikan dan membesarnya suatu kebakaran atau *fully developed fire*. Hal tersebut juga ditandai oleh perbedaan kontrol dari bahan bakar dan jumlah udara. Jika suatu ruangan mempunyai sedikit udara pada suatu kondisi tertentu, kebakaran akan menjadi lebih tak terkontrol dan dapat memproduksi api sampai keluar ruangan. Pada suatu ventilasi ruangan, api dapat membakar pada tempat aliran udara tersebut dan mempunyai tingkat toksitas yang tinggi karena proses pembakaran yang tidak sempurna.

Mekanisme dari *flashover* dapat terjadi karena beberapa kejadian berikut ini:

1. **Remote Ignition**, yaitu proses pemercikan api yang dikontrol oleh suatu sifat thermal dari material tersebut, proses kebakaran seperti ini terkadang bersifat tiba-tiba oleh *autoignition* atau *piloted ignition* karena jenis api dan menghasilkan pemanasan akibat radiasi. Kriteria *heat release* yang umumnya terjadi pada suatu *flashover* jenis ini berada pada  $20 \text{ kW/m}^2$  untuk jenis material yang biasanya ada dalam suatu ruangan. Suhu yang terukur pada lantai untuk mekanisme ini yaitu antara  $500^\circ - 600^\circ\text{C}$ .
2. **Rapid Flame Spread**, yaitu pelebaran lidah api secara cepat. Mekanisme semacam ini diakibatkan oleh panas radiasi yang ditimbulkan oleh terbakarnya suatu material. Namun, perbedaannya adalah mekanisme ini ditimbulkan oleh bercampurnya uap bahan bakar dan udara dan terbakar secara bersamaan tetapi proses terjadinya berlangsung cepat dan tidak berlangsung lama. Sehingga mekanisme *flashover* seperti ini terjadi dengan kecepatan suatu *rapid flame spread* dengan kisaran 1 m/s.

3. **Burning Instability**, yaitu sebuah ketidakstabilan dari proses pembakaran akibat dari perluasan api. Terjadi *thermal feed back* pada proses ini yaitu proses perpindahan panas antara objek yang terbakar dan ruangan yang dipanaskan sehingga terjadi peningkatan yang sangat cepat pada suhu ruangan dan pembakaran pada suatu bahan bakar pada titik *equilibrium*.
4. **Oxygen supply**. Mekanisme ini terjadi karena penambahan oksigen secara tiba-tiba akibat dari rusaknya dan terbukanya pintu atau jendela akibat kebakaran sehingga memungkinkan udara segar masuk ke dalam ruangan dan bercampur dengan uap bahan bakar yang berlebih. Proses ini terjadi secara cepat dan tiba-tiba sehingga peningkatan proses pembakarannya pun terjadi dengan cepat. Peningkatan tekanan pada ruangan pun terjadi sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada pintu dan juga jendela.
5. **Boilover**. Fenomena ini terjadi karena semprotan air pada kolam api dengan suhu yang lebih besar dari air. Butiran – butiran air yang ada pada permukaan kolam api menguap dengan uap bahan bakar sehingga terjadi peningkatan jumlah masa yang terbakar dan dapat menimbulkan peledakan.

Sedangkan untuk fase selanjutnya yaitu *fully developed fire*. Fase ini sangat dipengaruhi oleh pendekatan ukuran dan bentuk perkembangan api, pendekatan terhadap jumlah, distribusi, dan tipe bahan bakar. Dan terakhir adalah pendekatan terhadap tipe dan konstruksi material seperti atap, dinding, dan lantai suatu ruangan. Perkembangan dari suatu pendekatan fase kebakaran ini sangatlah berpengaruh dari sistem teknik keselamatan kebakaran seperti *detector* dan *sprinkler*. Seluruh fase perkembangan api ini sangatlah dipengaruhi oleh waktu ketika sistem deteksi ini mulai diaktifkan [14].

## 2.1. PRODUKSI DAN PERGERAKAN ASAP

Asap merupakan hasil sebuah pembakaran dari suatu pembakaran bahan bakar. Asap pembakaran yang dihasilkan tergantung dari jenis bahan bakar. Asap secara penampilan dan strukturnya menghasilkan karbon dioksida, uap air, dan beberapa partikel lain hasil dari pembakaran yang tidak sempurna seperti: karbon monoksida, nitrogen, dan hidrogen.

### 2.1.1. Produksi Partikel Asap

Umumnya ada tiga jenis asap hasil dari pembakaran yaitu: *flaming*, *pyrolysis*, dan *smoldering*. *Flaming* yaitu asap yang dihasilkan dari api yang menyala, contohnya asap pada kompor minyak tanah dan pembakaran sampah dan asap yang dihasilkan juga berwarna hitam dan penuh dengan butiran karbon [4].

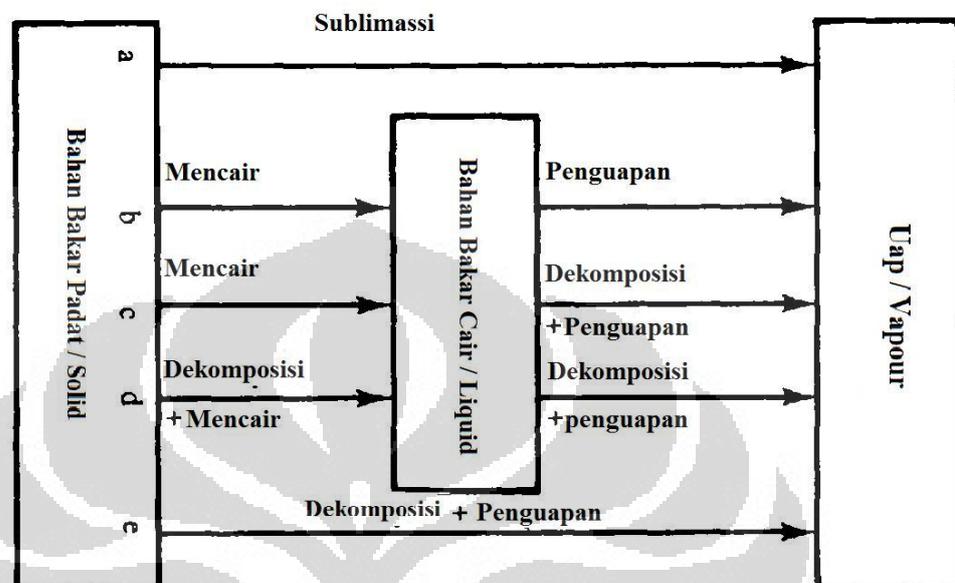
Asap *pyrolysis* merupakan asap yang dihasilkan dari proses pemanasan radiasi pada permukaan material tanpa adanya pencampuran dari oksigen yang merubah struktur kimia material berbentuk *volatile* atau uap bahan bakar sehingga asap yang dihasilkan lebih tidak terlalu hitam. Suhu yang diaplikasikan terhadap permukaan material solid antara 600 sampai 700 K, sedangkan pada gas antara 1200 sampai 1700 K. Pada umumnya proses ini mengoksidasi produk hasil pembakaran dan struktur rantai material. Material yang biasanya mengalami *pyrolysis* adalah propylene [4].

Sedangkan *smoldering*, yaitu proses pembakaran yang diakibatkan oleh kenaikan suhu atau *temperatur* pada permukaan material dan terjadinya reaksi antara uap material dan oksigen melalui efek konduksi atau konveksi. *Smoldering* juga menghasilkan butiran asap, namun butiran yang dihasilkan berwarna putih. Material yang dapat ber-*pyrolysis* dengan proses pembakaran seperti ini hanya sedikit, seperti: material selulosa (kayu, kertas, dan sigaret) dan *polyurethane foam*. *Temperatur* yang diaplikasikan pada pembakaran ini antara 600 sampai 1100 K [4].

Walaupun secara umumnya hasil pembakaran dari suatu bahan bakar adalah senyawa gas yang stabil dari CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, pada kenyataannya hasil dari pembakaran tersebut sangat jarang terjadi. Kalau pun terjadi, hanya akan terjadi pada pembakaran jenis *diffusion flame* sehingga hasil pembakaran memang menentukan hasil dari pembakaran dan jenis asap dari bahan bakar tersebut.

Pada paragraph sebelumnya, jenis-jenis tipe proses pembakaran sudah dibahas. Untuk tiap proses pembakaran menghasilkan jenis jelaga asap yang berbeda-beda dan tingkat konsentrasi karbon yang berbeda juga. Sehingga berdasarkan analisis tersebut, proses terbakarnya suatu bahan bakar dari mulai solid hingga menjadi uap bahan bakar dapat diperkirakan seperti pada Gambar 2.2

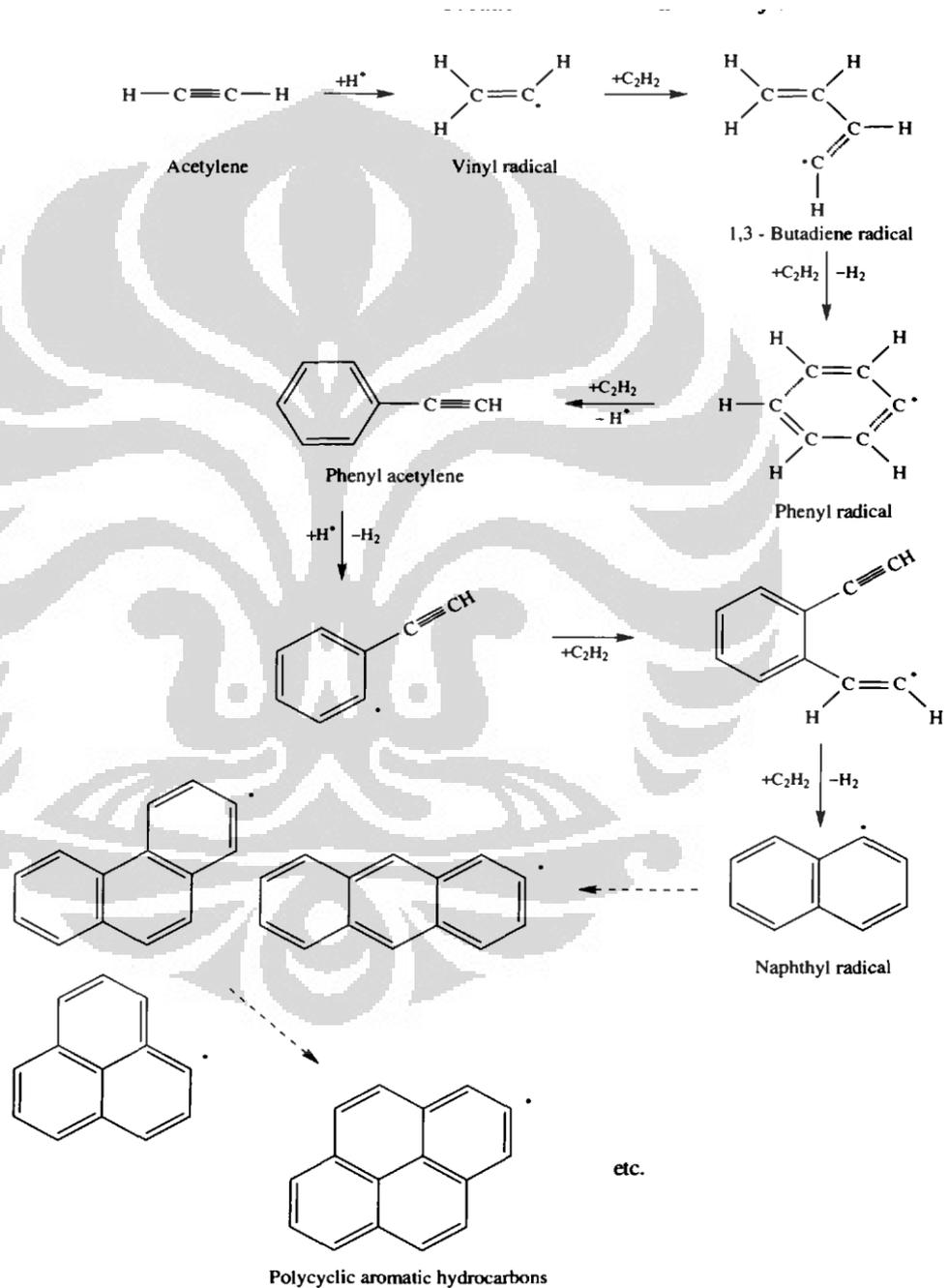
dari struktur ini, kita dapat membayangkan bahwa proses perubahan fisik material padat jauh lebih rumit ketika terjadinya proses pembakaran sehingga akan banyak kemungkinan jika asap hasil pembakaran sangat tidak sempurna.



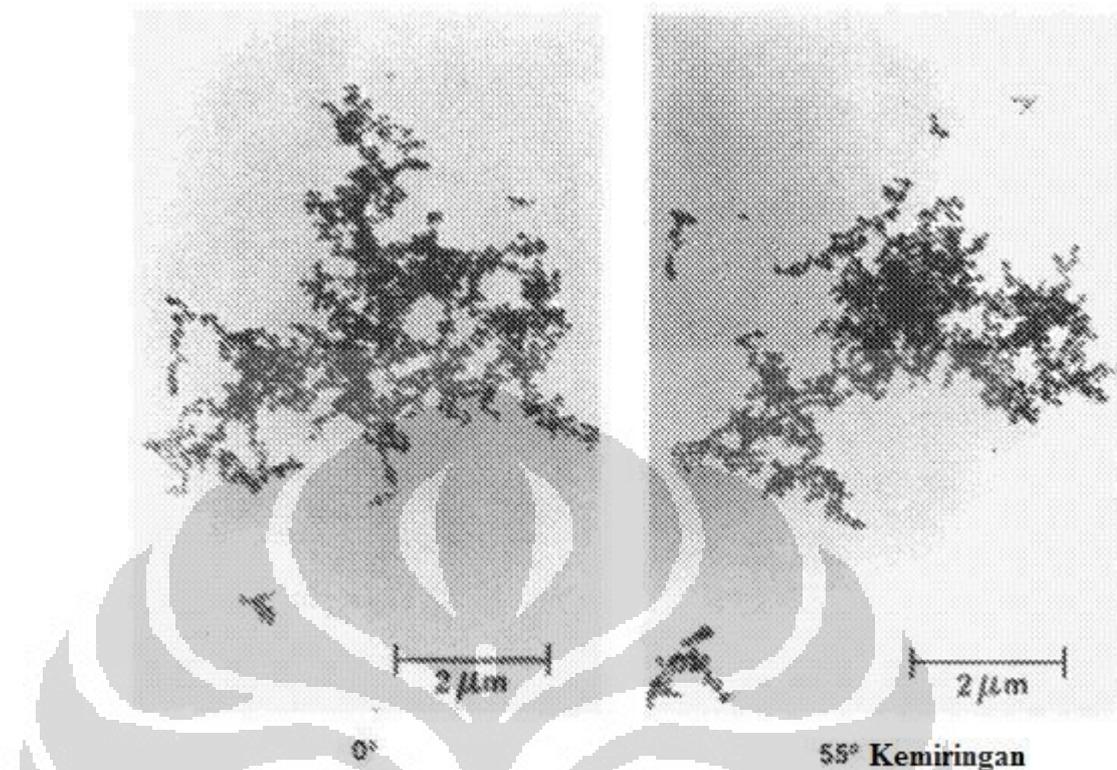
**Gambar 2.2.** Proses perubahan secara fisik bahan bakar dari fase padat hingga uap [15].

Pada proses perubahan fisik dari proses pembakaran bahan bakar padat, ketika konsentrasi oksigen mulai menurun maka dekomposisi dan perubahan bahan bakar ini akan semakin rumit seperti terbentuknya berbagai macam bentuk *volatile* [15]. Sebagai contohnya adalah proses terbentuknya *species* aromatik pada pembakaran *acetylene (ethyne)* atau benzena ( $C_6H_6$ ). Benzena adalah induk semua jenis dari setiap *polycyclic hidrokarbon* yang hasil pembakarannya tumbuh untuk memproduksi sejumlah partikel dari jelaga di dalam *flame* (Glassman, 1989; Griffiths dan Barnard, 1995) [15]. Tahapan pembentukan sebuah asap dari sebuah asap dari molekul benzena dapat dilihat pada gambar 2.3 (Glassman, 1989) [15]. Semua reaksi ini bersifat *reversible* dan hasil dari produk tidak sempurna, *intermediate species*, dari hasil pembakaran benzena dapat beroksidasi walaupun inti atau *nucleus* ( $C_6H_6$ ) sangatlah stabil pada suhu yang tinggi dan sulit untuk beroksidasi. Pada umumnya, *diffusion flame* mengeluarkan sedikit asap atau yang lebih dikenal dengan sebutan *minute particle* dengan ukuran partikel sebesar 10 –

100 nm. Tetapi jika suhu dan konsentrasi oksigen pada suatu api tidak cukup tinggi maka struktur molekul asap akan tumbuh dalam ukuran yang lebih besar dan menggumpal dan menjadi partikel berbahaya yang akan terlepas pada suhu lingkungan yang panas dari sebuah api yaitu 'asap'. Partikel asap itu sendiri juga terdiri dari kumpulan penggumpalan *minute particle* yang berukuran sekitar 1  $\mu\text{m}$  (Gambar 2.4)



**Gambar 2.3.** Proses pembentukan molakul asap dan jelaga (Glassman, 1989) [15].



**Gambar 2.4.** *Transmission electron micrograph* dari partikel asap. Ukuran keseluruhan penggumpalan asap sekitar 6  $\mu\text{m}$  dan diameter dari setiap bulatan partikel asap diperkirakan 0.03  $\mu\text{m}$  (sumber, Mulholland 1995). Foto oleh Eric B Steel, *Chemical science and Technology Labolatory, National Institute of Standards and Technology* [15].

Komposisi dan struktur kimia dari suatu bahan bakar sangatlah penting (Rasbash dan Drysdale, 1982; Glassman, 1989) [15]. Bahan bakar murni dalam jumlah kecil ,seperti karbon monoksida, *formaldehid*, *metaldehid*, *formic acid*, dan *methyl alcohol*, terbakar tanpa api yang bercahaya dan tidak memproduksi sebuah asap. Sedangkan bahan bakar lainnya, terbakar dengan kondisi tertentu, memberikan asap yang besar, bergantung pada kondisi alami dari struktur kimia bahan bakar tersebut. Bahan bakar yang memiliki struktur oksigen di dalamnya seperti *ethyl alcohol* dan *acetone* memberikan memberikan sedikit lebih banyak asap dari pada struktur hidrokarbon yang mereka punya. Sedangkan untuk

hidrokarbon, ada deret geometri dalam kecenderungannya untuk memproduksi sebuah asap dengan partikel bercabang (n-alkana dan iso-alkana), hidrokarbon tak jenuh (alkana, alkena, dan alkuna) dan senyawa aromatic (alkana, aromatik dan *polynuclear aromatic*).

### 2.1.2. Pergerakan Suatu Asap

Korban kebakaran biasanya mengalami kematian ketika mereka tidak mampu untuk mencapai tempat yang aman ketika suatu kebakaran mulai berkembang. Perkembangan suatu kebakaran ini biasanya diakibatkan terlebih dahulu oleh pertumbuhan asap yang jauh lebih besar dari api yang dihasilkan. Sehingga secara sistem keselamatan kebakaran dibutuhkan waktu untuk mencapai titik aman dan waktu untuk berkembangnya asap dari mulai waktu pemicu dan perkembangan asap.

Masalah yang paling besar dalam kematian akibat bahaya kebakaran adalah menghirup asap dan gas beracun (*home, office, 1995; National Fire Protection Association, 1997*) [15]. Pada kasus kebakaran, seseorang korban terkadang dalam keadaan tertidur dan terperangkap pada suatu ruangan. Karena itu, beberapa design sistem keamanan kebakaran harus menyatu terhadap *design* ruangan dan sistem pendeteksian kebakaran.

asap pada umumnya merupakan suatu fluida yang bergerak dibawah pengaruh gaya yang akan bermuatan sebagai penurunan tekanan terhadap sebagian besar fluida. Untuk pergerakan asap terhadap gedung, gaya – gaya berikut dibuat oleh:

- a) Gaya apung yang dibuat langsung oleh api.
- b) Gaya apung yang dibuat secara langsung dari perbedaan antara suhu *ambient* di luar dan di dalam ruangan.
- c) Efek dari pergerakan angin dari luar ruangan dan pergerakan udara.
- d) Sistem pengendalian udara terhadap gedung

a). *Tekanan yang dibuat secara langsung oleh api.* Kebakaran didalam sebuah ruangan membuat suhu yang ada di dalam ruangan menjadi lebih meningkat dan membuat gaya *buoyancy* untuk dari gas hasil kebakaran yang dikeluarkan melalui ventilasi udara yang terbuka. Jika diketahui *temperatur*

sebuah api di dalam ruangan sebesar 850°C (1123 K) dan *temperatur ambient* sebesar 20°C (293 K) dan didapatkan densitas udara dari Table 2.1 [15]. maka perbedaan tekanan untuk ketinggian 1.5 m di bawah bidang neutral sekitar 13 N/m<sup>2</sup>. Nilai ini secara proporsional lebih besar untuk ruangan yang lebih tinggi dan hal ini yang membuat terjadinya tekanan yang bergerak positif dan membuat gaya asap yang lebih besar terhadap asap sekaligus membuat api lebih berkembang.

**Tabel 2.1.** Densitas dari udara sebagai fungsi waktu.

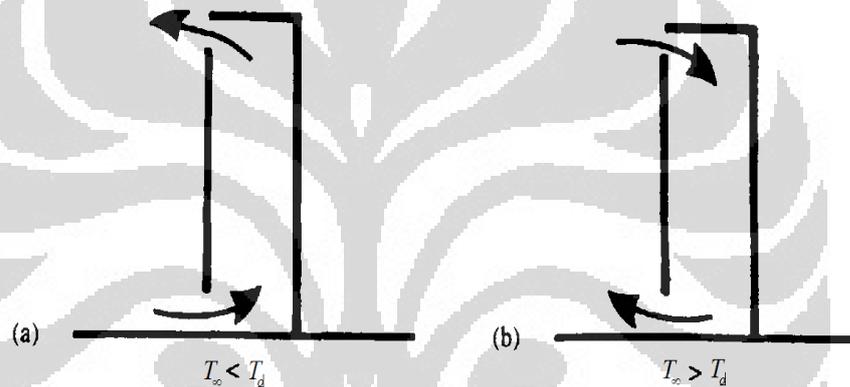
Suhu (K)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )
280	1.26
290	1.22
300	1.18
500	0.70
700	0.50
1100	0.32

b). *Perbedaan tekanan karena gaya apung natural.* Selama asap berada pada suhu yang lebih tinggi dari udara di sekitarnya, maka asap akan mengalami kenaikan, gaya apung per unit volume menjadi  $g(\rho_{\infty} - \rho_0)$ , dimana  $\rho_{\infty}$  adalah densitas dari suhu udara ambient di luar ruangan,  $\rho_0$  adalah densitas udara asap, dan  $g$  adalah gravitasi bumi pada nilai konstan. Api menyediakan energi yang dibutuhkan untuk mengendalikan aliran apung ini yang akan mendominasi pergerakan dalam sekitar api. Bagaimanapun, sebagai salah satu yang menjauh dari pusat titik api, penurunan suhu dan sekumpulan gaya apung akan mengurangi terhadap titik dimana gaya – gaya lain memulai untuk mendominasi perilaku asap. Pada bangunan yang memiliki ruang yang vertikal (ruang tangga dan cerobong lift), perbedaan suhu antara suhu ruang di dalam dan di luar akan memberikan pengaruh pertumbuhan gaya apung atau perbedaan tekanan yang terinduksi bernama efek cerobong asap. Jika suhu di dalam sebuah gedung seragam dan lebih besar dari suhu luar gedung (suhu ambient) kemudian ada pengaruh kecenderungan alamiah bagi udara untuk tertarik pada level terendah dan akan terbuang pada sisi atap (Gambar 2.5. a). berdasarkan pertimbangan ruang berkolom vertikal dari udara yang terkandung di dalam cerobong *lift* dari

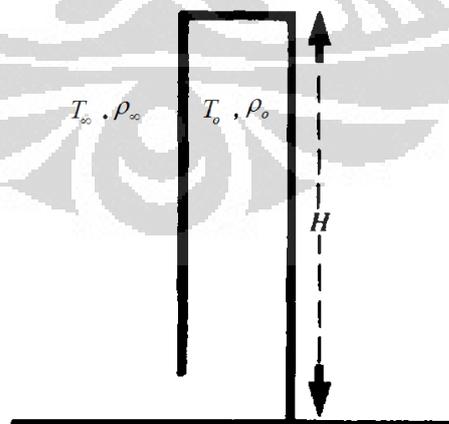
ketinggian  $H$  yang terbuka hanya pada sisi bawah (Gambar 2.6) dan mengambil suhu di dalam ( $T_o$ ) dan luar ruangan ( $T_\infty$ ). Jika tekanan eksternal pada level bawah adalah  $p_o$ , tekanan pada ketinggian  $H$  dan diluar gedung menjadi

$$P_o(H) = p_\infty - \rho_\infty gH \quad \text{dan} \quad p_o(H) = p_o - \rho_o gH$$

Dimana  $\rho_o$  dan  $\rho_\infty$  adalah densitas dari udara pada suhu  $T_o$  dan  $T_\infty$  secara berturut – turut. Dengan demikian, perbedaan tekanan di dalam dan di luar ruangan pada sisi atas atap gedung akan menjadi:  $\Delta p = (\rho_\infty - \rho_o)gH$ , seperti tekanan akan menjadi lebih besar di dalam gedung dari pada di luar gedung. Jika kondisi suhu ambient di luar gedung menjadi lebih panas maka udara akan cenderung mengalir ke sisi bawah gedung (Gambar 2.5 b).



**Gambar 2.5.** Efek cerobong pada gedung yang tinggi. (a) suhu luar ( $T_\infty$ ) < suhu di dalam ruangan ( $T_o$ ): (b)  $T_\infty > T_o$ , menunjukkan arah aliran [15].



**Gambar 2.6.** Asal mula dari efek cerobong (tanpa aliran) [15].

c). *Perbedaan tekanan yang dibuat oleh angin.* Pergerakan angin alami dapat membuat distribusi dari dalam gedung dapat mempengaruhi pergerakan

asap didalamnya. Secara umum, angin bertiup berhadapan dengan sebuah gedung yang akan membuat tekanan lebih besar pada sisi dimana angin bertiup dan akan cenderung membuat pergerakan udara dalam sebuah gedung menuju sisi bawah angin dimana tekanannya lebih rendah.

d). *Perbedaan tekanan dikarenakan sistem pengendali udara.* Banyak gedung – gedung modern mempunyai sistem pengendali udara untuk tujuan pemanasan udara, ventilasi, dan pendinginan (HVAC). Saat kipas tidak jalan, saluran udara dapat menjadi jaringan dari penghubung dimana asap akan bergerak dibawah pengaruh gaya – gaya yang telah disebutkan di atas. Seperti contohnya adalah efek cerobong asap, efek ini akan mempunyai pengaruh lebih besar ketika HVAC dalam keadaan hidup.

Pada saat sebuah material terbakar secara tidak langsung akan menimbulkan laju aliran masa asap melalui persamaan:

$$\dot{M} = 0.071 \dot{Q}_c^{1/3} z^{5/3} \left[ 1 + 0.026 \dot{Q}_c^{2/3} z^{-5/3} \right] \quad (2.1)$$

Dimana  $\dot{Q}_c$  adalah *heat release rate* (kW/m) dari material dan z adalah ketinggian dari lapisan asap (m). Sedangkan suhu dari lapisan asap yang dihasilkan dapat dihitung melalui persamaan:

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{M} C_p} \quad (2.2)$$

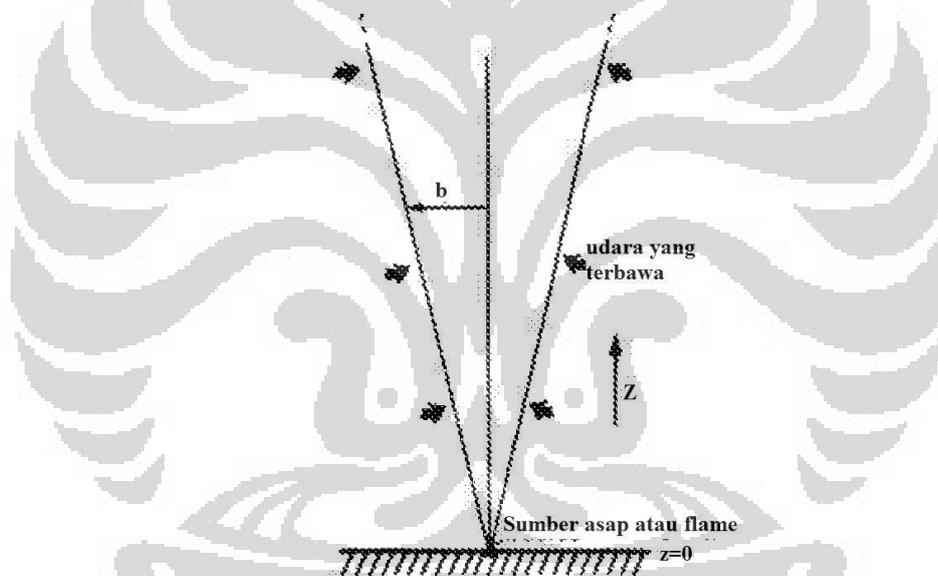
Untuk  $C_p$  adalah koefisien panas spesifik dari udara yang bernilai 1 kJ/kg.K dan  $\Delta T$  adalah perbedaan suhu antara asap dan udara. Suhu asap pada umumnya selalu lebih besar dari temperature udara. Kedua nilai suhu ini selalu mendekati titik kesetimbangan dimana kedua nilai ini akan selalu saling berlawanan.

Pada penulisan sebelumnya dijelaskan bahwa asap memiliki gaya apung. Gaya apung umumnya memiliki pergerakan yang akan mendekati nol dan bahkan bernilai negatif. Sehingga akibat dari pergerakannya yang seperti itu, bentuk dari pertumbuhan asap akan menyerupai jamur atau *plume*. Gaya apung sangatlah dipengaruhi oleh pengaruh gaya gesek fluida yang ada disekitarnya. Pada umumnya, udara cenderung terbawa oleh gaya apung (Gambar 2.7). Kedua

nilai yang saling mempengaruhi ini, mempunyai hubungan garis lurus melalui nilai Grashof dengan persamaan [15]:

$$Gr = \frac{gl^3(\rho_0 - \rho)}{\rho v^2} = \frac{gl^3\beta\Delta T}{v^2} \quad (2.3)$$

Dimana nilai  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),  $l$  adalah panjang lintasan asap terhadap langit-langit ruangan ( $m$ ),  $\rho_0$  adalah masa jenis fluida lingkungan dan  $\rho$  masa jenis dari asap ( $kg/m^3$ ). Semua satuan tersebut merupakan satuan gaya apung. Sedangkan  $\beta$  modulus pendinginan dan  $\Delta T$  adalah perbedaan suhu antara asap ( $K$ ) dan fluida diluar ruangan. Gaya apung dan gaya gesek fluida pada persamaan 2.3 diatas sangatlah dipengaruhi oleh volume ( $v$ ) ruangan ( $m^3$ ) yang dibahas pada bahasan sebelumnya sudah bahwa  $g(\rho_0 - \rho)$ .



**Gambar 2.7.** Pergerakan gaya apung [15].

Gambar 2.7 sudah menggambarkan secara singkat bagaimana kepulan asap terjadi. Pada peristiwa pertumbuhan kepulan asap, terdapat istilah yang disebut sebagai fenomena konveksi. Fenomena ini didapat dari beberapa pendekatan konservasi masa, momentum, dan energi [10, 12]. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan mengasumsikan nilai radius  $b$  pada ketinggian  $z$  dari sumber asap pada tekanan atmosfer adalah tidak terdefinisi atau tidak terhingga untuk masa jenis udara  $\rho_0$  dengan rendahnya perbedaan suhu antara udara dan

keputulan asap dan mengabaikan gaya viskositas yang terjadi. Sehingga didapat persamaan konservasi momentum berikut ini:

$$\frac{d}{dz}(\rho_o u_o^2 b^2) \approx g(\rho_o - \rho_\infty) b^2 \quad (2.4)$$

Dimana  $\rho_o$  adalah masa jenis keputulan asap ( $\text{kg/m}^3$ ) dengan  $u_o$  adalah kecepatan aliran keputulan asap (m/s) dan  $b$  adalah diameter asap (m). Sedangkan untuk persamaan konservasi masa dapat ditulis dengan persamaan:

$$\frac{d}{dz}(\rho_o u_o^2 b^2) \approx \rho_\infty v b \approx \rho_\infty u_o b \quad (2.5)$$

Sedangkan  $v$  dalam persamaan 2.5 adalah kecepatan angin yang masuk ke dalam keputulan asap (m) dikarenakan aliran masa pada ketinggian  $z$ . Untuk konservasi energi dilakukan pendekatan menggunakan persamaan:

$$c_p \rho_o u_o b^2 \Delta T \approx \dot{Q}_{conv} \quad (2.6)$$

Dimana  $c_p$  adalah koefisien panas spesifik dari asap ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}$ ). dan  $\dot{Q}_{conv}$  adalah panas yang dihasilkan secara konveksi (kJ).

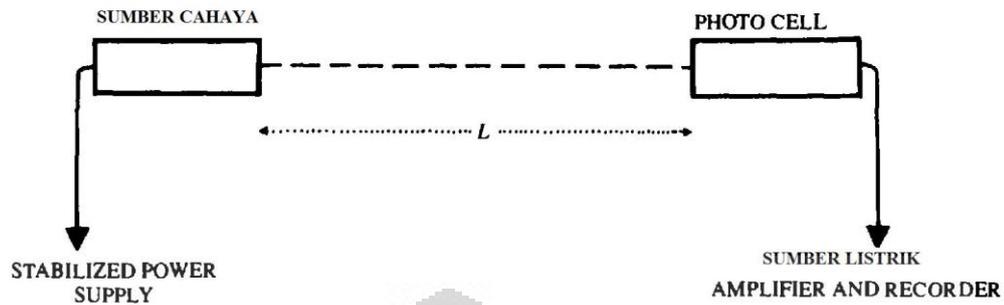
### 2.1.3. Pengukuran Asap

Ada beberapa metode dalam mengukur partikulat asap dari material yang terbakar dan dapat memungkinkan untuk memilih metode sebagai berikut:

- a) Menyaring asap dan menentukan berat dari material (hanya cocok untuk pengujian skala kecil) (ASTM, 1989) [15];
- b) Mengumpulkan asap pada volume yang sudah diketahui dan menentukan *optical density*-nya (untuk skala kecil dan menengah) (Rasbash dan Philips, 1978; ASTM, 1994a; ISO, 1990) [15]; dan
- c) Membiarkan asap untuk mengalir sepanjang pipa, dan mengukur *optical density*-nya dimana penyumbatan aliran sudah ditetapkan dan menyatu dalam satu perangkat tersebut untuk mengukur total partikulat asap (Atkinson dan Drysdale, 1989; ASTM, 1993d; Babrauskas, 1995b) [15].

Diantara ketiga metode tersebut, metode yang paling memungkinkan dalam eksperimen ini adalah metode pada poin (b). *Optical density* dapat

dientukan dengan pengukuran melalui *beam of light* yang melewati asap (Gambar 2.8)



**Gambar 2.8.** Gambaran cara kerja *beam of light* untuk mengukur *optical density* [15].

Pada Gambar 2.8, *beam of light* atau sumber cahaya menembakkan cahaya ke *foto cell* dengan jarak ( $L$ ). Jika pada saat pengaktifan *beam of light* tidak ada asap yang terukur, intensitas yang diterima oleh *recorder* akan bernilai  $I_0$  atau nilai intensitas awal. Pada saat asap melewati sinar dari sumber cahaya, intensitas yang terukur akan bernilai  $I_x$  sebagai intensitas yang berkurang dari intensitas awal. Hubungan kedua nilai intensitas ini dijelaskan melalui hukum Bouger [4, 21]:

$$I_x = I_0 \exp(-KL) \quad (2.7)$$

Di mana  $K$  adalah koefisien absorpsi dengan satuan  $m^{-1}$  dan  $L$  adalah jarak sumber cahaya dan foto cell. Untuk nilai *optical density* atau OD dengan satuan (1/m) dicari melalui persamaan [4]:

$$OD = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I_x} \right) = KL \quad (2.8)$$

Besarnya nilai transmisi cahaya diperoleh dari perbandingan intensitas asap yang terukur dan intensitas awal pada persamaan:

$$T = \frac{I_x}{I_0} = 1 - \frac{N}{100} \quad (2.9)$$

Di mana  $T$  adalah besar nilai transmisi cahaya yang diterima oleh *photo cell* dengan satuan persentase (%) dan  $N$  adalah persentase opasitas yang terukur pada *photo cell* (%). Sehingga dari hubungan persamaan (2.3) dan (2.4) dapat disubstitusikan ke persamaan (2.5), didapatkan persamaan baru:

$$T = \exp(-OD) \quad (2.10)$$

Dengan demikian, nilai *optical density* berhubungan secara linier dengan nilai transmisi melalui persamaan:

$$OD = \log_{10} \left( \frac{1}{T} \right) \quad (2.11)$$

Dengan mendapatkan nilai koefisien absorpsi pada persamaan 2.3 dan 2.4, konsentrasi masa asap yang terukur didapat dengan menggunakan persamaan [4]:

$$m = \frac{K}{K_m} \quad (2.12)$$

Di mana  $K_m$  adalah *specific extinction coefecient* dengan satuan  $m^2 g^{-1}$ . Dengan demikian, masa asap dalam satuan gram dapat dicari melalui hubungan konsentrasi masa asap melalui persamaan:

$$M_s = V_r \times m \quad (2.13)$$

Dengan  $V_r$  adalah volume ruangan di mana asap tertampung pada suatu ruang dalam satuan  $m^3$ . Maka dengan mendapatkan nilai masa asap, didapat nilai *soot yield* (g/g) dari persamaan [4, 21]:

$$Y_s = M_s / M_b \quad (2.14)$$

Sedangkan  $M_b$  adalah masa bahan bakar yang terbakar dengan satuan gram.

### 2.3. SISTEM DETEKSI KEBAKARAN

Dalam mendeteksi suatu kebakaran dan bahayanya, diperlukan beberapa ketentuan – ketentuan khusus seperti design ruangan dan jenis sistem proteksi aktif yang dibutuhkan. Secara umum, tujuan digunakanya sistem deteksi kebakaran adalah untuk tujuan keselamatan hidup, perlindungan terhadap struktur bangunan, perlindungan harta benda, dan dampak terhadap lingkungan. Dalam merancang suatu sistem deteksi kebakaran, diperlukan sistem deteksi yang dini dalam terhadap suatu respon deteksi tersebut.

Dalam merancang sistem deteksi untuk keselamatan hidup, deteksi kebakaran yang lebih dini sangatlah diperlukan khususnya bertujuan untuk waktu

evakuasi yang sesuai bagi korban kebakaran. Tujuan dalam perlindungan struktur bangunan adalah dalam sudut pandang ekonomis dari material bangunan yang dapat dengan mudahnya terbakar dan menimbulkan kerugian yang sangat besar jika terbakar contohnya jika dinding bangunan terbuat dari gypsum dengan dinding yang terbuat dari bata maka akan dengan mudah dinding gypsum tersebut akan terbakar dan membuat barang berharga lainnya ikut terbakar jika dibandingkan menggunakan dinding bata. Tujuan melindungi harta benda berharga adalah untuk menjaga jika barang yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi terbakar seperti dokumen-dokumen atau berkas-berkas penting. Sedangkan perlindungan terhadap lingkungan adalah perlindungan yang berhubungan terhadap keselamatan lingkungan dari bahaya gas beracun seperti asap dan radikal bebas yang berbahaya.

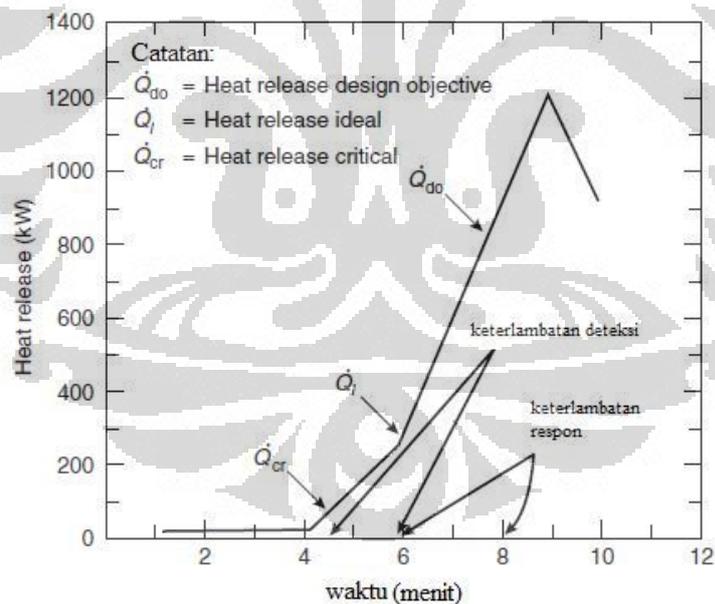
Untuk merancang suatu sistem deteksi yang harus dilakukan adalah menentukan penempatan dimana suatu detektor tersebut diletakkan untuk mendapatkan respond detektor yang sesuai dengan bahaya kebakaran. Untuk itu, perlu dilakukan banyak pengembangan terhadap sistem deteksi kebakaran untuk menghemat biaya dan membuat efisiensi deteksi yang baik. Di dalam suatu sistem deteksi, ada istilah yang disebut sebagai delay. Istilah ini merupakan sebutan bagi suatu sistem yang mengalami keterlambatan untuk mendeteksi bahaya kebakaran. Sejumlah tipe deteksi kebakaran banyak dikembangkan untuk mendapatkan efisiensi yang sesuai. Pada Tabel 2.2 di bawah, diberikan informasi tentang kemampuan dan tipe deteksi yang sesuai dengan spesifikasinya.

Agar suatu sistem deteksi tidak mengalami sebuah sistem keterlambatan, perancang harus memahami titik *heat release* berbahaya dimana suatu kebakaran terjadi. Kurva kenaikan *heat release rate* suatu kebakaran dapat ditunjukkan melalui gambar 2.9 yaitu dengan membagi titik *heat release* menjadi tiga bagian yaitu,  $\dot{Q}_{do}$ , sebuah *heat release* yang menyatakan kondisi suatu kebakaran bahawa dimulainya pembesaran api yang sudah memasuki ambang *fully developed fire* seperti pada bahasan sebelumnya. Pada suatu kondisi seperti ini suatu sistem deteksi harus benar – benar sudah mendeteksi bahaya. Jika terjadi delay dalam keadaan *heat release* seperti ini, bisa dipastikan akan menimbulkan kerugian yang dibicarakan pada aspek kerugian diatas.

**Tabel 2.2.** *Fire Signature* dan sistem deteksi yang sesuai [18].

Fire Signature/ Detector Type	Electromagnetic Radiation Wave Length 1700 to 2900 Angstroms	Electromagnetic Radiation (thermal) 6500 to 8500	Invisible Products of Combustion Less Than 0.1 Micron	Visible Smoke and Products of Combustion More Than 0.1 Micron	Rapid Change in Temperature	High Temperature
Ultraviolet detector	X					
Infrared detector		X				
Sub-micron particle detector						
Wilson cloud chamber			X			
Infrared particle detector						
Smoke detector photoelectric ionization			X	X		
photo beam				X		
Rate-of-rise heat detector					X	
Rate anticipation heat detector						X
Fixed temperature heat detector						X

Sedangkan  $\dot{Q}_i$  dalam istilah ini merupakan *heat release rate ideal* yaitu sebuah titik dimana suatu kebakaran harus segera dideteksi agar bisa memberikan waktu bagi korban kebakaran untuk melakukan sebuah evakuasi atau penyelamatan diri.

**Gambar 2.9.** Rancangan kurva kebakaran [18].

*Heat release critical* atau  $\dot{Q}_{cr}$  adalah heat release yang menyatakan bahwa pada titik inilah sebuah bahaya seharusnya sudah ditentukan untuk memenuhi kriteria evakuasi korban yang lebih aman daripada kedua *heat release* yang sebelumnya.

### 2.3.1. Sistem Deteksi Panas (*Heat Detection*)

Berdasarkan Tabel 2.2 ada tiga buah tipe dari *heat detector* yaitu: *rate-of-rise heat detektor*, *rate anticipation heat detektor*, dan *fixed temperature heat detektor*. Perbedaan ketiga *detector* tersebut hanya pada jenis kemampuannya dalam mendeteksi suatu asap baik karena perubahan suhu yang sangat cepat dan suhu yang tinggi

Masalah deteksi yang sering dihadapi oleh *detector* panas adalah jarak maksimum dan antara lokasi kebakaran dan *detector* tersebut. Diperlukan beberapa data yang sesuai untuk memperkirakan pemasangan *heat detector* seperti pertumbuhan jamur api atau *fire plume* dan *ceiling jet model* yang digunakan untuk memperkirakan suhu dan kecepatan gas kebakaran yang mengalir melalui *detector*. Dengan demikian, *heat transfer* dari model kebakaran dapat dihitung dan respon dari detektor dapat diperkirakan.

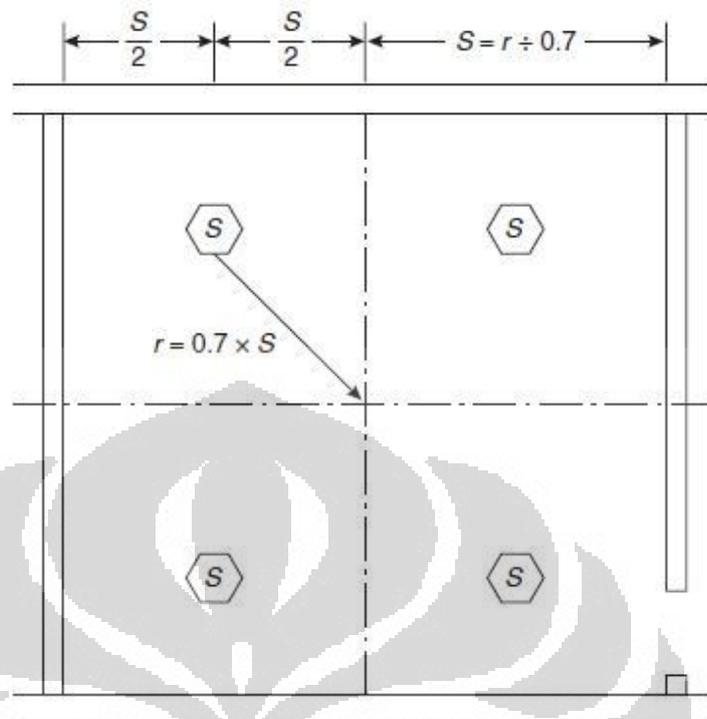
Aturan dan kode pemasangan *heat detector* sudah diatur oleh NFPA 72, *National Fire Alarm Code*®, edisi 8 1999 [18]. Dengan mengatur jarak dari setiap *heat detector* dengan jarak yang sudah ditentukan pada suatu ruangan seperti Gambar 2.10 melalui persamaan:

$$S = 2^{1/2} r \quad (2.15)$$

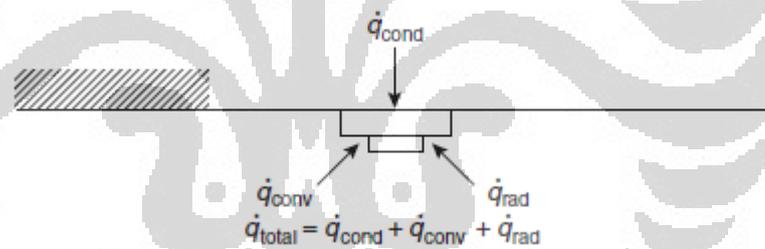
Untuk *heat detector* yang diberikan, permasalahan yang terjadi adalah menentukan jarak maksimum *detector* dari api dan masih bisa merespon keadaan bahaya. Dengan demikian, metode yang baik untuk masalah ini adalah menentukan respon *detector* berdasarkan pertumbuhan dan ukuran api, batas ketinggian, dan karakteristik *detector*. Model yang paling baik dalam untuk memperhitungkan hal ini adalah model jamur api dan ketinggian api pada Gambar 2.11 yang dapat memperkirakan suhu dan kecepatan dari pertumbuhan api yang melewati *heat detector* dengan pengaruh dari perpindahan panas.

$$\dot{q}_{total} = \dot{q}_{konduksi} + \dot{q}_{konveksi} + \dot{q}_{radiasi} \quad (2.16)$$

Pada persamaan 2.13 menggambarkan  $\dot{q}_{total}$  (perpindahan panas total) yang berpengaruh terhadap *heat detector*.



**Gambar 2.10.** Jarak setiap detektor [18].



**Gambar 2.11.** Perpindahan kalor yang terjadi pada atap [18].

Di dalam melakukan perancangan sistem deteksi *heat detector* terdapat tiga pendekatan yaitu *steady state fire* (pertumbuhan api yang tetap), peningkatan pertumbuhan api atau pemodelan *Quasi steady state*, dan pendekatan *Power Law Fire*.

a. Pendekatan *steady state fire*

Seorang peneliti Alpert [18] menggunakan pendekatan dalam ketinggian jet api sebagai fungsi dari *heat release* dan posisi dari kondisi api yang tetap dengan empat asumsi untuk  $r/H > 0.18$ ;  $r/H \leq 0.18$ ;  $r/H > 0.15$ ; dan  $r/H \leq 0.15$  dimana  $r$

adalah jarak jari – jari dari titik dari pertumbuhan api (m) dan  $H$  adalah ketinggian api (m).

Pendekatan ini mengasumsikan suhu dan kecepatan panas api pada titik yang menjauh dari sumber api berhubungan dengan kenaikan *heat release* yang tiba – tiba dari api. Pendekatan ini mengabaikan waktu yang dibutuhkan gas hasil pembakaran terhadap *detector*. Juga karena hubungan berdasarkan *heat release* keseluruhan dibandingkan *heat release* yang dihasilkan karena konveksi. Sedangkan kesalahan dari pendekatan ini dapat diketahui ketika fraksi panas konvektive berbeda dari *heat release* dalam percobaan.

b. Pendekatan terhadap pertumbuhan api dan *Quasi steady state modeling*

Pertumbuhan api dapat dimodelkan dengan mengasumsikan terhadap api yang memiliki berbagai macam peningkatan *heat release* berdasarkan *quasi steady state modeling* mengubah kurva *heat release rate* ke dalam beberapa macam interval waktu yang kecil. Untuk setiap interval, digunakan rata – rata untuk setiap interval tersebut untuk menghitung suhu dan kecepatan gas hasil pembakaran.

c. Hukum pertumbuhan api (*power-law fire*)

Pendekatan yang lainnya adalah pendekatan terhadap pertumbuhan api berdasarkan nilai *heat release*-nya. Heskested dan Delichatsios [18] memberikan sebuah persamaan yang memodelkan pertumbuhan suhu dan juga kecepatan pertumbuhan api berdasarkan hubungan *Power law* pada persamaan berikut:

$$\dot{Q} = \alpha t^p \text{ kW} \quad (2.17)$$

Dimana  $\alpha$  adalah konstanta bahan bakar yang menggambarkan pertumbuhan api ( $\text{kW/s}^2$ ),  $t$  adalah waktu, sedangkan  $p$  adalah *positive exponent*, dan  $\dot{Q}$  adalah *heat release rate* (kW).

Berdasarkan ketiga pendekatan tersebut, Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 03-3985-2000 mengatur beberapa jenis *heat detector* berdasarkan variasi suhu *ambient* [23] yang digambarkan pada Tabel 2.3 di bawah.

**Tabel 2.3.** Klasifikasi *temperatur* atau suhu [23].

Klasifikasi temperatur	Rentang nilai temperatur ( °C )	Temperatur maksimum langit-langit ( °C ).	Kode warna
Rendah*	37,7 ~ 56,6	-6,6 kebawah**	Tak berwarna
Sedang	57 ~ 78,8	37,7	Tak berwarna
Menengah	79 ~ 120,5	65,5	putih
Tinggi	121 ~ 162,2	107,2	biru
Ekstra tinggi	163 ~ 203,8	148,8	merah
Ekstra sangat tinggi	204 ~ 259,4	190,5	hijau
Ultra tinggi	260 ~ 301,6	246	oranye

\*Dimaksud hanya untuk pemasangan daerah dimana *ambient* dikontrol. Unit diberi tanda untuk menunjukkan temperatur ambien maksimum pemasangan.

\*\**Temperatur* maksimum langit-langit 200 atau lebih dibawah nilai *temperatur detector*.

### 2.3.2. Sistem Deteksi Asap (*Smoke Detector*)

Untuk menentukan apakah suatu *smoke detector* (Gambar 2.12) akan merespon bahaya pada titik  $\dot{Q}_{cr}$ , sejumlah faktor penyebabnya harus segera dilakukan evaluasi. Hal ini termasuk karakteristik *smoke aerosol*, *aerosol transport*, aerodinamika *detector*, dan respon sensor. *Smoke aerosol* merupakan fungsi dari komposisi bahan bakar, tipe pembakaran (*smoldering* atau *flaming*). Secara umum, terdapat dua tipe *smoke detector* yaitu ionisasi dan *photoelectric*. Pada akhirnya, kedua detektor tersebut akan memberikan respon secara berbeda tergantung dari karakteristik perpindahan aerosol [18].

**Gambar 2.12.** *Smoke detector* [2].

Kebanyakan peneliti dalam bidang teknik keselamatan kebakaran sering mengukur dan mengolah data pada *heat release rate*, suhu, dan kecepatan dari uap pembakaran dan juga *optical density* dan *obscuration* per unit jarak dari asap dari

setiap lokasi percobaan yang berbeda. Dalam pengukuran ini kebanyakan para peneliti menggunakan data dari *optical density* dan *obscuration* atau *Opasitas*. Percen *obscuration*,  $O$  dicari menggunakan persamaan:

$$O=100\left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \quad (2.18)$$

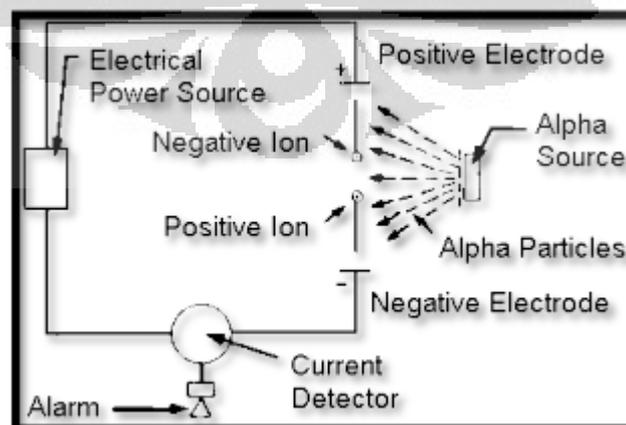
Sedangkan persen *obscuration* per unit jarak,  $O_u$ , didapat melalui persamaan:

$$O_u=100\left[1 - \left(\frac{I}{I_0}\right)^{1/l}\right] \quad (2.19)$$

Dimana  $l$  adalah jarak dari *photocell* sebuah *smoke detector* terhadap sumber cahaya. Sedangkan untuk *optical density* bisa dicari melalui hukum Bouger melalui persamaan 2.7 sampai 2.11.

a) *Smoke detector* tipe ionisasi

*Detector* ionisasi merupakan sebuah *detector* yang mengirimkan sejumlah kecil bahan radioaktif yang mengionisasi di udara pada suatu ruang penginderaan. Karena hal tersebut, udara mempunyai sifat yang konduktif dan membiarkan arus mengalir dan menembus dua elektroda yang bermuatan. Dengan demikian, alat ini menjadikan suatu ruangan dengan konduktifitas listrik yang efektif. Ketika aerosol sebuah asap mulai memasuki daerah ionisasi, partikel ini menurunkan sifat konduksi dari udara melalui ion – ion yang menyebar pada suatu ruangan dan menyebabkan penurunan perpindahan ionisasi. Ketika suatu konduktansi dalam keadaan yang rendah dibandingkan suatu nilai yang ditentukan, *detector* akan mulai merespon seperti pada skema kerja *smoke detector* pada Gambar 2.13 [2].

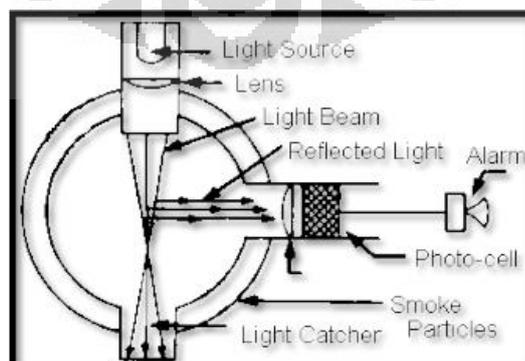


**Gambar 2.13.** Skema *smoke detector* tipe ionisasi [2,25].

*Smoke detector* tipe ionisasi hanya bekerja dengan baik terhadap partikel yang tidak kelihatan (ukuran lebih kecil dari satu mikron) yang diproduksi oleh kebanyakan asap nyala kebakaran tipe *flaming* seperti yang digambarkan oleh Tabel 2.2 tentang berbagai macam jenis detektor. *Smoke detector* tipe ini kurang begitu baik terhadap partikel yang lebih besar dari satu mikron yang dihasilkan dari jenis pembakaran *smoldering* [2]. Secara umum, batas *smoke obscuration* yang dibutuhkan untuk mengaktivasi *smoke detector* tipe ionisasi sebesar 3,28 %/m.

b) *Smoke detector* tipe *photoelectric*

*Smoke detector* tipe *photoelectric* terdiri dari suatu sumber cahaya dan suatu sensor cahaya yang disusun sedemikian rupa sehingga sinar dari sumber cahaya (*light scattering*) secara tidak normal jatuh ke sensor cahaya. Faktor yang mempengaruhi *smoke detector* tipe ini adalah jumlah partikel dan ukurannya, panjang gelombang dari sumber cahaya dan sudut antar sumber cahaya dengan *receiver*. Ketika partikel asap masuk ke lintasan cahaya, sebagian dari cahaya terpencarkan oleh pantulan dan pembiasan ke sensor menyebabkan *detector* itu bereaksi (Gambar 2.14). Deteksi pancaran cahaya tipe *photoelectric* 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 tipe kebakaran *flaming combustion* dan terhadap asap yang hitam. Sama seperti karakteristik *smoke detector* ionisasi pada umumnya, batas *smoke obscuration* yang dibutuhkan untuk mengaktivasi detektor tipe fotoelektrik sebesar 3,28 %/m [2].



**Gambar 2.14.** Cara kerja *smoke detector* tipe *photoelectric* [2,25].

## 2.4. SISTEM PENGOLAHAN CITRA (*IMAGE PROCESSING*)

Pada bahasan sebelumnya, sudah dibahas berbagai macam jenis deteksi kebakaran dan berbagai macam kekurangan serta kelebihanya. Namun, baru – baru ini perkembangan dari dunia pengolahan citra sudah sangat berkembang terutama ke dalam bidang teknik keselamatan kebakaran.

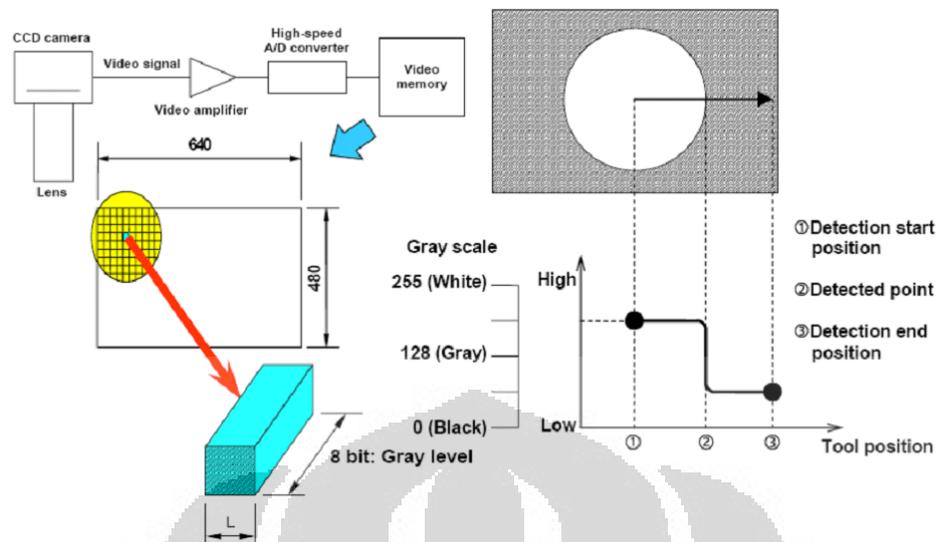
Perkembangan sistem deteksi ini pun juga digabungkan dengan dengan sistem dari kamera pengaman sehingga peningkatan keamanan pun juga dapat dilakukan sekaligus.

### 2.4.1. Pengolahan Citra

Secara umum, pengolahan citra sangatlah dibutuhkan bagi peningkatan kualitas otomatisasi mulai dari peningkatan kualitas produk, peningkatan kecepatan proses manufaktur, sampai kepada penurunan biaya, ramah lingkungan, dan mempunyai tingkat keamanan dan keselamatan yang tinggi [23].

Pada dasarnya sistem pengolahan citra adalah mengolah dan mengidentifikasi jenis suatu warna atau nilai dari red, green, blue (RGB) dari sebuah gambar berdasarkan langkah pemilihan *filtering* dari suatu gambar (Gambar 2.12). Nilai RGB dari suatu gambar tersebut tersusun atas sebuah matriks antara baris dan kolom (x,y). Sebuah gambar akan memiliki kualitas gambar yang sangat baik jika besar kolom ke arah-x dan ke arah-y semakin panjang sehingga gambar tersebut memiliki identitas warna yang sangat baik.

Pada pengolahan citra, *image* yang diolah biasanya akan dilakukan pengecilan ukuran memori gambar melalui perubahan gambar RGB terhadap *grayscale* sehingga *image* akan mudah untuk diolah. Setelah gambar siap dalam keadaan *grayscale*, berbagai macam *metode filtering* siap untuk digunakan mulai dari memperhalus sampai member kekasaran gambar melalui *thresholding*. Proses *filtering* untuk menghilangkan noise, bintik – bintik atau bercak kecil pada gambar, seperti *erosion*, *dilation*, *salt*, *and papper*, juga *convolution*, dan *median filter* banyak digunakan sebagai pelengkap dari proses penentuan *threshold*. Dengan *filtering* tersebut, deteksi sebuah tepi dapat dengan jelas terlihat dan akan membantu dalam proses pemilihan gambar.



**Gambar 2.12.** Sistem kerja pengolahan citra [23].

#### 2.4.2. Operasi Pengolahan Citra (*Image Processing Operation*)

Dalam mengolah sebuah gambar atau *image* ada beberapa proses operasi yang umum digunakan. Berikut ini adalah beberapa operasi yang digunakan dalam sebuah pengolahan citra

##### a) *Thresholding*

Sebuah proses dalam memisahkan antara suatu piksel yang bernilai rendah dan yang bernilai tinggi menggunakan nilai tengah dari seluruh rata-rata nilai piksel yang ada. Algoritma operasi yang digunakan umumnya dalam persamaan berikut:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{if } f(x, y) < T \end{cases} \quad (2.20)$$

Dimana  $T$  adalah nilai *threshold* yang ingin dijadikan acuan. Nilai *threshold* sendiri bisa merupakan nilai tengah dari seluruh rata-rata nilai piksel.

##### b) *Erosi*

Proses ini lebih dikenal dengan proses pengerutan atau *shringking*, algoritma yang digunakan seperti contoh berikut:

```

sum=c(y-1,x-1)+c(y-1,x)+c(y-1,x+1)+c(y,x-1)+c(y,x+1)+c(y+1,x-
1)+c(y+1,x)+c(y+1,x+1);
    if (sum<8)B0(y,x)=0;
    else B0(y,x)=c(y,x);

```

c) Dilasi (*dilation*)

Proses ini lebih dikenal dengan proses pelebaran atau *expanding*, algoritma yang digunakan seperti contoh berikut:

```

sum=c(y-1,x-1)+c(y-1,x)+c(y-1,x+1)+c(y,x-1)+c(y,x+1)+c(y+1,x-
1)+c(y+1,x)+c(y+1,x+1);
    if (sum>8)C0(y,x)=1;
    else C0(y,x)=c(y,x);

```

d) Edge

Proses ini digunakan untuk mencari *edge*, algoritma yang digunakan seperti contoh berikut:

```

sum=c(y-1,x-1)+c(y-1,x)+c(y-1,x+1)+c(y,x-1)+c(y,x+1)+c(y+1,x-
1)+c(y+1,x)+c(y+1,x+1);
    if (sum==8)D0(y,x)=0;
    else D0(y,x)=c(y,x);

```

e) Salt

Proses ini digunakan untuk menghapus *noise* (bintik – bintik) putih (*salt*), algoritma yang digunakan seperti contoh berikut:

```

sum=c(y-1,x-1)+c(y-1,x)+c(y-1,x+1)+c(y,x-1)+c(y,x+1)+c(y+1,x-
1)+c(y+1,x)+c(y+1,x+1);
    if (sum==8)E0(y,x)=1;
    else E0(y,x)=c(y,x);

```

f) Pepper

Proses ini digunakan untuk menghapus *noise* (bintik – bintik) hitam (*pepper*), algoritma yang digunakan seperti contoh berikut:

```

sum=c(y-1,x-1)+c(y-1,x)+c(y-1,x+1)+c(y,x-1)+c(y,x+1)+c(y+1,x-
1)+c(y+1,x)+c(y+1,x+1);
    if (sum==0)F0(y,x)=0;
    else F0(y,x)=c(y,x);

```

g) Salt – pepper

Proses menghilangkan kedua *noise salt* dan *pepper* secara bersamaan. Algoritma yang diberikan seperti contoh berikut ini:

```

sum=c(y-1,x-1)+c(y-1,x)+c(y-1,x+1)+c(y,x-1)+c(y,x+1)+c(y+1,x-
1)+c(y+1,x)+c(y+1,x+1);
    if (sum==0) E0(y,x)=0;
    elseif (sum==2040) E0(y,x)=1;
    else E0(y,x)=c(y,x);

```

dimana  $c$  merupakan suatu komponen matriks sebuah *image* atau gambar yang tersusun atas komponen baris- $y$  dan kolom- $x$ .

#### h) Histogram equalization

Histogram merupakan suatu angka yang menunjukkan suatu nilai intensitas piksel pada sebuah *image* atau gambar. Contoh algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut:

```

[x2, y2]= size (d3);
nt=x2*y2;
p=0
M=256

for i=p+1:M-1
    n(i)=0
    h(i)=0
end

for k=1:x2
    for l=1:y2
        for i=p+1:M-1
            if c3(k,l)==i
                n(i)=n(i)+1;
                h(i)=n(i)/nt;
            end
        end
    end
end

figure
bar(n)
figure
bar(h)

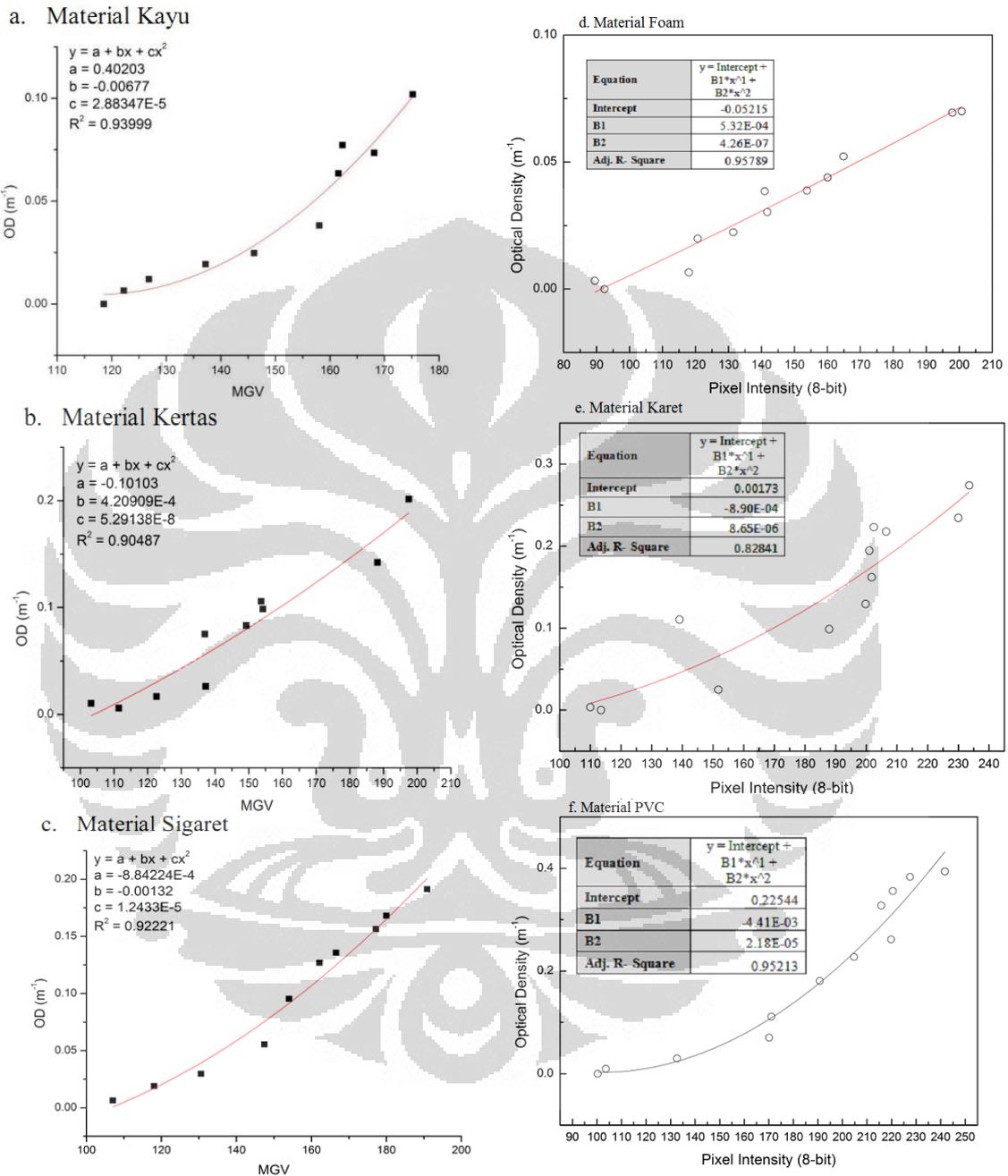
```

dimana  $x2$  dan  $y2$  adalah berturut - turut baris dan kolom dalam matriks sebuah gambar matrik  $d3$ . Dan  $nt$  adalah jumlah total piksel yang ada dalam sebuah gambar. Sedangkan  $i$  adalah piksel ke- $i$  ( $i = 1, 2, 3\dots$ ). Untuk  $M$  adalah nilai piksel tertinggi. Nilai  $h$  adalah histogram gambar.

#### 2.4.3. Korelasi Hubungan Intensitas Piksel Sebuah Asap dan *Optical Density* Asap

Sudah dijelaskan bahwa *optical density* merupakan sebuah tingkat ketebalan asap. Pada penelitian yang dilakukan oleh Fakhrurozi [11] dan Cahyo

[12], dilakukan sebuah hubungan atau korelasi dari nilai *optical density* dan intensitas piksel (Gambar 2.13) dari asap yang dihasilkan melalui pemanasan material polimer dan selulosa.



**Gambar 2.13.** Hubungan korelasi antara *optical density* dan *mean grey value* atau *pixel intensity* dari material (a) kayu, (b) kertas, (c) sigaret, (d) foam, (e) karet, dan (f) PVC [11,12].

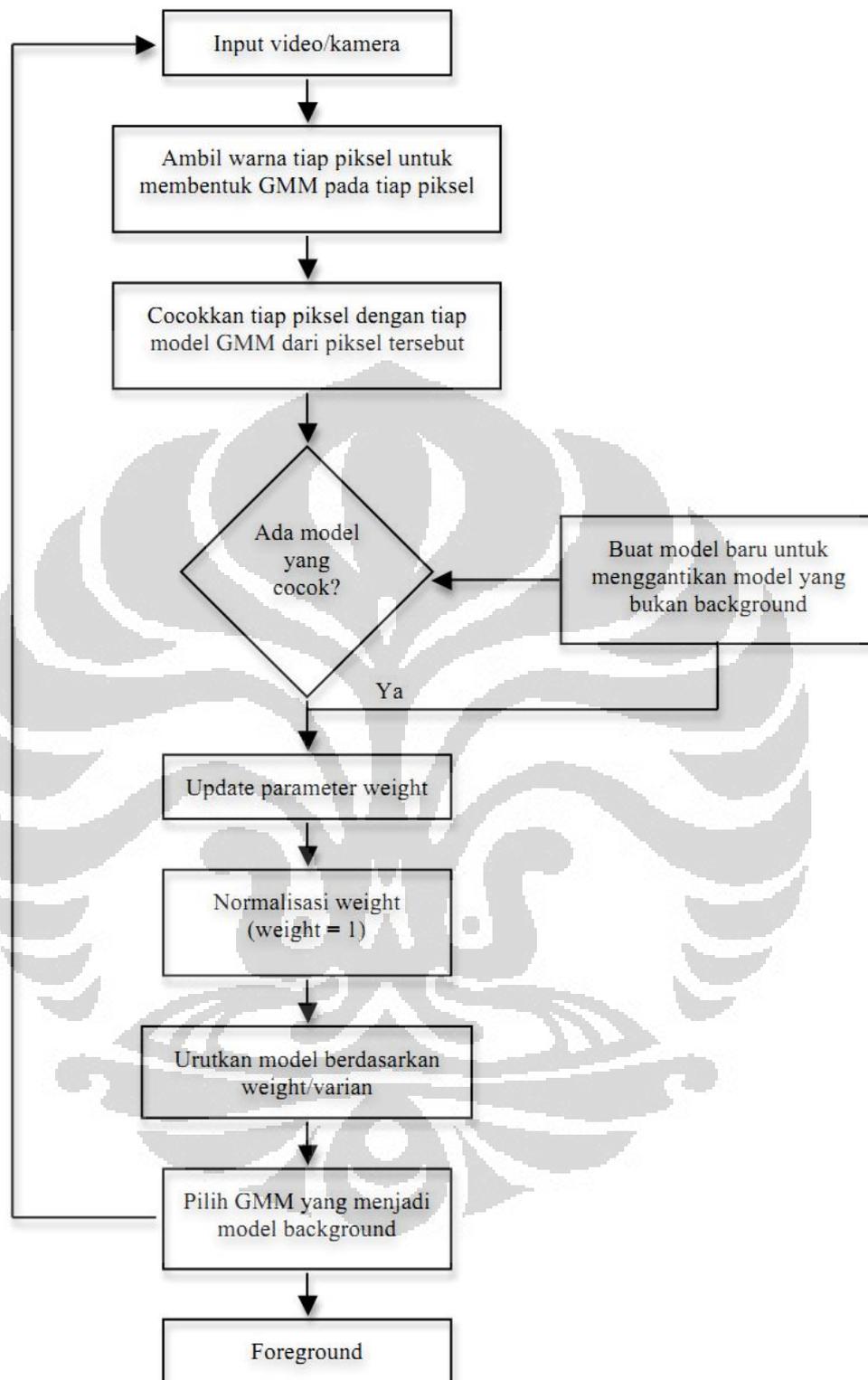
Dari Gambar 2.13 yang sudah di tunjukkan, bahwa intensitas piksel atau derajat keabuan sebuah asap sangatlah dekat dengan nilai *optical density* dan untuk nilai *optical density* yang bernilai nol maka tingkat *mean grey value* atau intensitas pikselnya akan bernilai seratus.

## 2.5. SMOKEDETECTION OPEN CV

Sebuah sistem deteksi asap berbasis citra yang sudah dikembangkan oleh Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24]. Sistem deteksi ini dikembangkan dengan menggunakan metode segmentasi *adaptive Gaussian Mixture Model* (GMM) oleh Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24] melakukan modifikasi terhadap proses segmentasi yaitu dengan menggunakan metode Bayesian. Berdasarkan penelitian Lutfi [9], metode GMM masih lebih baik dibandingkan dengan Bayesian untuk mengidentifikasi objek asap. Selain segmentasi terhadap object yang bergerak, *software* ini dilengkapi oleh sistem inferensi *fuzzy* dalam mendefinisikan bahaya. Secara sistem kerjanya menggunakan segmentasi object, *Smokedetection* yang dikembangkan oleh Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24] berdasarkan skema Gambar 2.14.

Ketika sebuah frame dari video camera masuk ke dalam sebuah pemodelan, komponen gaussian kemudian dibuat dari setiap piksel yang diubah ke dalam citra *greyscale* pada frame tersebut sebagai *mean value* untuk inisialisasi varian dan bobot. Kemudian gaussian dari piksel tersebut di cocokkan terhadap piksel tersebut untuk mendapatkan *background* (objek yang tidak bergerak) yang diinginkan menggunakan nilai *threshold (T)* dari piksel tersebut berdasarkan nilai *weight* dan varian pikselnya.

Untuk piksel yang diidentifikasi sebagai *foreground* akan memiliki distribusi standar deviasi bernilai 2.5 dan selebihnya jika distribusi tersebut tidak sama dengan 2.5 maka akan tetap diidentifikasi sebagai *background*. Pada Gambar 2.15(a) dan (b) di bawah ini menunjukkan citra yang di identikasi sebagai *background* dan juga *foreground*.



**Gambar 2.14.** Tahapan segmentasi objek dari mulai *background* hingga *foreground* [8,9, 24].

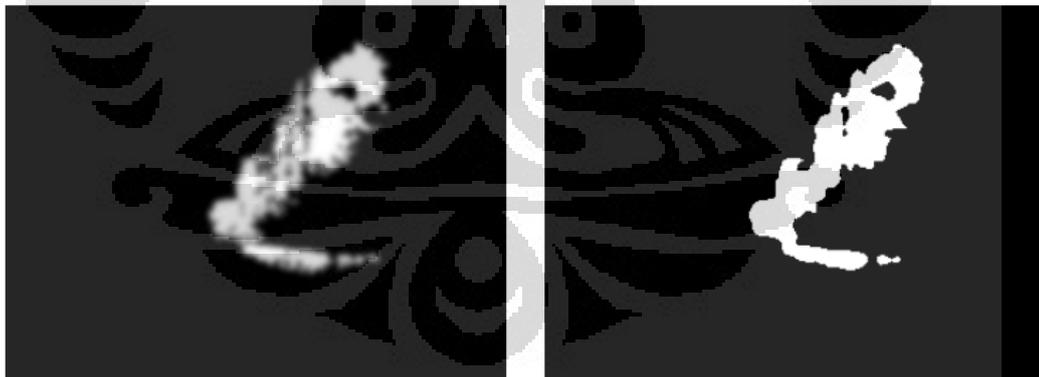


(a)

(b)

**Gambar 2.15.** Perolehan citra (a) citra original (b) *foreground* hasil segmentasi [8, 9, 24].

Setelah citra hasil segmentasi dalam bentuk *foreground* didapat, kemudian citra tersebut di olah kembali dalam bentuk filtrasi dan kemudian di-*bluring* agar citra *foreground* tersebut lebih halus karena pada citra terdapat *salt and pepper noise*. Langkah selanjutnya adalah proses *thresholding* untuk mengubah *blob* citra *foreground* hasil *bluring* dari *grayscale image* menjadi *binary image* dengan nilai piksel 0 sampai 1 (Gambar 2.16). *Threshold* yang dilakukan pada *image* tersebut bernilai 128 [8, 9].



(a)

(b)

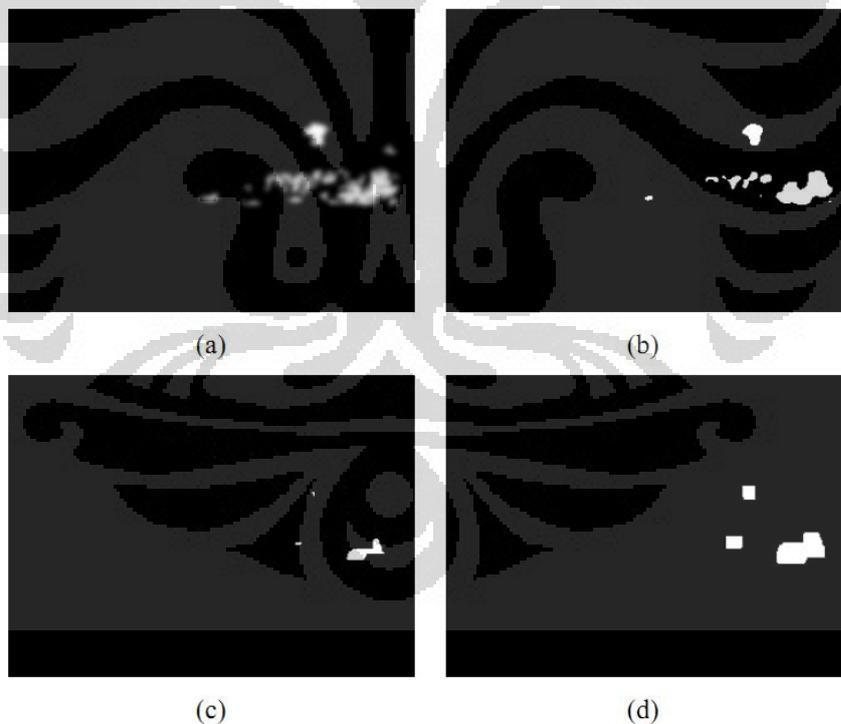
**Gambar 2.15.** Proses pengolahan citra (a) citra *foreground* hasil *filtering* dan *bluring* (b) *foreground* hasil *thresholding* [8, 9, 24].

Proses selanjutnya adalah proses erosi dan dilasi. Tahapan erosi dan dilasi ini dilakukan untuk memperluas *foreground* hasil *tersholding* dan juga memperkecil *image* tersebut (Gambar 2.16). Selain itu, erosi dan dilasi dilakukan

juga untuk menghilangkan *blob* kecil pada image *foreground* hasil *thresholding* (Gambar 2.17).



**Gambar 2.16.** Pengolahan citra *blob* (a) *foreground* hasil dilasi setelah *thresholding* (b) *foreground* dilasi setelah dilakukan erosi [8, 9, 24].



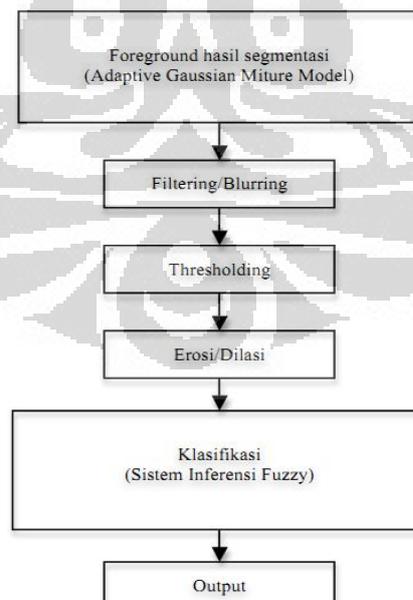
**Gambar 2.17.** Pengolahan citra *blob* kecil (a) *foreground* hasil *filtering* dan *bluring* (b) *foreground* hasil *thresholding* setelah *filtering* dan *bluring* (c) *foreground* setelah erosi dari hasil *thresholding* (d) *foreground* hasil dilasi setelah proses erosi [8, 9, 24].

Sedangkan untuk mendefinisikan tingkat bahaya kebakaran dari asap yang dihasilkan, Suwarno [8], Lutfi [9], dan Revaldo [24] mengembangkan sistem *fuzzy* pada *Smokedetection Open CV*. Sistem *fuzzy* yang dikembangkan meliputi ukuran asap, arah asap, intensitas asap, dan kecepatan asap (Gambar 2.18).

Ukuran	Kecepatan	Arah	Intensitas	Tipe
Small	Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	Low	Smoke/ Other
Small	Not still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	High	Smoke
Medium	Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	Low	Smoke/ Other
Medium	Not still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	High	Smoke
Large	Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	Low	Smoke- dangerous
Large	Not Still	up, up-right, right, down-right, down, down-left, left, up-left, down	High	Smoke- dangerous

**Gambar 2.18.** Sistem *fuzzy* pada *Smokedetection Open CV* [8, 9, 24].

Sehingga keseluruhan proses dari sistem *Smokedetection Open CV* jika diurutkan akan seperti pada Gambar 2.19 di bawah ini.



**Gambar 2.19.** Urutan proses pengolahan citra asap pada *smokedetection open cv* [8, 9, 24].

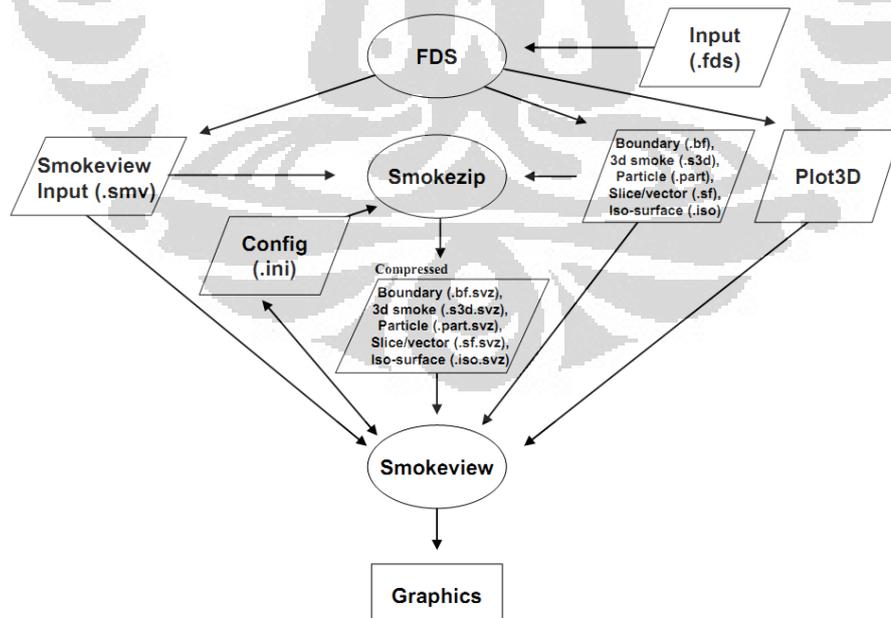
## 2.6. FIRE DYNAMIC SIMULATOR (FDS)

*Fire dynamic simulator (FDS)* merupakan software yang dikembangkan oleh *Building and Fire Research (BFRL) National Institute of Standards and Technology (NIST)* yaitu sebuah badan pengembangan penelitian yang bergerak pada bidang teknik keselamatan kebakaran di bawah pengawasan U.S *Departemen of Commerce*. Sedangkan *smokeview* merupakan software hasil komputasi dari FDS yang menghasilkan gambar dan animasi. Software ini dikembangkan di awal tahun 2000 sebagai pemodelan komputasi dinamika fluida atau CFD untuk pengendalian kebakaran berdasarkan aliran fluida. FDS melakukan pendekatan simulasi secara numerik dalam bentuk persamaan Navier – Stokes secara akurat dalam kecepatan yang rendah dan pengendalian termal secara rendah dengan fokus kerja pada asap dan perpindahan panas dari api. Kejadian secara parsial dari persamaan konservasi masa, momentum, dan energi didekatkan sebagai perbedaan yang dekat dan pemecahan kasusnya berubah-ubah berdasarkan waktu pada ruang tiga dimensi secara garis lurus [16,17].

Gambaran secara umum partikel bergerak seperti asap dan butiran air menggunakan pendekatan Lagrangian. Sedangkan *slices – 2D contours* digunakan sebagai visualisasi tentang berbagai macam informasi fase gas seperti suhu atau *temperature*, densitas, *heat release rate per unit area*, dan *radiative flux*. Melalui pengembangannya, FDS mampu memecahkan masalah dalam teknik keselamatan kebakaran. Sebagai dasar dari dinamika api dan pembakaran, FDS dapat digunakan untuk pemodelan fenomena berikut [16,17]:

- Kecepatan perpindahan produk dari panas dan pembakaran dari suatu kebakaran secara rendah.
- Perpindahan radiasi secara panas dan konveksi antara permukaan gas dan padat.
- *Pyrolysis*.
- Penyebaran lidah api dan pertumbuhan suatu kebakaran.
- Aktivasi dari *sprinkler*, *heat detector*, dan *smoke detector*.
- Semprotan dan tekanan sprinkler oleh air.

Hasil dari komputasi dari simulasi FDS terdiri dari suhu, densitas, tekanan, kecepatan, dan komposisi kimia dari setiap *grid cell* pada setiap waktu komputasi. Terdapat dua buah keluaran dari komputasi FDS yaitu untuk permukaan padat dan fase gas. Untuk keluaran dari permukaan padat dapat terdiri dari *temperature*, *heat flux*, *mass lose rate*, dan berbagai macam bentuk lainnya. Sedangkan untuk fase gas terdiri dari *temperatur*, kecepatan, *gas speciese concentration* (uap air, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>), perkiraan konsentrasi dan pengelihatian dari suatu asap, tekanan, *heat release rate per unit colume*, *mixture fraction* ( rasio perbandingan antara udara dan bahan bakar), *gas density*, dan *water droplet mass per unit volume*. Pada permukaan benda padat, FDS memprediksikan keseimbangan energi antara gas dan fase solid seperti: suhu permukaan dan *interior*, *heat flux* secara radiasi dan konveksi, *burning rate*, dan *water droplet mass per unit area*. Dan secara umumnya komputasi yang lebih diutamakan oleh program adalah *total heat release rate*, waktu aktivasi *sprinkler* dan *detector*, dan fluks masa dan energi melalui benda yang berongga dan padat. Pada Gambar 2.20, dijelaskan bagaimana cara kerja dari FDS dalam membuat sebuah pemodelan ke dalam *smoke zip* dan juga *smoke view*.



**Gambar 2.20.** Cara kerja FDS dalam menampilkan sebuah pemodelan [16,17].

### 2.6.1. Hydrodynamic Model

FDS memecahkan komputasi simulasi dengan pendekatan secara numerik dari persamaan Navier – Stokes untuk pergerakan simulasi yang lambat dan aliran termal yang lamban dengan penekanan pada asap dan perpindahan panas dari api. Inti algoritma dari skema pemrograman dari FDS yaitu pendekatan prediksi dan koreksi akurat dalam ruang dan waktu orde dua. Pergerakan (Turbulensi) simulasi dilakukan (*treated*) melalui pendekatan bentuk smargorinsky dari *Large Eddy Simulation* (LES). *Feature* yang paling membedakan dari setiap model CFD adalah perlakuan atau *treatment* dari pergerakan simulasi. Model turbulensi sudah lama dipakai dalam mensimulasikan berbagai pemecahan masalah dalam kasus kebakaran. Ada tiga teknik utama dalam sebuah simulasi turbulensi yaitu *Reynold – Averaged Navier – Stokes* (RANS), *Large Eddy Simulation* (LES), dan *Direct Numerical Simulation* (DNS) tetapi Di dalam FDS hanya ada dua pendekatan utama yaitu LES dan DNS.

### 2.6.2. Large Eddy Simulation (LES)

LES adalah teknik yang digunakan untuk memodelkan proses yang *dissipative* seperti viskositas, konduktivitas termal, dan difusivitas termal yang terjadi pada skala kecil dibandingkan permasalahan nyata yang secara eksplisit dipecahkan ulang oleh grid numerik. Ini artinya parameter seperti viskositas dinamik ( $\mu$ ), konduktifitas termal ( $k$ ), dan koefisien difusi ( $D$ ) tidak dapat digunakan secara langsung di kebanyakan praktinya pada simulasi. Parameter tersebut harus digantikan oleh ekspresi pengganti “model” simulasi tersebut yang nantinya berpengaruh terhadap perhitungan dalam simulasi. Sedangkan LES sendiri merupakan mode dasar dari simulasi FDS

### 2.6.3. Direct Numerical Simulation (DNS)

Hal tersebut juga memungkinkan simulasi untuk menggunakan *Direct Numerical Simulation* (DNS) jika grid numerik dari simulasi cukup baik atau rapat. Ada beberapa skenario aliran dimana hal tersebut memungkinkan untuk menggunakan molekular properties seperti viskositas dinamik ( $\mu$ ), konduktifitas termal ( $k$ ), dan koefisien difusi ( $D$ ) secara langsung. Biasanya, penggunaan DNS hanya ada pada *grid cells* yang berada pada 1 mm atau kurang. Untuk DNS,

viskositas, konduktifitas termal, dan difusifitas material diperkirakan menggunakan pendekatan dari teori kinetik karena ketergantungan dari setiap parameter tersebut sangatlah penting dalam skenario simulasi pembakaran.

#### **2.6.4. Combustion Model**

Untuk kebanyakan aplikasinya, FDS menggunakan model pembakaran berdasarkan konsep *mixture fraction* sehingga di dalam pendekatannya FDS tidak dapat membedakan pembakaran jenis flaming dan smoldering. *Mixture fraction* adalah sebuah konservasi kuantitas skalar yang didefinisikan sebagai fraksi gas pada point yang diberikan dalam wilayah aliran yang diasumsikan sebagai bahan bakar. Pada FDS ada pilihan skema yang dirancang untuk memperkirakan seberapa luas pembakaran di dalam ruang yang berventilasi. Fraksi masa dari semua molekul reaktan dan produk dapat diperoleh dari *Mixture Fraction* dengan mengartikan ekspresi “hubungan keadaan atau *state relations*” didapat dari penggabungan penyederhanaan analisa dan pengukuran.

#### **2.6.5. Batasan yang Ada pada *Fire Dynamic Simulator Version 5***

Walaupun pada dasarnya FDS dapat menggambarkan pemodelan skenario kebakaran, ada beberapa batasan yang tergambar berikut ini [16,17]:

##### 1) Asumsi aliran berkecepatan rendah

FDS mempunyai keterbatasan rendah untuk bilangan Mach lebih kecil dari 0.3 sehingga dengan keterbatasan ini FDS tidak dapat membuat aliran dalam bentuk kecepatan suara seperti ledakan, aliran pada nozel yang tersendad, dan juga ledakan.

##### 2) *Rectilinier* geometri

Di dalam simulasi FDS hanya mengenal geometri benda – benda yang berbentuk *rectilinier* atau lurus. Sehingga dengan hal tersebut, FDS tidak dapat membentuk geometri benda yang bulat seutuhnya atau *rectangular*. Tetapi pendekatan terhadap bentuk geometri *rectangular* dapat dibuat berdasarkan ukuran cell.

### 3) Pertumbuhan dan Penyebaran Api.

Pada dasarnya FDS di disain untuk memodelkan kebakaran pada skala industri. Dalam suatu simulasi, FDS dapat mendekati tingkat akurasi 10 sampai 20 % berdasarkan hasil eksperimen bergantung pada jumlah ukuran *grid cell*. Tetapi bagaimanapun juga, untuk pertumbuhan *heat release* dari simulasi lebih banyak diprediksikan dibandingkan secara spesifiknya dari hasil eksperimen dengan ketidaktepatan yang tinggi. Ada beberapa hal kenapa hal tersebut bisa terjadi, diantaranya adalah: properties dari material dan bahan bakar benda lebih banyak tidak diketahui dan sulit untuk dihasilkan, proses *heat transfer* pembakaran dalam bentuk solid jauh lebih kompleks dibandingkan pada penggambaran matematis di dalam FDS.

### 4) *Combustion Model*

Di dalam FDS tipe pembakaran yang digunakan adalah *mixture-fraction*. Sehingga dalam praktisnya, FDS tidak dapat membedakan jenis pembakaran *flaming* dan *smoldering*.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bahasan di dalam bab ini, dibahas beberapa tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan citra hasil simulasi dan mengolah citra hasil simulasi. Tahapan yang dilakukan sebagai berikut.

#### 3.1. TAHAPAN PEMBUATAN BENDA EKSPERIMEN KE SIMULASI

Tujuan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software Fire Dynamic Simulation Version 5* dari hasil eksperimen Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12] adalah untuk mencari banyaknya variable yang sulit untuk dilihat secara keseluruhan dari hasil eksperimen. Variable yang sulit untuk diukur pada eksperimen seperti pertumbuhan heat release rate, kecepatan pertumbuhan asap, suhu asap pada luasan ruangan, dan densitas opasitas dari asap pada keseluruhan ruangan. Hasil simulasi ini akan dievaluasi menggunakan *software Smokedetection Open CV* yang sudah dikembangkan oleh Suwarno [8], Lutfi [9], Revaldo [24] dalam mendeteksi sebuah kondisi yang bahaya bagi pertumbuhan asap. Sehingga data hasil olah evaluasi citra tersebut akan dikembangkan kembali sebagai kriteria bahaya yang digunakan oleh sistem *fuzzy* penentuan bahaya *Smokedetection Open CV*. Dengan menggunakan deteksi asap melalui simulasi FDS, diinginkan eksperimen melalui simulasi ini mendapatkan standar deteksi bahaya yang tepat untuk digunakan oleh *software Smokedetection Open CV*.

##### 3.1.1. Mempersiapkan *Material Properties* dan Geometri Benda Eksperimen ke Simulasi *Fire Dynamic Simulator*

Pengukuran eksperimen pada Gambar 3.1 yang dilakukan oleh Fakhrozi [11] dan Cahyo [12] digunakan beberapa material selulosa dan polimer. Pada eksperimen skala laboratorium ini, Material uji yang digunakan untuk simulasi FDS adalah polimer sintetik (Gambar 3.2(a) *Polyurethane Rigid Foam*, (b) karet-*Butyl Rubber Isoprene*, dan (c) *Polyvinilchloride – PVC*) dan polimer alami selulosa (Gambar 3.2(d) kayu, (e) kertas, dan (f) sigaret). Dimensi material –

material ini di buat pada simulasi berdasarkan Tabel 3.1 dari eksperimen Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12].

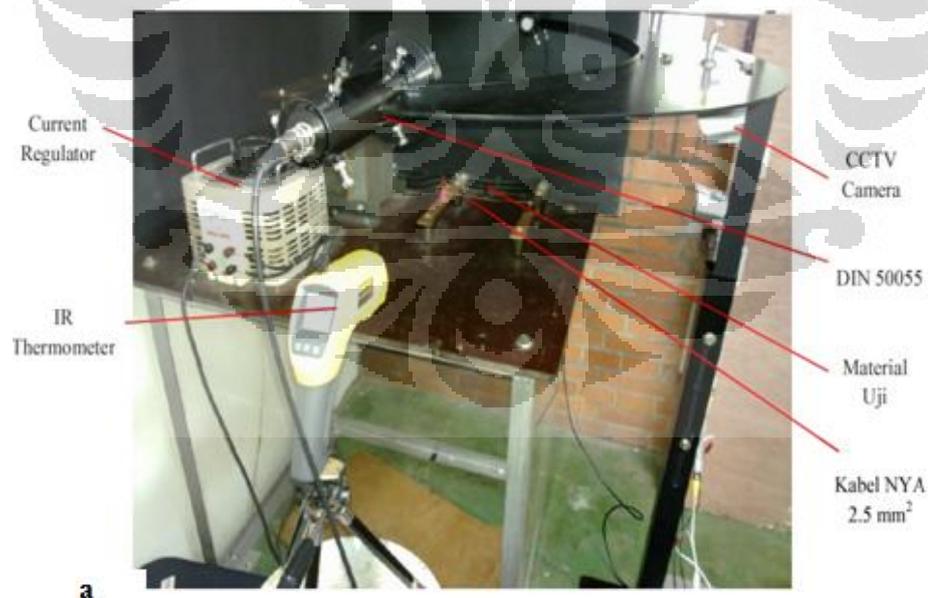
**Tabel 3.1.** Spesifikasi dimensi pengujian pada eksperimen [11,12].

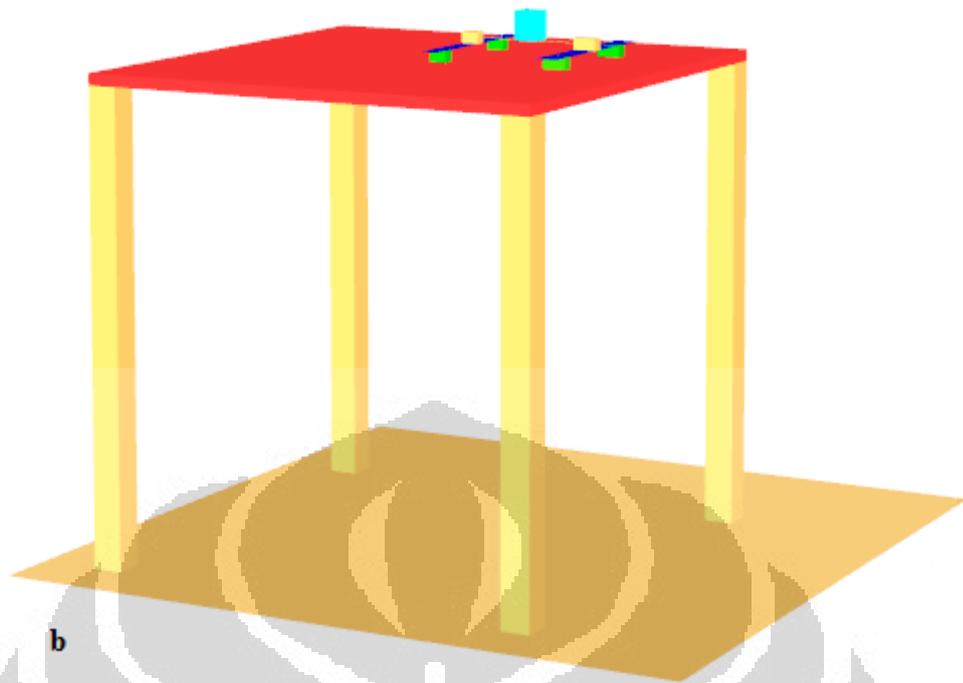
<b>Material uji</b>	<b>Dimensi pengujian (cm)</b>
<b>Foam</b>	2.5 × 2.5 × 2.5
<b>Karet</b>	4.25 × 2.5
<b>PVC</b>	Selotip 7 lilitan, lebar 1.25 cm
<b>Kayu</b>	5 × 5
<b>Kertas</b>	5 × 5
<b>Sigaret</b>	5, 0 0.5

Tabel 3.2 di bawah ini adalah susunan beberapa sifat material dari eksperimen. Pada penulisan program FDS, terdapat pengisian komputasi reaksi material. Reaksi tersebut digunakan untuk menghasilkan hasil reaksi pembakaran berupa ketebalan asap (*soot\_yield*), dan kandungan karbon dioksida (CO) pada asap. Nilai – nilai tersebut bisa didapat dari beberapa literature referensi percobaan yang berbeda namun dengan material yang sama yaitu: NIST [16,17], Drysdale [15], SFPE *Hand Book* [20], Y.S Nugroho [10], dan *Fundamental of Fire Phenomena*, Quintiere, [14]. Kedua nilai tersebut juga dipengaruhi oleh susunan species dari material seperti yang sudah dijelaskan pada BAB 2 tentang produksi asap. Selain itu, sangat penting kita mengetahui *Heat of Combustion*, *Heat of Reaction*, dan *Pyrolysis* material karena ketiga nilai ini sangatlah menentukan waktu terbakarnya material. *Heat of Combustion* merupakan suatu nilai yang menunjukkan bahawa material tersebut akan terbakar dengan besar nilai ini. *Heat of Reaction* atau *Heat of Vaporation* yaitu sebuah nilai yang menunjukkan besarnya panas yang dibutuhkan material untuk menguap sebelum terbakar. Sedangkan *pyrolysis* yaitu suhu yang menentukan awal terbakarnya material tanpa mengeluarkan api atau bisa dikatakan awal terbakarnya material dengan mengeluarkan asap.

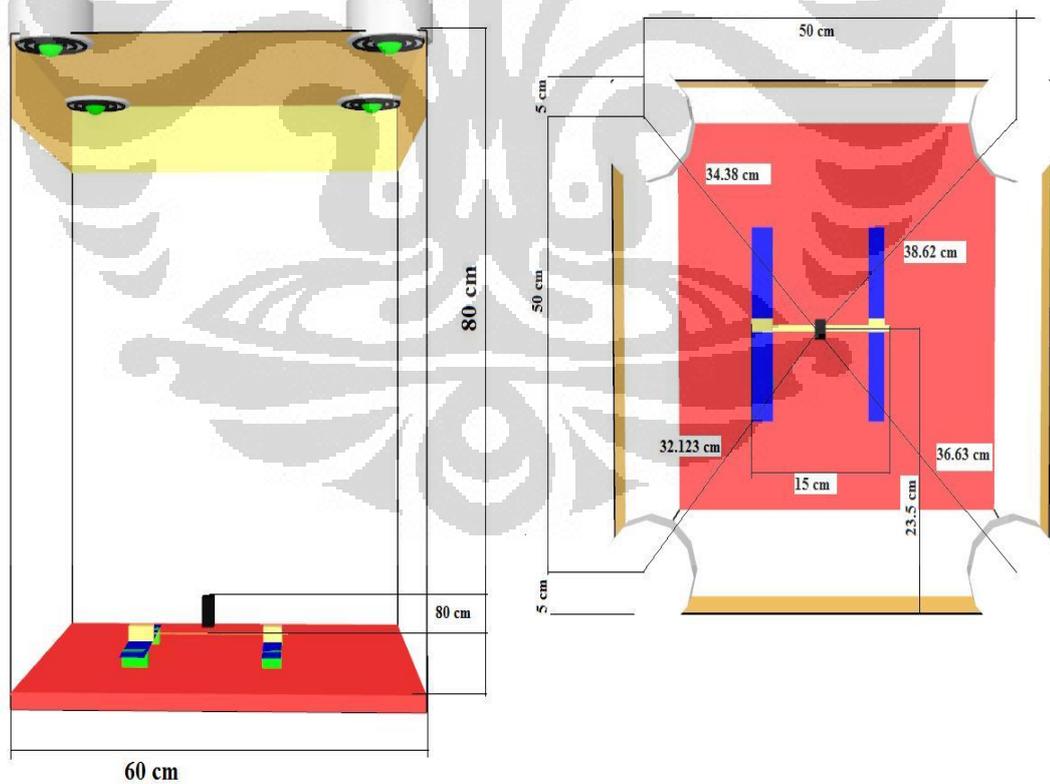
Tabel 3.2. *Material dan Thermal Properties* [10,14, 15, 16, 17, 20].

	Foam	PVC	Karet	Sigaret	Kertas	Kayu
<b>Panas Spesifik</b> (kJ/kg <sup>o</sup> K)	1.7	0.17	2.2	1.1	1.336	2.5
<b>Konduktivitas Termal</b> (W/m <sup>o</sup> K)	0.05	1.38	0.1	0.05	0.05	0.13
<b>Densitas</b> (kg/m <sup>3</sup> )	28	1255	910	320	240	650
<b>Heat of Combustion <math>\Delta H_c</math></b> (MJ/kg)	25.4	16.9	93.6	15.8	21.5	20
<b>Heat of Reaction <math>\Delta H_v</math></b> (kJ/kg)	347	167	668	351	351	351
<b>Species</b>	C <sub>6,3</sub> H <sub>7,1</sub> O <sub>2,1</sub> N	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
<b>Perbandingan <math>\Delta H_c/r_o</math></b> (MJ/kg)	13.16	12	26.22	13.1	13.1	13.1
<b>CO yield</b>	0.036	0.063	0.03	0.004	0.004	0.004
<b>Soot yield</b>	0.118	0.172	0.3	0.2	0.2	0.2
<b>Pyrolysis</b>	80°C	130°C	120°C	240°C	240°C	240°C
<b><math>\alpha</math> (k/(<math>\rho c_p</math>))</b>	0.99 x 10 <sup>-7</sup>	0.98 x 10 <sup>-7</sup>	0.62 x 10 <sup>-7</sup>	1.42x10 <sup>-7</sup>	1.25x10 <sup>-7</sup>	0.677x10 <sup>-7</sup>

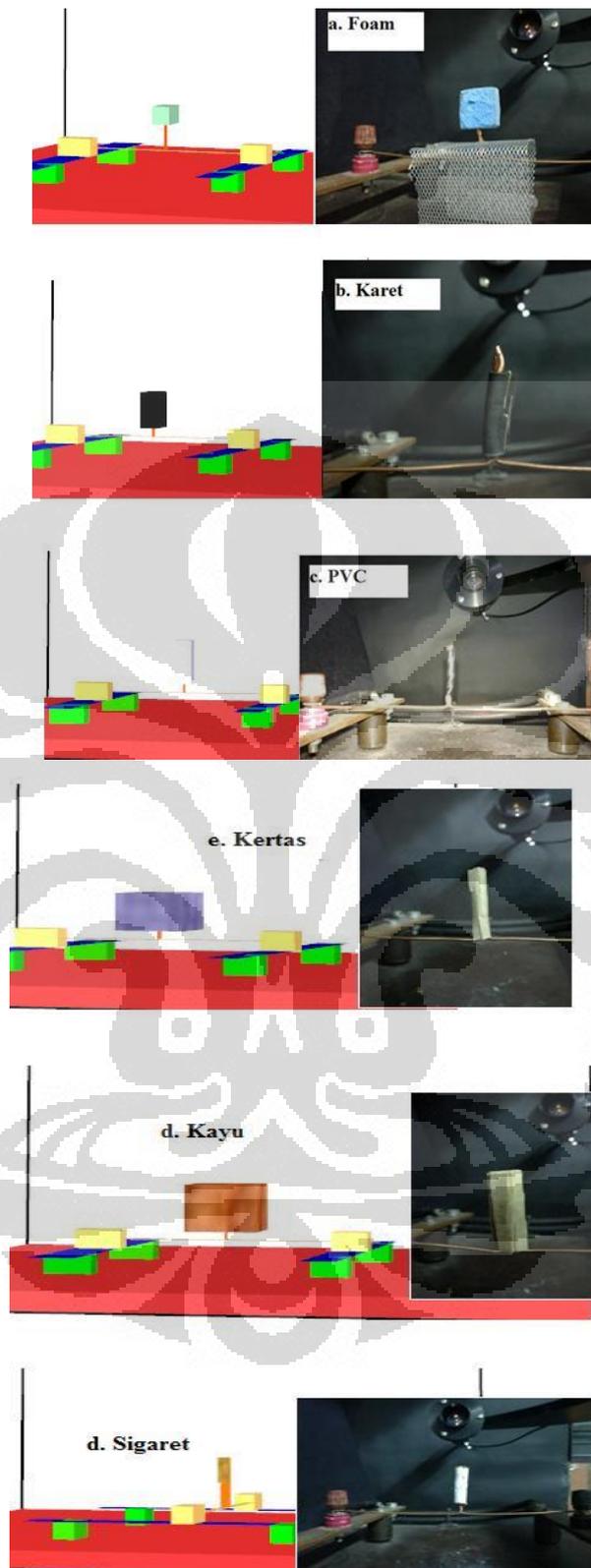




**Gambar 3.1.** Perbandingan model (a) metode eksperimen in situ [11,12]  
(b) Ukuran model keseluruhan di dalam FDS.

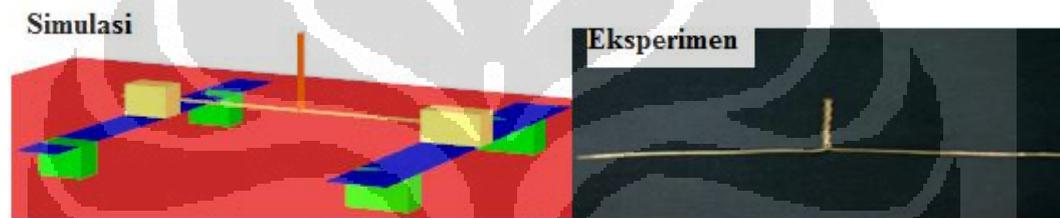


**Gambar 3.2.** Geometri benda eksperimen pada simulasi *Fire Dynamic Simulator*.



**Gambar 3.3.** Material polimer sintetik dan alami (selulosa) dalam eksperimen [11,12] dan simulasi FDS.

Material tersebut akan dililitkan atau ditempelkan pada kabel jointing NYA 2,5 mm<sup>2</sup>, seperti Gambar 3.3, yang dibuatkan *jointing* 0.0 pada tengah kabel dengan tujuan untuk mendapatkan sumber asap dengan kenaikan temperature yang cepat dan memudahkan analisis perkembangan asap. Waktu pengambilan data yaitu 90 detik dari awal pemanasan material dilakukan. Pada eksperimen ini digunakan kabel tembaga jenis NYA 2.5 mm<sup>2</sup> re (*around solid conductor*) dengan jenis konduktor *anneald plain copper solid* yang sesuai dengan standar SLPN 41-1 [11]. Seluruh design percobaan pada eksperimen ini akan disimulasikan menggunakan *software Fire Dynamic Simulator Version 5* agar bisa didapatkan data yang ideal dari hasil eksperimen.



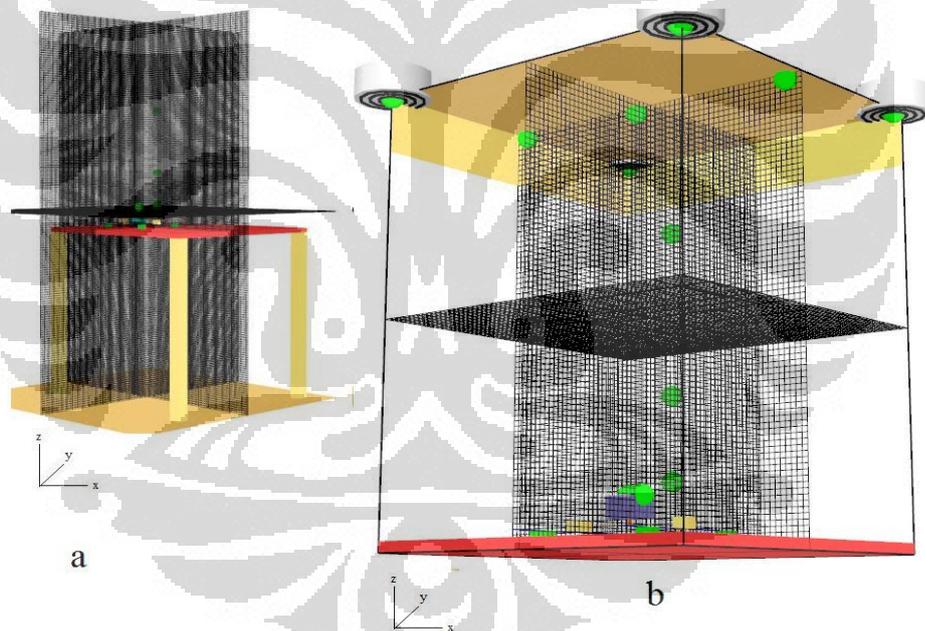
**Gambar 3.4.** Lilitan *jointing* 0.0 kabel NYA 2.5 mm<sup>2</sup> [11].

Pada permukaan model kabel NYA 2,5 mm<sup>2</sup> di dalam simulasi FDS (Gambar 3.3) bisa menggunakan pendekatan pemanasan menggunakan heater pada simulasi. Yang membedakan pada permukaan *heater*, bisa diatur permukaan panasnya, panas yang kita atur pada permukaan *heater* adalah 880°C sesuai dengan eksperimen yang dilakukan Fakhrurozi [11], Cahyo [12], dan Adrianus [13]. Dalam pemanasan material, perlu diatur panas atau *ramping rate* dari pemanasan tersebut agar mempunyai pemodelan yang sesuai dengan eksperimen. Tentunya *ramping rate* ini ditentukan berdasarkan awal mula keluarnya asap pada pada eksperimen.

### 3.1.2. Mesh atau Domain Simulasi

*Mesh* atau domain simulasi yaitu sebuah ukuran atau nilai dari sebuah ruang yang akan dijadikan untuk mensimulasikan kebakaran. Di dalam FDS, jumlah mesh berhubungan terhadap perbandingan panjang nilai x,y,z minimal ke nilai x,y,z maksimal. Dalam membuat eksperimen Fakhrurozi [11] dan Cahyo

[12], diperkirakan volume ruang yang dipakai untuk eksperimen tersebut mempunyai ukuran untuk arah-x 1.2 m, arah-y 1.2 m dan arah-z 1.8 m dengan ukuran *Mesh* IJK=120,120,180 dengan jumlah mesh 2592000 seperti pada skema di dalam FDS Gambar 3.4 (a) karena diinginkan pada simulasi sama dengan kondisi nyata pada eksperimen. Jumlah mesh yang sebesar ini dapat membuat waktu komputasi simulasi menjadi sangat lama. Karena penelitian hanya berfokus pada sumber pemanasan material, domain yang diambil hanyalah domain dari atas meja sampai kepada atap *exhaust sistem* (Gambar 3.4b). Sehingga akibat pengurangan domain tersebut ukuran mesh-ijk menjadi 60,60,80 dengan dimensi di dalam domain arah-x 0.6 m, arah-y 0.6 m, arah-z 0.8 m. Dengan melakukan demikian, waktu komputasi FDS dapat lebih cepat sehingga hanya memakan waktu 2 jam hingga 10 jam tergantung dari spesifikasi *personal computer*.



**Gambar 3.5** Perbandingan ukuran *Mesh* (a) *Mesh* IJK yang terdapat pada awal pembuatan simulasi FDS (b) Domain yang sudah diatur di dalam FDS pada daerah tertentu dari eksperimen.

Pada penelitian menggunakan simulasi FDS ini digunakan mesh dengan total *cell* berjumlah 288000. Untuk mendapatkan hasil yang sempurna, perbandingan mesh yang digunakan pada simulasi ini adalah 0.01 x 0.01 x 0.01

m. Rasio *mesh* ini adalah nilai rasio yang paling maksimal di dalam *software Fire Dynamic Simulator*.

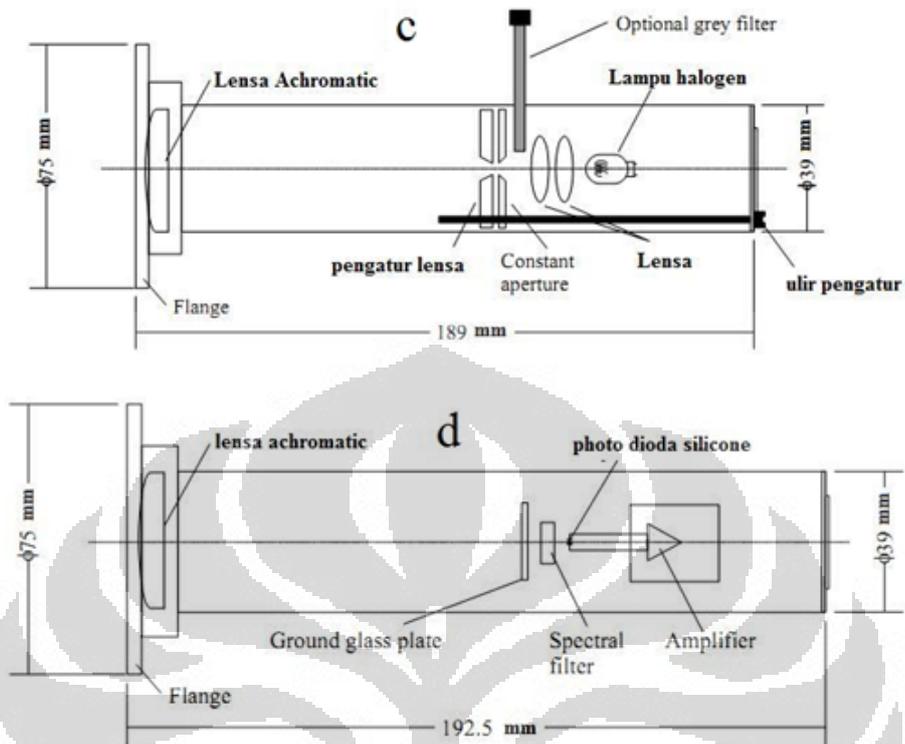
### 3.1.3. Menambahkan *Beam Optical Density*, *Smoke Detector*, dan *Slices 2D View*

#### a) *Optical density measurement device (DIN 50055 Smoke Density Photometric System)*

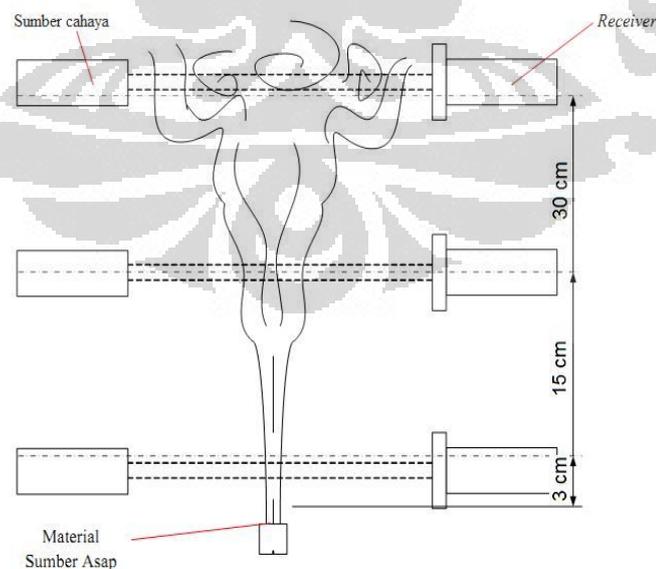
Di dalam eksperimen, DIN 50055 (Gambar 3.6) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur opasitas atau *optical density* dari suatu asap material yang terbakar, dirancang dan diproduksi oleh *Fire Testing Technology, Inc* berpusat di Inggris, sebagai alat standardisasi untuk *Light Measurement System for Testing Smoke Development*. Alat ini digunakan untuk pengukuran skala lab menengah dan tidak bisa digunakan untuk pengukuran skala lab yang besar seperti kebakaran dengan nilai *heat release* yang besar. Berdasarkan hukum Bouguer pada persamaan 2.7 sampai 2.11 untuk mendapatkan nilai opasitas dari suatu asap. Hasil keluaran pengukuran dari alat ini berupa tegangan 0-1V dengan nilai maksimum 100% transmisi. Alat ini juga dilengkapi dengan data akuisisi, APPA-109N, sehingga memudahkan untuk melakukan penyimpanan data hasil pengukuran.

Untuk membentuk model pengukuran pada DIN 50055 seperti pada eksperimen, fasilitas *statistic* bisa digunakan dalam pemodelan FDS. *Statistic* yang dimaksudkan FDS adalah *statistic* untuk mengukur *optical density* dalam pengambilan data rata-rata. Daerah yang diukur seperti pada eksperimen (Gambar 3.7) juga ditempatkan pada simulasi. Namun, pada simulasi ini ditambahkan tiga titik pengukuran *optical density* yaitu pada langit-langit kompartemen sepanjang sisi *smoke detector* berada dan titik dimana asap akan mulai menyebar (Gambar 3.7).





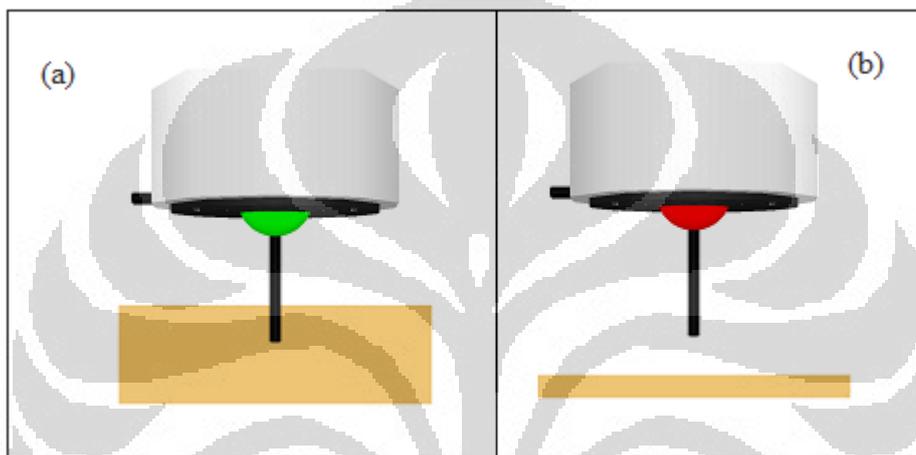
**Gambar 3.6.** Gambaran alat pengukuran (a) DIN 50055 *Smoke Density Photometric System* (b) unit kontrol DIN 50055 (c) sistematis sumber cahaya DIN 50055 (d) sistematis *photo cell* DIN 50055 [11,12].



**Gambar 3.7.** Jarak ketinggian *Smoke Density Photometric System* (DIN 50055) dari sumber asap dalam eksperimen [11,12].

b) *Smoke Detector (Photoelectric) Devices*

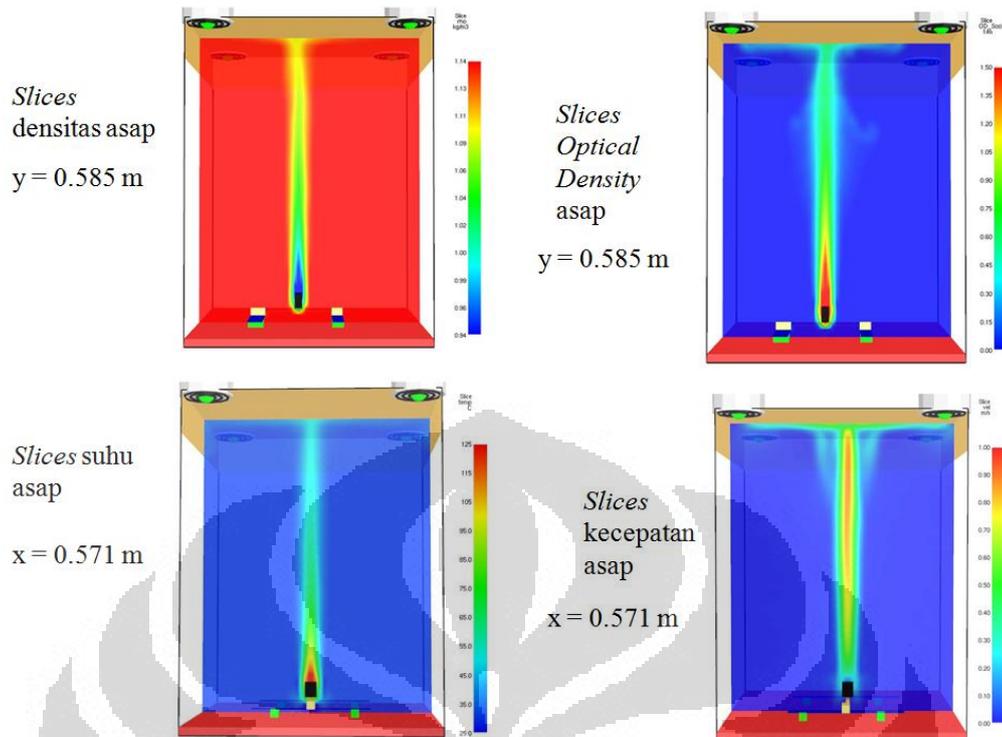
Pada simulasi FDS, *smoke detector* di modelkan seperti dalam gambar 3.9 dibawah ini. berdasarkan refrence [16,17], di dalam FDS terdapat lima buah tipe *smoke detector* dengan dua buah pendekatan yaitu *Cleary* dan *Hesketed*. Pada penggunaanya di dalam simulasi, *smoke detectore* semua tipe ionisasi dan *photoelectric* adalah sama di dalam penggunaanya dengan nilai spesifikasi pada umumnya senilai 3.28 %/m pada *obscuration*.



**Gambar 3.9.** Model *smoke detector* dalam bentuk *Smokeview Fire Dynamic Simulator Version 5* [16,17] (a) belum teraktivasi (b) teraktivasi.

c) *Animated Planar Slices*

Untuk memudahkan melihat beberapa fenomena dalam tampilan dua dimensi, FDS juga memberikan fasilitas *animated planar slices*. *Slices file* yang ingin kita lihat bisa dalam bidang x, y, dan z tergantung dari bidang manakah yang ingin kita lihat. Sedangkan, fase gas yang bisa dilihat melalui *slices file* meliputi: *pressure*, *relative humidity*, *specific heat*, *specific entalphy*, *temperature*, *thermocouple*, *turbulence resolution*, *velocity*, *visibility*, *viskositas*, *average specific heat*, *conductivity*, *density*, *divergence*, *entalphy*, *extinction coefecient*, *heat release rate per unit volume*, dan *optical density*. Pada penelitian ini, hanya digunakan pembelahan di bidang  $x = 0.571$  dan  $y = 0.585$  dengan fenomena yang dilihat (Gambar 3.10) adalah suhu (*temperature*) asap, kecepatan (*velocity*) asap, desnitas (*density*) asap, dan *optical density*.



**Gambar 3.10.** *Animated slices file* yang digunakan di dalam simulasi FDS.

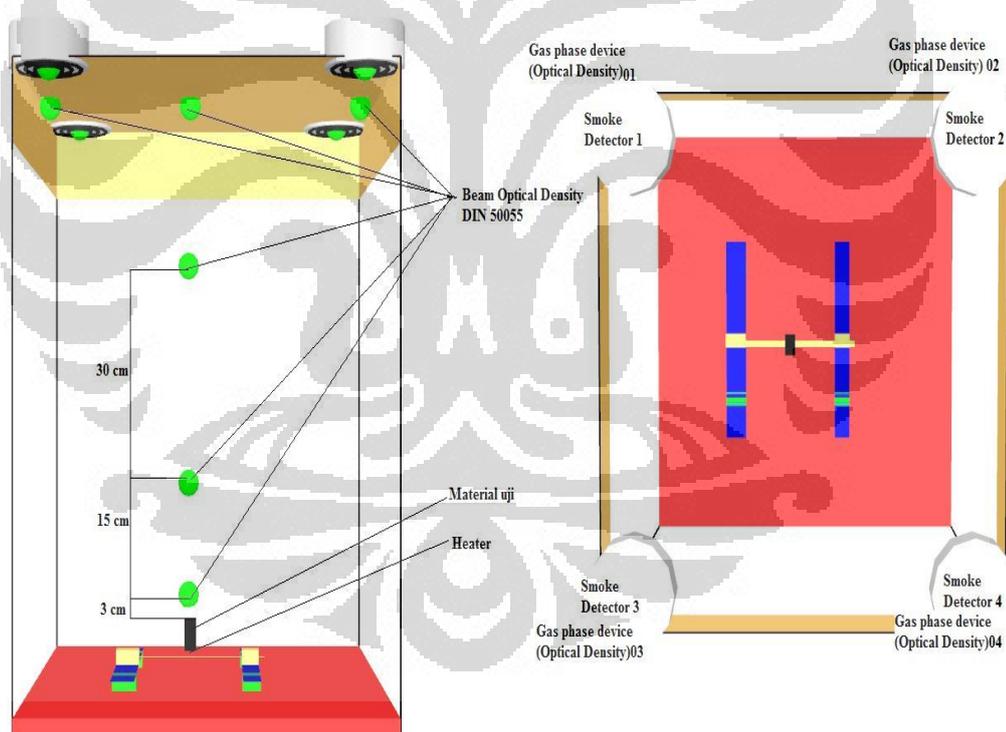
Untuk melihat lebih detail terhadap penempatan pengukuran *optical density* dan *smoke detector* seperti pemodelan eksperimen Jakti [3], Fakhrurozi [11], Cahyo [12], dapat dilihat pada Gambar 3.11 di bawah ini.

**Tabel 3.7.** Titik penempatan sensor *optical density* pada simulasi FDS.

Device*	Sumbu-x	Sumbu-y	Sumbu-z
OD 1	0.357	0.86	1.6
OD 2	0.831	0.84	1.6
OD 3	0.357	0.358	1.6
OD 4	0.831	0.366	1.6
SD 1	0.357	0.86	1.6
SD 2	0.831	0.84	1.6
SD 3	0.357	0.358	1.6
SD 4	0.831	0.366	1.6
OD 3 cm min	0.555	0.3	0.92
OD 3 cm max	0.58	1.1	0.945

OD 15 cm min	0.555	0.3	1.07
OD 15 cm max	0.58	1.1	1.095
OD 30 cm min	0.555	0.3	1.22
OD 30 cm max	0.58	1.1	1.245
OD Upper 1 min	0.31	0.3	1.575
OD Upper 1 max	0.335	0.9	1.6
OD Upper 2 Min	0.56	0.3	1.575
OD Upper 2 Max	0.585	0.9	1.6
OD Upper 3 min	0.86	0.3	1.575
OD Upper 3 max	0.885	0.9	1.6

\*OD 1/2/3/4 = *Optical Density*, mengukur hanya pada satu titik di *smoke detector*, SD = *Smoke Detector*, OD 3/15/30 cm = *Beam Optical Density*, OD Upper 1/2/3 = *Optical density* sepanjang daerah langit – langit kompartemen.

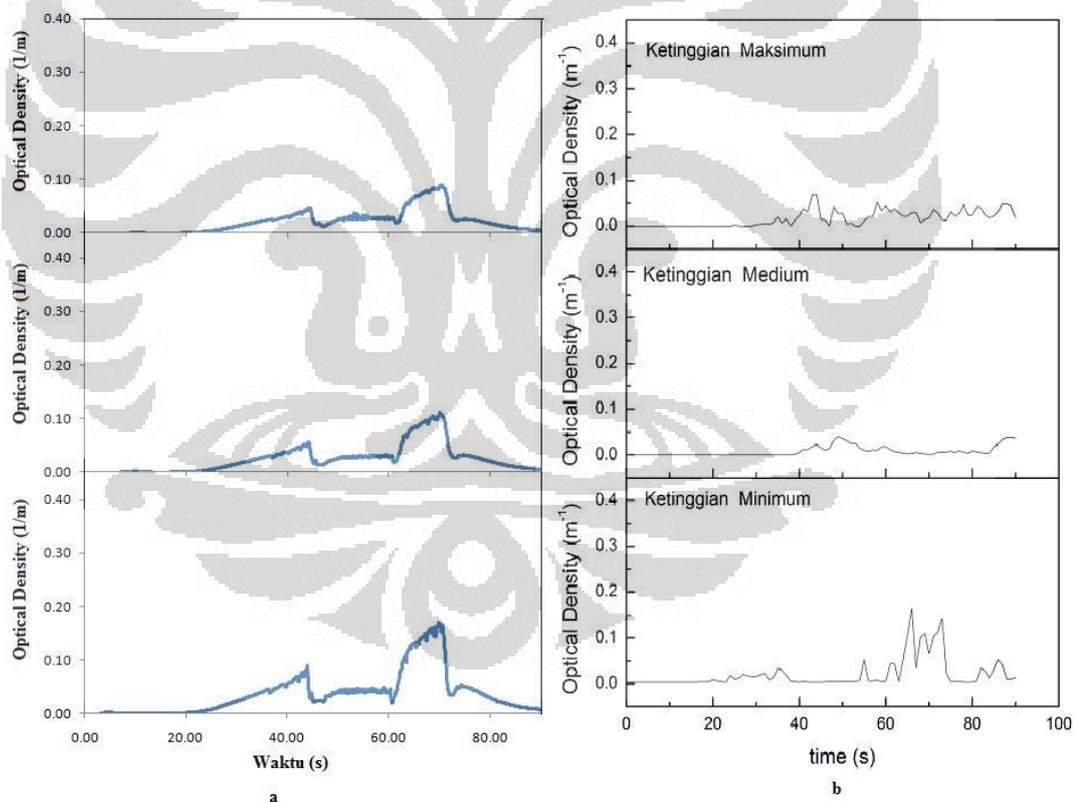


**Gambar 3.11.** Gambaran detail penempatan *smoke detector* dan *beam optical density* dari pemodelan eksperimen simulasi FDS.

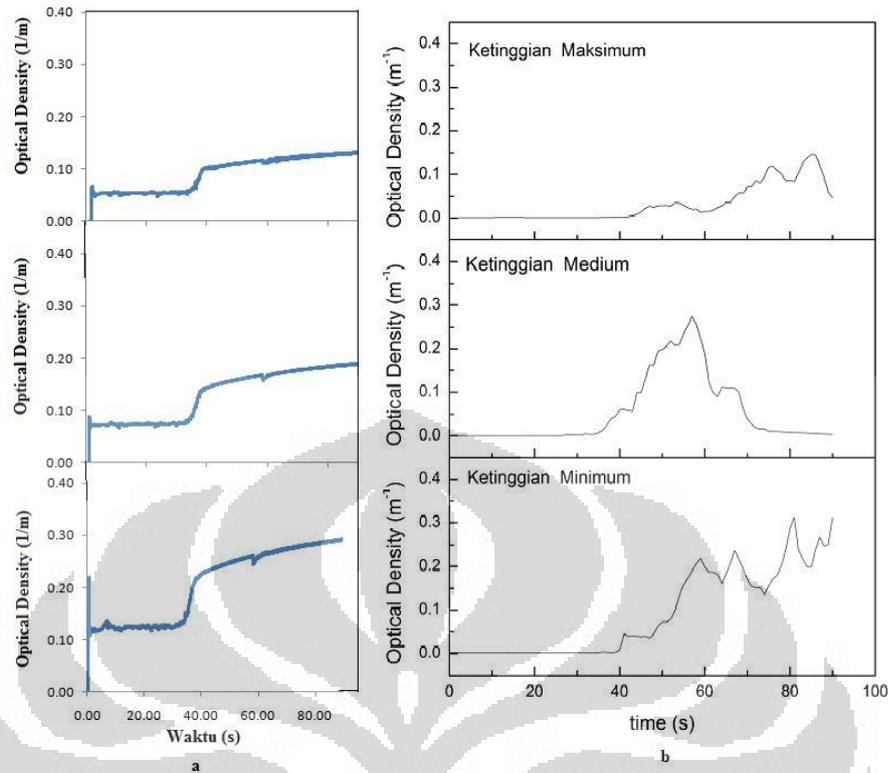
### 3.2.TAHAPAN VERIFIKASI SIMULASI DAN EKSPERIMEN

Pada eksperimen, *optical density* diberikan pada tiga buah titik yaitu minimum (3 cm), medium (15 cm), dan maksimum (30 cm) [11,12]. Tujuan

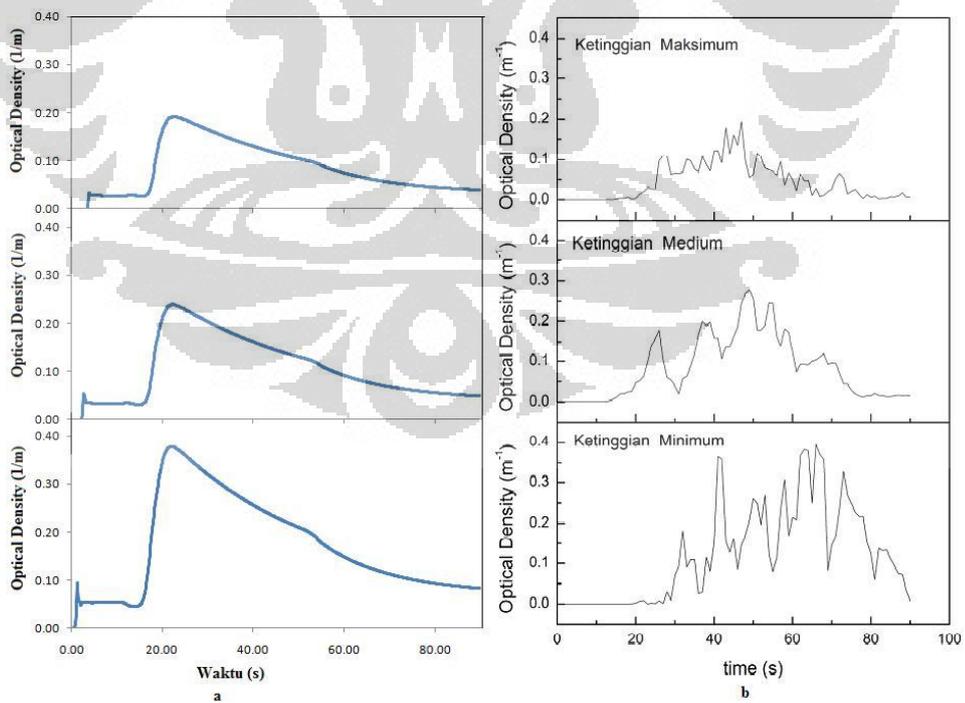
diberikannya *optical density* untuk ketiga titik ini adalah untuk melihat fenomena pertumbuhan jamur dari asap hasil pemanasan dan tingkat ketebalan sebuah asap pada dari sumber asap. Pada simulasi FDS, asap yang dihasilkan oleh pemanasan material cenderung bersifat laminar dibandingkan *turbulent*. Berikut ini adalah grafik *optical density* dari simulasi FDS dan perbandingannya dengan eksperimen. Di dalam pengukuran eksperimen yang dilakukan oleh Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12], *optical density* terhadap waktu menggambarkan hubungan sifat asap karakteristik material terhadap kenaikan temperature yang dihasilkan oleh kabel *jointing* NYA 2.5 mm<sup>2</sup>. Verifikasi hasil simulasi (Gambar 3.12 – Gambar 3.18) dengan eksperimen digunakan agar data hasil simulasi seperti *optical density* dari asap yang dihasilkan pada titik yang sulit diukur dapat diolah dan citra simulasi FDS dapat dihubungkan terhadap tingkat *optical density* yang ada.



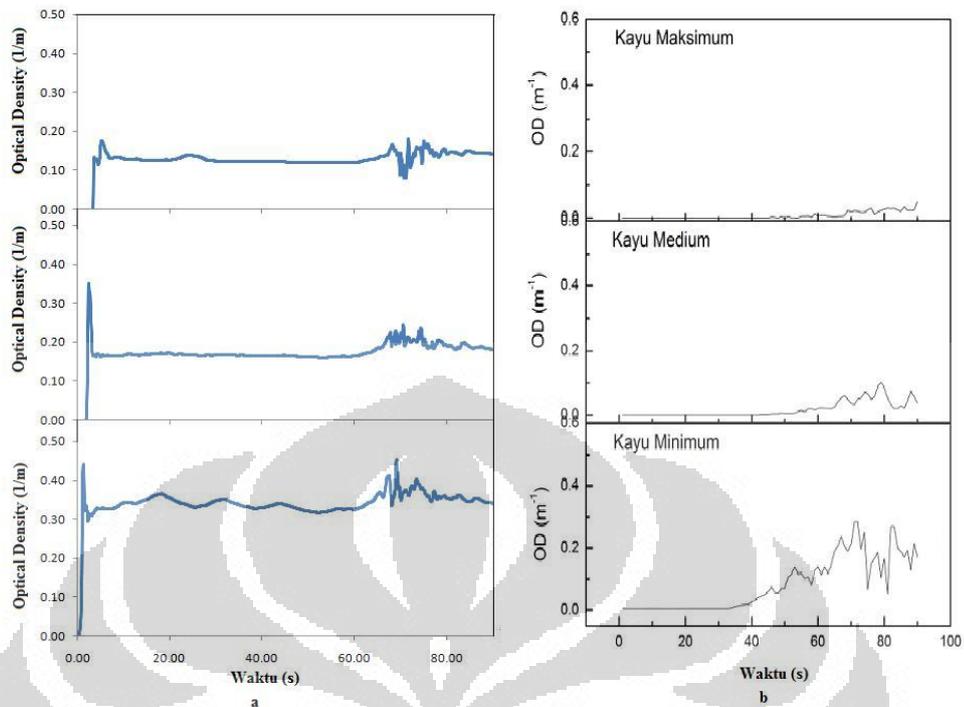
**Gambar3.12.** Validasi hasil (a) grafik *optical density* foam dari simulasi FDS (b) grafik *optical density* foam hasil eksperimen [11].



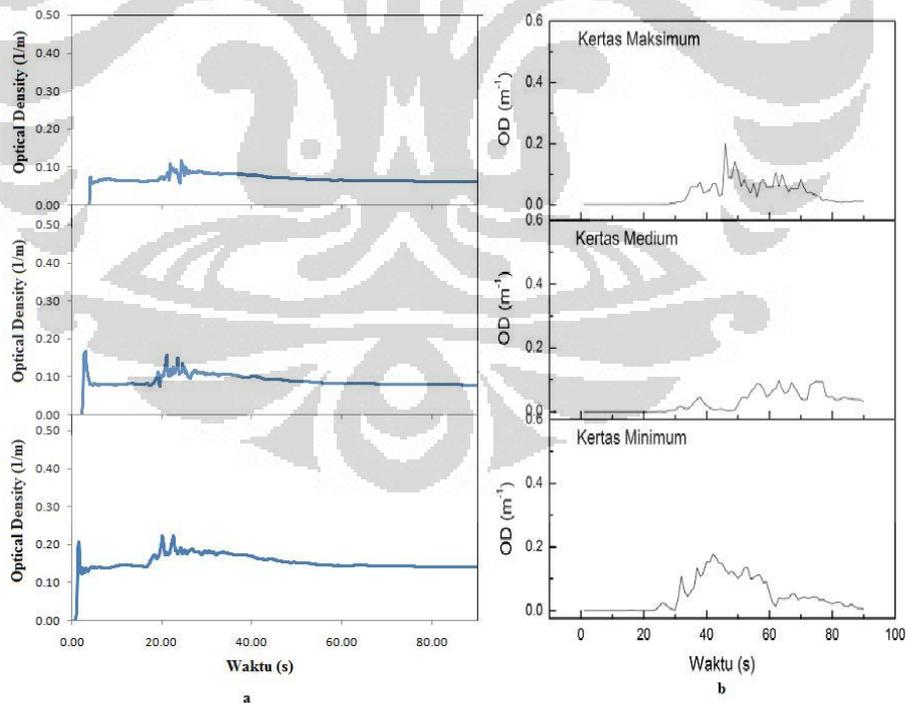
**Gambar 3.13.** Validasi hasil (a) grafik *optical density* karet dari simulasi FDS (b) grafik *optical density* karet hasil eksperimen [11].



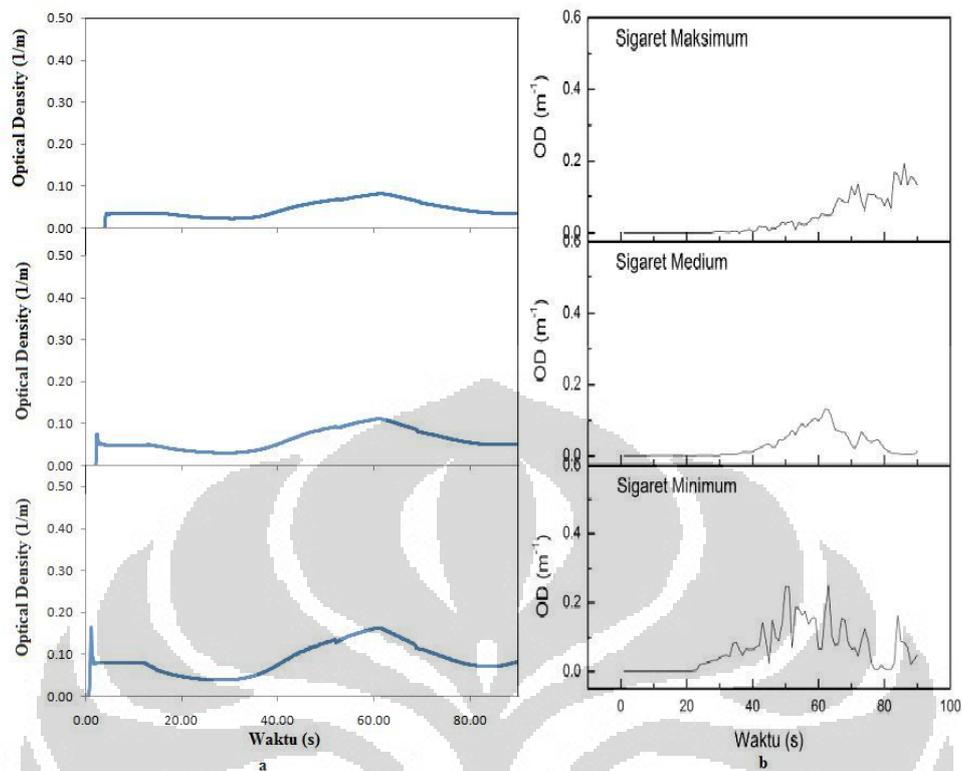
**Gambar 3.14.** Validasi hasil (a) grafik *optical density* PVC dari simulasi FDS (b) grafik *optical density* PVC hasil eksperimen [11].



**Gambar 3.15.** Validasi hasil (a) grafik *optical density* kayu dari simulasi FDS (b) grafik *optical density* kayu hasil eksperimen [12].



**Gambar 3.16.** Validasi hasil (a) grafik *optical density* kertas dari simulasi FDS (b) grafik *optical density* kertas hasil eksperimen [12].



**Gambar 3.17.** Validasi hasil (a) grafik *optical density* sigaret dari simulasi FDS (b) grafik *optical density* sigaret hasil eksperimen [12].

Berdasarkan keseluruhan grafik, didapatkan nilai *optical density* tertinggi dari hasil simulasi dan eksperimen (Tabel 3.4).

**Tabel 3.4.** Nilai tertinggi *optical density* pada simulasi dan eksperimen [11,12].

Material	Simulasi			Eksperimen		
	3 cm	15 cm	30 cm	3 cm	15 cm	30 cm
<b>Foam</b>	0.17	0.11	0.09	0.164	0.041	0.069
<b>Karet</b>	0.30	0.19	0.14	0.313	0.274	0.145
<b>PVC</b>	0.38	0.24	0.19	0.393	0.276	0.190
<b>Kayu</b>	0.45	0.35	0.18	0.283	0.101	0.051
<b>Kertas</b>	0.22	0.17	0.12	0.177	0.096	0.201
<b>Sigaret</b>	0.16	0.11	0.08	0.253	0.132	0.191

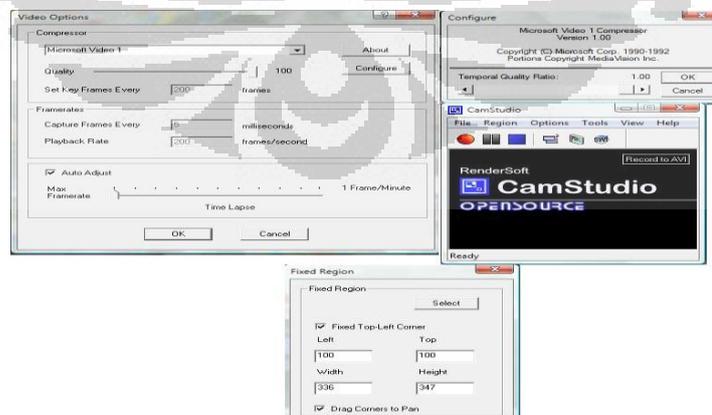
Pada grafik *optical density* yang disajikan oleh simulasi terdapat sedikit perbedaan hasil seperti pada kayu dan sigaret. Hal tersebut dikarenakan pengaruh dari permukaan material kayu yang sangat tebal. Sedangkan pada sigaret dikarenakan memiliki *obstruction* yang tidak sepenuhnya bulat.

### 3.3. PENDETEKSIAN ASAP HASIL SIMULASI FDS EKSPERIMEN DENGAN SOFTWARE *SMOKEDETECTION OPEN CV*

Setelah simulasi selesai maka tahap berikutnya adalah merekam aktivitas simulasi FDS dengan *software Camstudio*. Perlu diketahui bahwa FDS tidak memiliki perangkat untuk merekam aktivitas simulasi sehingga diperlukan metode tambahan untuk mendapatkan aktivitas simulasi yaitu dengan merekam aktivitas simulasi dengan *software* tertentu.

#### 3.3.1. Process Merekam Aktivitas Simulasi

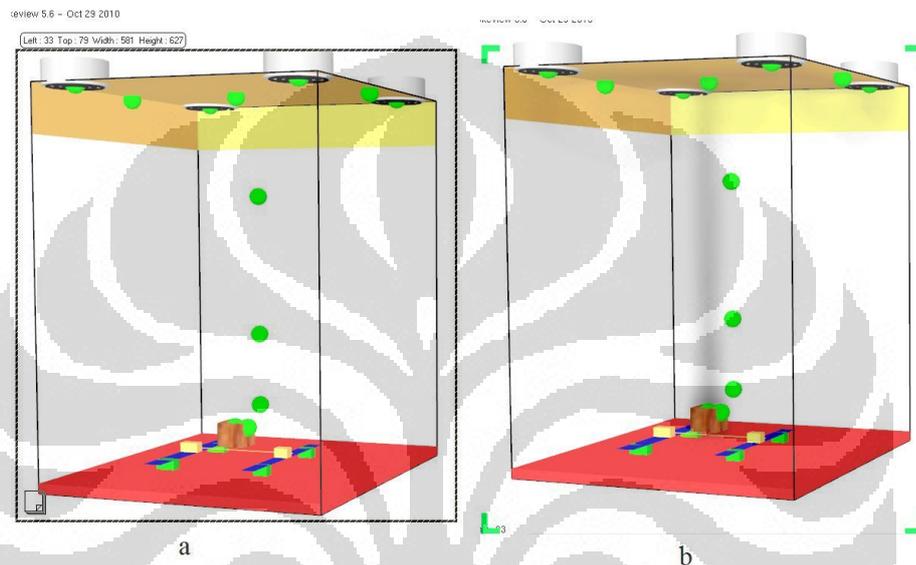
Banyak cara atau *software* yang bisa digunakan untuk melakukan hal tersebut diantaranya adalah dengan mensimulasikan FDS ke layar proyektor sembari kita merekam aktivitas simulasi dengan kamera yang berkualitas tinggi dan langsung menghubungkannya dengan komputer, merekam aktivitas simulasi dengan *software* tertentu seperti *Camstudio* atau dengan *software* yang lainnya. Untuk membuat video dari hasil simulasi dengan tampilan yang berkualitas sangat baik, seluruh setting video dibuat dengan jumlah *frame rate* yang maksimal. Gambar 3.18 dengan jelas memperlihatkan penyettingan pada *Camstudio*.



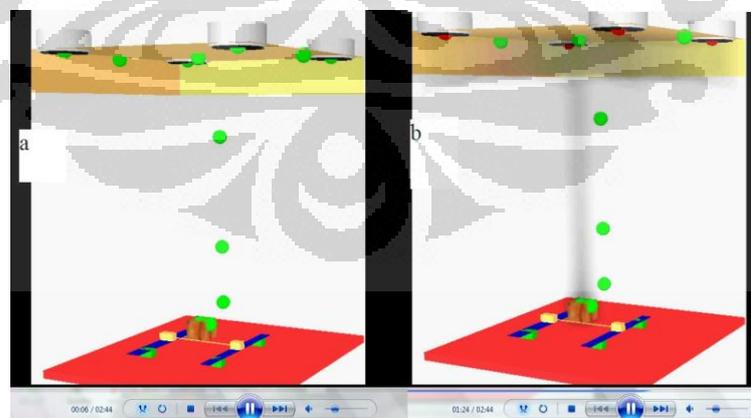
**Gambar 3.18.** Tampilan *Camstudio* dengan seluruh *setting* perekaman.

Pada saat menjalankan simulasi, penentuan wilayah perekaman simulasi juga sangatlah penting. Pada *Camstudio* pilih menu region kemudian pilih select

dan dilayar komputer kursor akan berbentuk seperti bulpoin. Tentukanlah wilayah perekaman dengan drag kursor pada simulasi seperti gambar 3.19(a). Setelah itu, pilih tombol *record* pada *software Camstudio* dan taruh hasil penentuan wilayah perekaman pada simulasi maka perekaman simulasi FDS segera dilakukan 3.19(b). Perlu diingatkan bahwa pada saat perekaman simulasi tidak boleh menggerakkan kursor pada daerah yang sedang direkam karena akan mengganggu proses pendeteksian bahaya.



**Gambar 3.19.** Aktivitas perolehan citra (a) memilih wilayah perekaman (b) proses perekaman simulasi FDS menggunakan *Camstudio*.



**Gambar 3.20.** Perbandingan (a) perekaman sebelum menjalankan simulasi FDS (b) perekaman setelah menjalankan simulasi FDS.

Hasil keluaran perekaman dari *software Camstudio* berformat AVI dengan nilai FPS yang tinggi. Pada Gambar 3.20, terjadi perbedaan antara sebelum dan sesudah menjalankan *software FDS*, hal itu dikarenakan pada saat simulasi terdapat bar waktu simulasi sehingga posisi model menjadi naik. Hal inilah yang menjadi perhitungan di dalam merekam simulasi. Hasil dari perekaman simulasi ini berkualitas sangat baik sehingga gambar yang dihasilkan sangat halus dan tidak terlalu terlalu patah. Namun, *Frame Rate Persecond (FPS)* masih terlalu besar sehingga hasil dari keluaran rekaman ini tidak bisa langsung digunakan oleh *software Smokedetection Open CV* dikarenakan *software* tersebut masih mempunyai spesifikasi perekaman yang masih rendah. Untuk itu, perlu dilakukan penyetela ulang dan memotong waktu sebelum dimulainya menjalankan simulasi *FDS* dengan menggunakan *software Format Factory* (Gambar 3.21).



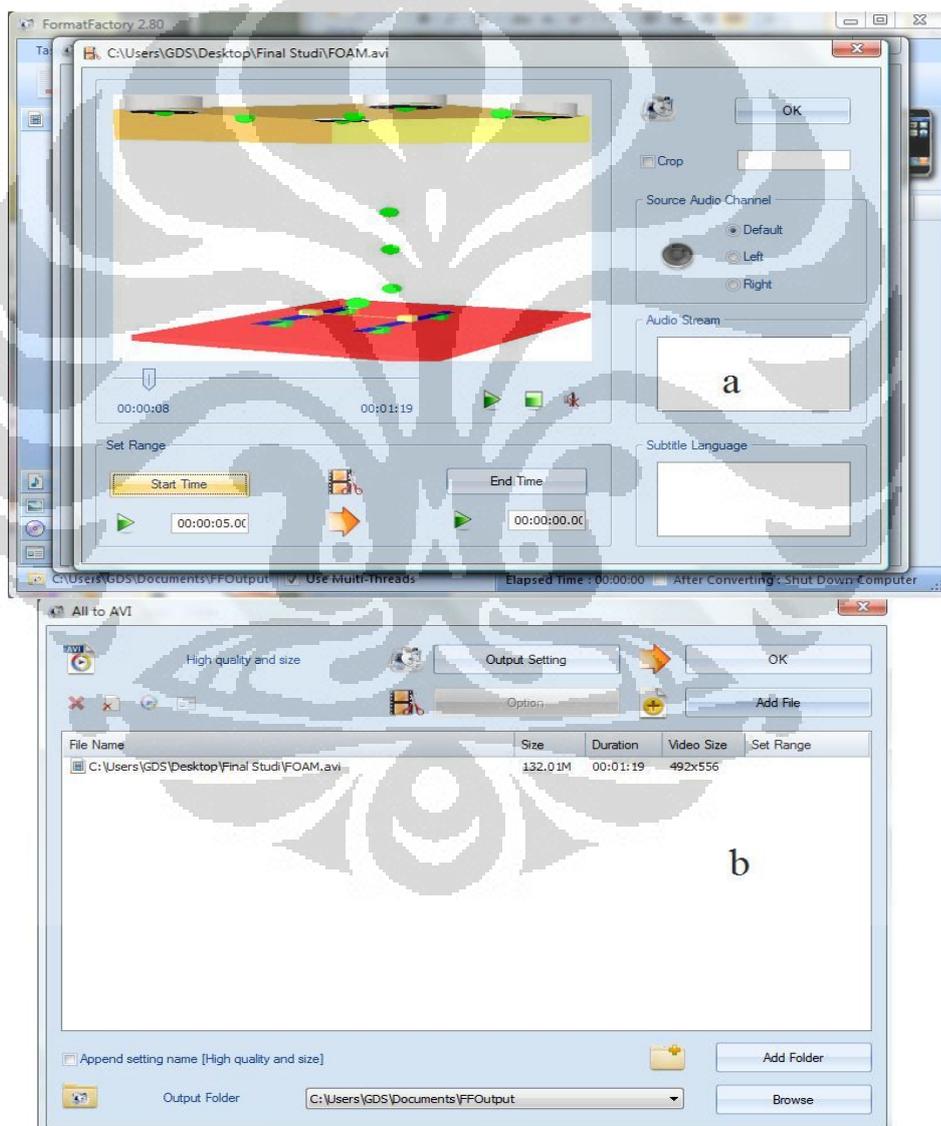
**Gambar 3.21.** *Software Format Factory.*

### 3.3.2. Proses Konversi Kualitas Video dengan FPS Terendah

*Software* tidak berbayar ini sangatlah lengkap dalam mengkonversi jenis video apapun bahkan dalam melakukan editing video seperti memotong waktu video pun bisa dilakukan (Gambar 3.22a). Bagian pada perekaman simulasi yang perlu dilakukan pemotongan adalah bagian dimana model bergerak keatas pada

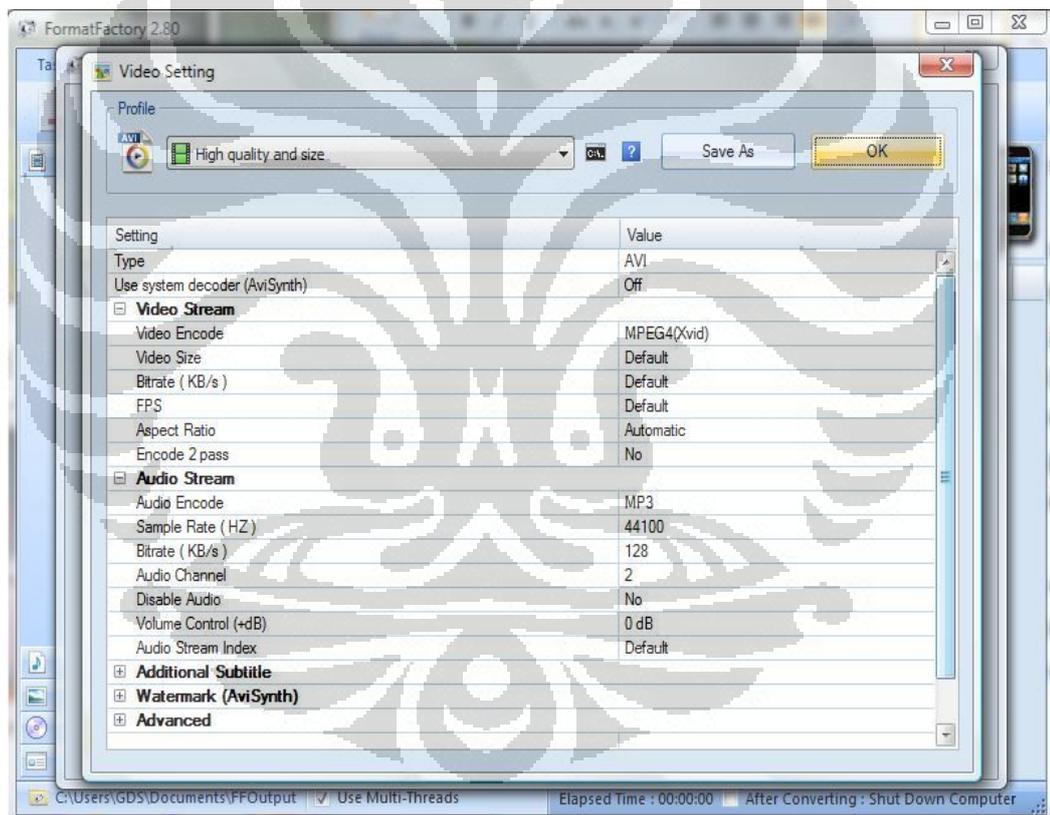
saat dimulainya menjalankan simulasi. Diperkirakan bagian yang perlu dipotong adalah lima sampai delapan detik dari awal perekaman. Jika tidak dilakukan pemotongan dari awal, hal tersebut akan merusak pedeteksi pada *software Smokedetection Open CV* dan objek tersebut akan diidentifikasi sebagai asap yang bergerak.

Setelah dilakukan pemotongan video, video siap untuk dikonversikan ke dalam format yang sama tetapi dalam kualitas yang sedikit lebih rendah dari kualitas video sebelumnya (Gambar 3.22 b).



**Gambar 3.22.** Pengolahan video (a) pemotongan video (b) proses konversi video.

Untuk menyetel FPS bisa dilakukan dalam setting pada saat menambahkan video (Gambar 3.23). rate FPS yang di-setting pada *software* ini minimal hingga duabelas FPS karena jika FPS terlalu besar *software Smokedetection Open CV* akan eror dikarenakan *memory* pengolahan pada komputer yang digunakan tidak bisa menampung pengolahan data terkecuali jika computer yang digunakan mempunyai spesifikasi dalam pengolahan data untuk RAM (*random access memory*) diatas delapan *gigabyte* dan spesifikasi komputer untuk processor minimal adalah *integrated core* atau *multi processor* dengan inti *processor* lebih dari dua inti *processor* dengan bahasa lainya spesifikasi processor lebih dari dua buah inti *processor*. Karena seperti yang sudah diketahui bahwa RAM berfungsi sebagai tempat penyimpanan memory sementara

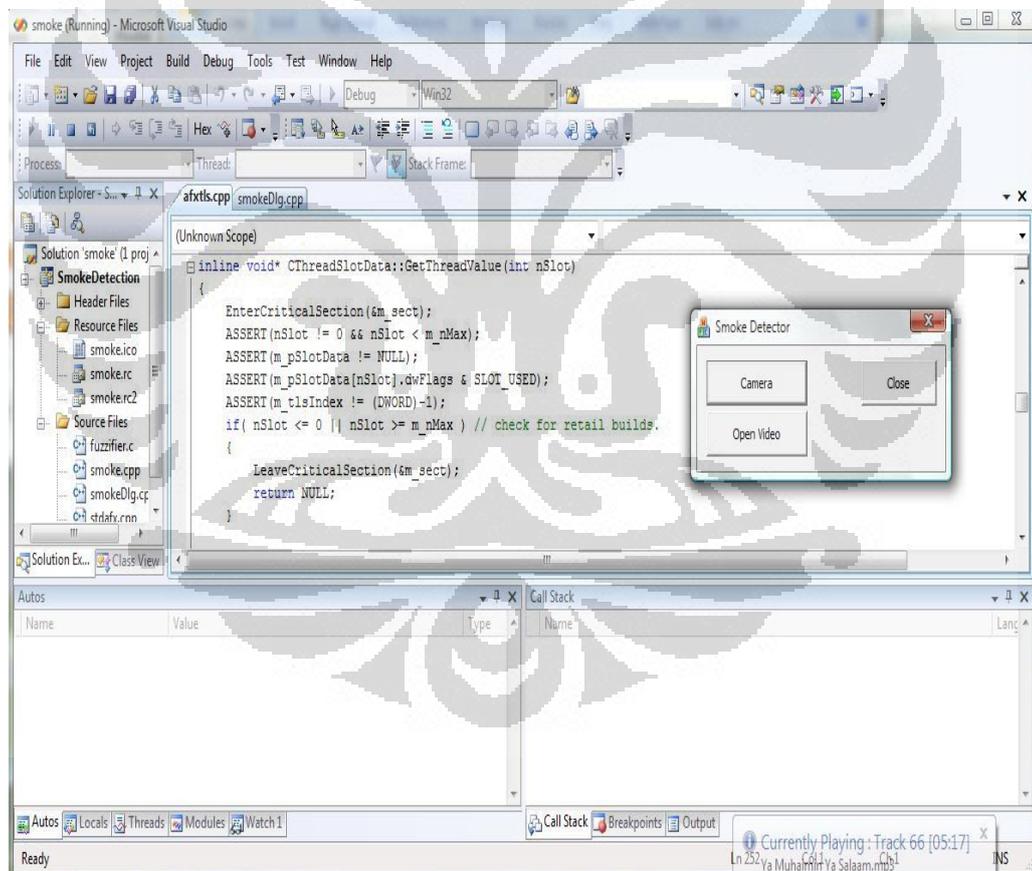


**Gambar 3.23.** Penyetelan kualitas *video* dengan mengecilkan FPS.

### 3.3.3. Proses Pengolahan *Video* Simulasi Menggunakan *SmokeDetection Open CV*

Seperti yang sudah dijelaskan di dasar teori bahwa *software* ini dikembangkan dengan menggunakan bahasa C++ menggunakan *software Visual Studio 2008*. Untuk melakukan proses running, buka folder *Smokedetection Open*

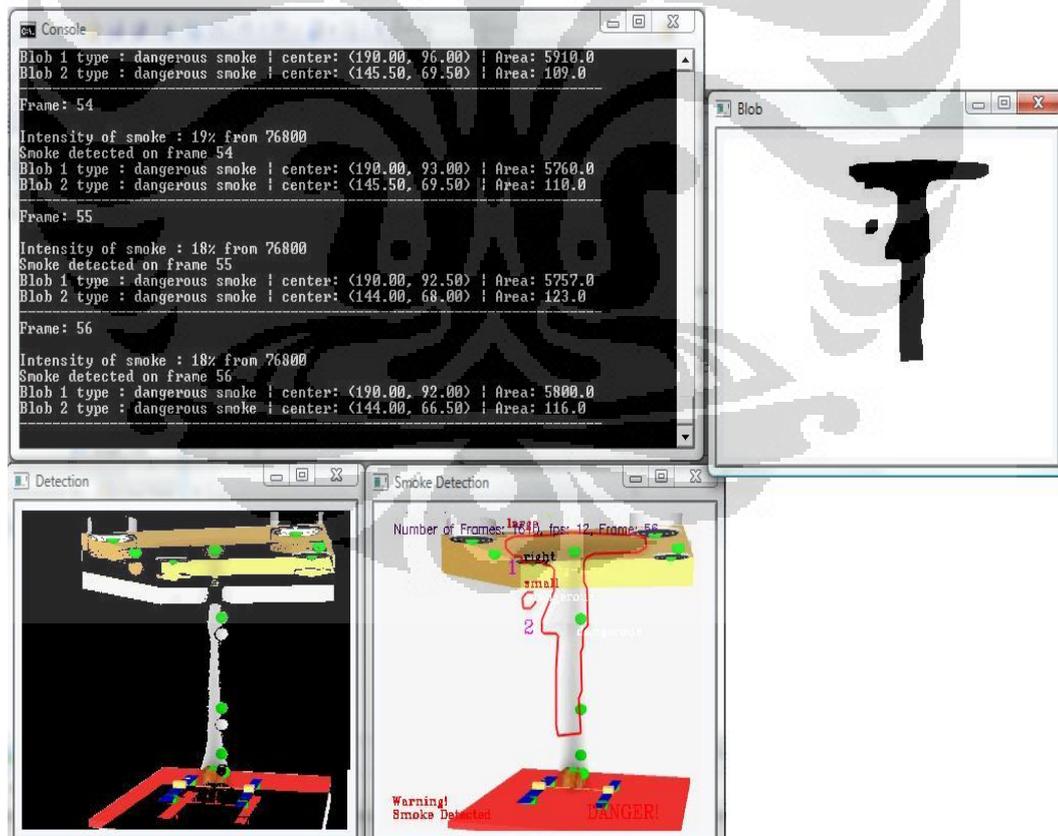
CV dan open file *Smoke.vcproj*. Setelah itu, akan terbuka file seperti pada gambar 3.24. setelah tampilan *software* terbuka, maka siap dilakukan running dengan menjalankan perintah *start debugging* dan *software* akan memberikan pilihan *camera*, *open video*, dan *close* seperti yang di tunjukkan oleh Gambar 3.24. Karena sistem ini masih dijalankan dalam skala lab maka dipilih pilihan open video. Setelah dipilih pilihan tersebut maka tampilan layar *Smokedetection Open CV* akan memilih pilihan untuk mengisi pilihan *bg\_treshold* dan *std\_treshold* (Gambar 3.25). Berdasarkan bahasan dasar teori sebelumnya kedua nilai ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan deteksi. Berdasarkan kesimpulan dari penelitian sebelumnya, kedua nilai yang baik berturut – turut adalah 0.3 dan 3.5 [9,11,12] dengan hasil deteksi seperti Gambar 3.26 di bawah ini.



**Gambar 3.24.** Proses melakukan *debugging* dan membuka video simulasi.



**Gambar 3.25.** Pengisian nilai *threshold* yang sesuai *BG\_treshold* dan *std\_treshold*.



**Gambar 3.26.** Tampilan kerja software *Smokedetection Open CV*.

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian ini, hanya difokuskan pada hasil simulasi menggunakan FDS *Version 5* dengan menggunakan *software Smokedetection Open CV* dan membandingkan dari hasil eksperimen yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Seperti yang sudah dikatakan bahwa eksperimen yang sudah dilakukan oleh Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12] adalah jenis pemanasan material sehingga peristiwa ini disebut sebagai *smoldering*, berdasarkan dasar teori yang sudah didapat. Simulasi dibuat sesuai dengan berbagai pendekatan berdasarkan literature dan hasil eksperimen yang dimodelkan semirip mungkin dengan keadaan seperti eksperimen untuk mencari keadaan yang sulit untuk didapatkan dari hasil eksperimen seperti *heat release rate*, pertumbuhan suhu asap pada setiap volume dan luasan ruang, kecepatan asap setiap waktunya, dan nilai opasitas setiap luasan dan volume ruang. Sehingga hasil simulasi ini, akan dimanfaatkan untuk mencari titik yang berbahaya pada suatu perkembangan asap berdasarkan hubungan dari karakteristik material dan luasan asap dari *blob software Smokedetection Open CV*.

*Smoke detector* ditambahkan pada simulasi untuk membandingkan dan menentukan waktu bahaya yang sesuai untuk pengolahan citra pada *blob*. Dengan demikian, pada saat *smoke detector* menyala, waktu bahaya sudah ditentukan untuk deteksi citra dan dapat ditentukan waktu yang sesuai antara waktu evakuasi korban dengan waktu bahaya tersebut. Simulasi pemodelan dari eksperimen ini dibuat dalam skala lab sehingga memungkinkan bagi *smoke detector* untuk terjadinya sedikit *delay* jika di bandingkan pada percobaan skala besar atau *full scale*.

#### 4.1. ANALISIS RESPON SMOKE DETECTOR TERHADAP PERGERAKAN ASAP

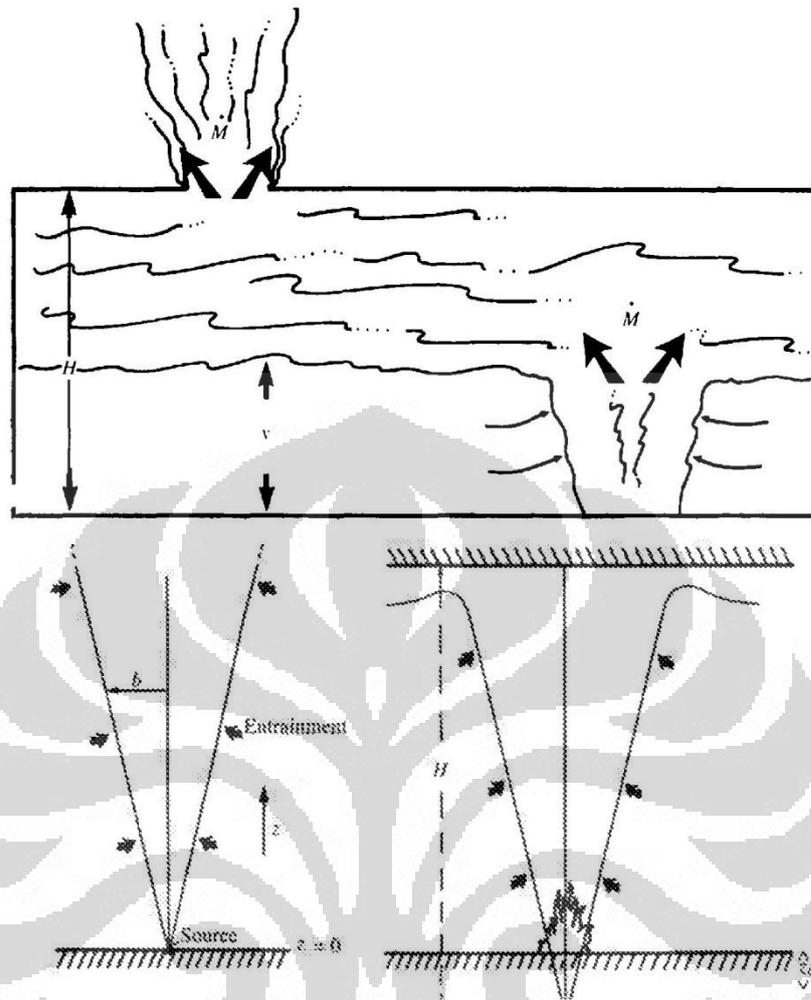
Model pemanasan material pada simulasi FDS pada dasarnya tetap memakai jenis pembakaran *mixture fraction*. Hanya saja, pendekatan seperti ramping rate pemanasan material dan material properties di dalam simulasi FDS membuat hasil dari simulasi ini mendekati hasil eksperimen. Analisis yang

dilakukan dari simulasi ini adalah perubahan nilai *optical density* asap hasil pemanasan material terhadap waktu. Jika pada eksperimen yang dilakukan Fakhrurozi [11] dan Cahyo [12] adalah material yang berpori terkecuali tembaga, simulasi FDS tidak mengenal adanya material berpori artinya tidak ada porositas benda di dalam simulasi FDS.

Pada umumnya, pada saat suatu material terbakar. Secara otomatis, akan memberikan kenaikan asap dalam rentan waktu tertentu seiring dengan tingkat kenaikan *heat release* dari material yang terbakar tersebut. *Heat release* merupakan sebuah gambaran energi yang dilepaskan oleh material akibat sebuah pelepasan uap bahan bakar dalam satuan masa setiap waktu yang terbakar dengan entalpi pembakaran material yang terbakar tersebut. Asap yang dihasilkan dari pembakaran material tersebut akan naik ke langit – langit kompartemen dan kemudian akan menyebar ke seluruh volume ruang di langit – langit kompartemen sampai terjadinya keseimbangan suhu antara asap dan suhu ambient sampai akhirnya turun dari langit – langit kompartemen seiring dengan pertambahan waktu. Penggambaran kondisi ini digambarkan pada Gambar 4.1 dibawah. Sehingga kondisi ini digunakan sebagai standard bahaya yang digunakan untuk respon *smoke video detection*.

Kondisi pergerakan asap seperti diatas sangatlah berbahaya. Untuk itu, analisis bahaya dalam analisis ini menggunakan prinsip – prinsip dasar pergerakan asap tersebut. Untuk memudahkan analisis tersebut, maka digunakan beberapa alat pengukuran ketebalan asap dalam bentuk *optical density* (OD) menggunakan pemodelan alat DIN 50055 seperti pada eksperimen. Nilai OD sangatlah berhubungan erat terhadap nilai *obscuration* ( $O_u$ ) yaitu sebuah nilai yang menggambarkan tingkat intensitas pencahayaan setiap meter akibat keberadaan asap.

Nilai  $O_u$ , seperti yang sudah dijelaskan pada dasar teori, dijadikan sebuah nilai dalam mendefinisikan tingkat suatu bahaya kebakaran pada suatu *smoke detector* dengan nilai *set point* pada *smoke detector* 3.28 %/m. baik untuk *smoke detector photoelectric* maupun ionisasi.



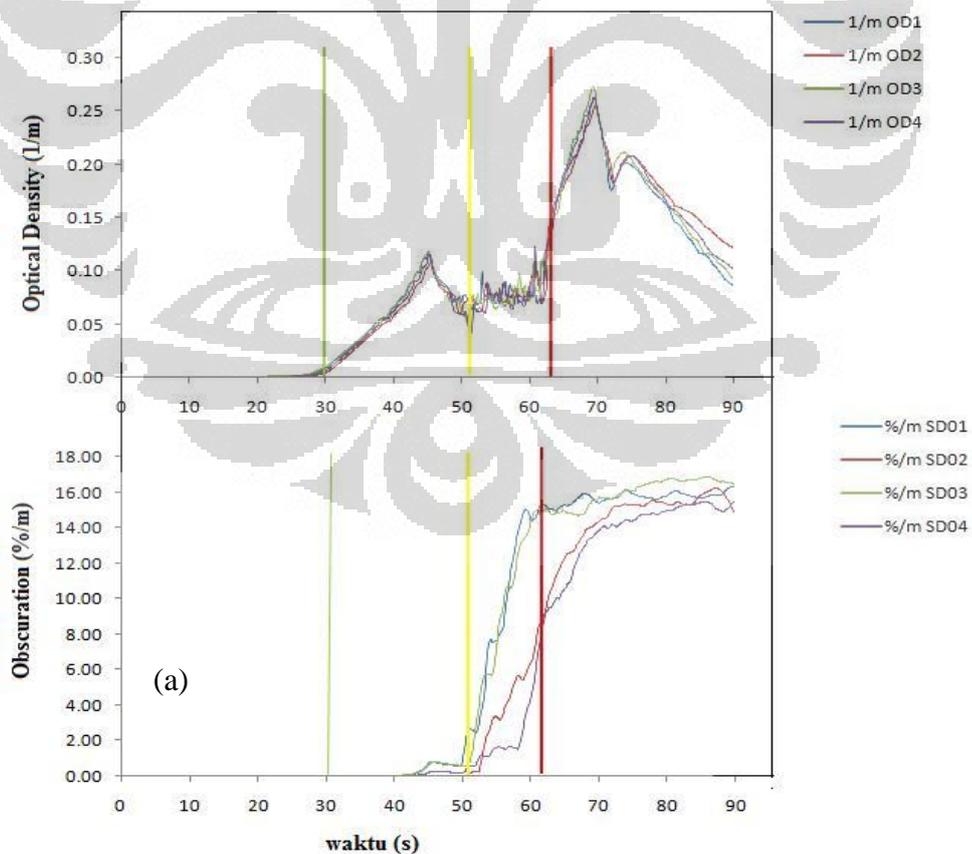
**Gambar 4.1.** Pola pergerakan asap di dalam ruangan atau kompartemen [15].

#### 4.1.1. Respon *Smoke Detector* pada Pergerakan Asap Foam

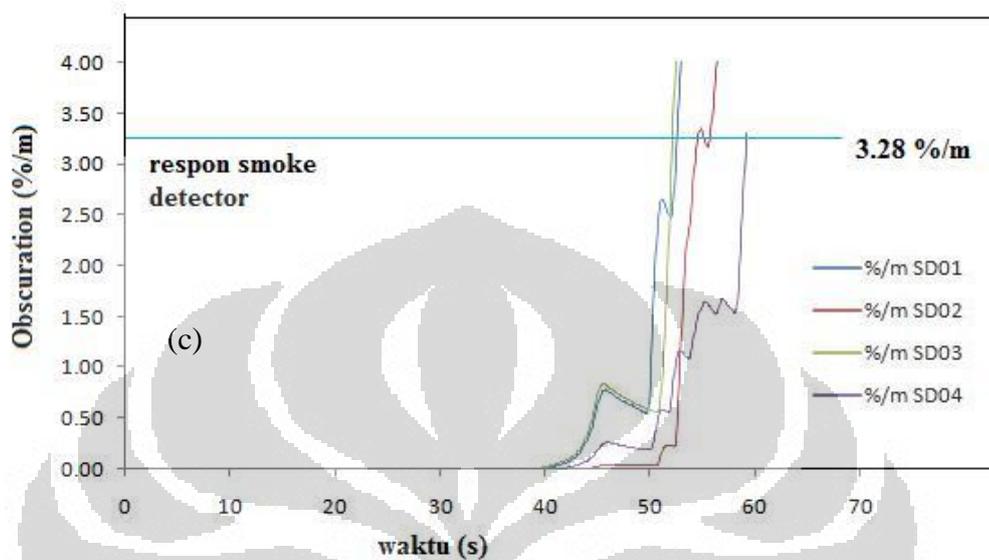
Di dalam pemanasannya, material foam cenderung menghasilkan sedikit asap dibandingkan dengan beberapa material yang lainnya. Pada Gambar 4.2 (a) digambarkan dalam bentuk sebuah grafik setiap kenaikan *optical density* terhadap waktu. Seiring dengan bertambahnya waktu pemanasan material. Pada grafik menggambarkan dengan jelas kondisi langit – langit kompartemen yang dipenuhi oleh asap. Detik ke tiga puluh, merupakan kondisi dimana konsentrasi asap mulai dirasakan oleh langit – langit kompartemen pada setiap titik dimana *smoke detector* berada. Kenaikan *optical density* pada langit kompartemen kemudian menurun sampai di detik lima puluh dikarenakan kondisi material yang mengalami penurunan pemanasan material hingga mengalami kenaikan kembali di detik ke enam puluh seiring dengan bertambahnya panas pada sisi material. Di

detik ke 52 (Gambar 4.2 b) *optical density* ditunjukkan bernilai  $0.07 \text{ m}^{-1}$  atau setara dengan nilai *obscuration*  $3.46 \text{ %/m}$ . Sedangkan untuk pergerakan asap yang mulai melebar pada langit – langit kompartemen mulai terlihat pada citra pada detik ke 62 dengan nilai OD sebesar  $0.11 \text{ m}^{-1}$  atau setara dengan nilai  $O_u$   $15.02 \text{ %/m}$  pada *detector* nomor tiga yang lebih dahulu merespon keberadaan asap.

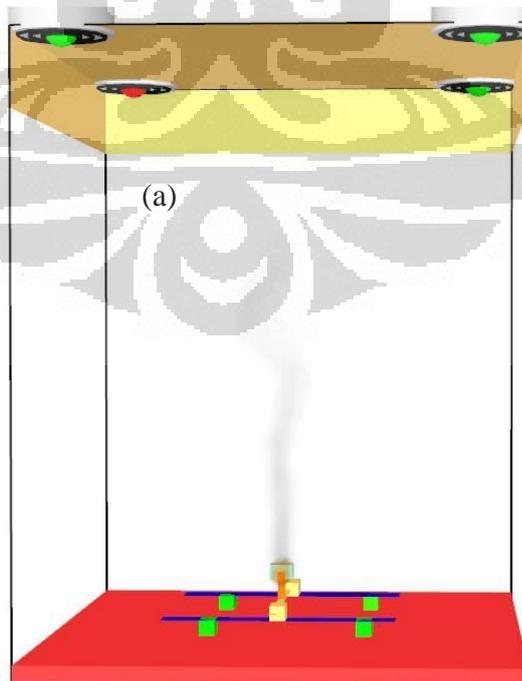
Umumnya, masing – masing penempatan *smoke detector* yang berbeda dapat menimbulkan respon yang berbeda – beda pula tergantung dari jarak sumber kebakaran terhadap *smoke detector* itu sendiri. Sehingga akumulasi asap terhadap *smoke detector* juga berbeda – beda karena asap pun bergerak berbeda – beda terhadap setiap arah kompartemen. Pada Gambar 4.2 (c) dengan jelas memperlihatkan bahwa  $O_u$  pada *smoke detector* mengalami kenaikan yang berbeda – beda pada setiap sudut penempatannya. *Smoke detector* tiga lebih dahulu merespon keberadaan asap karena *smoke detector* tiga mempunyai jarak yang lebih dekat sumber asap seperti yang ditunjukkan oleh gambar geometri simulasi (Gambar 3.2).

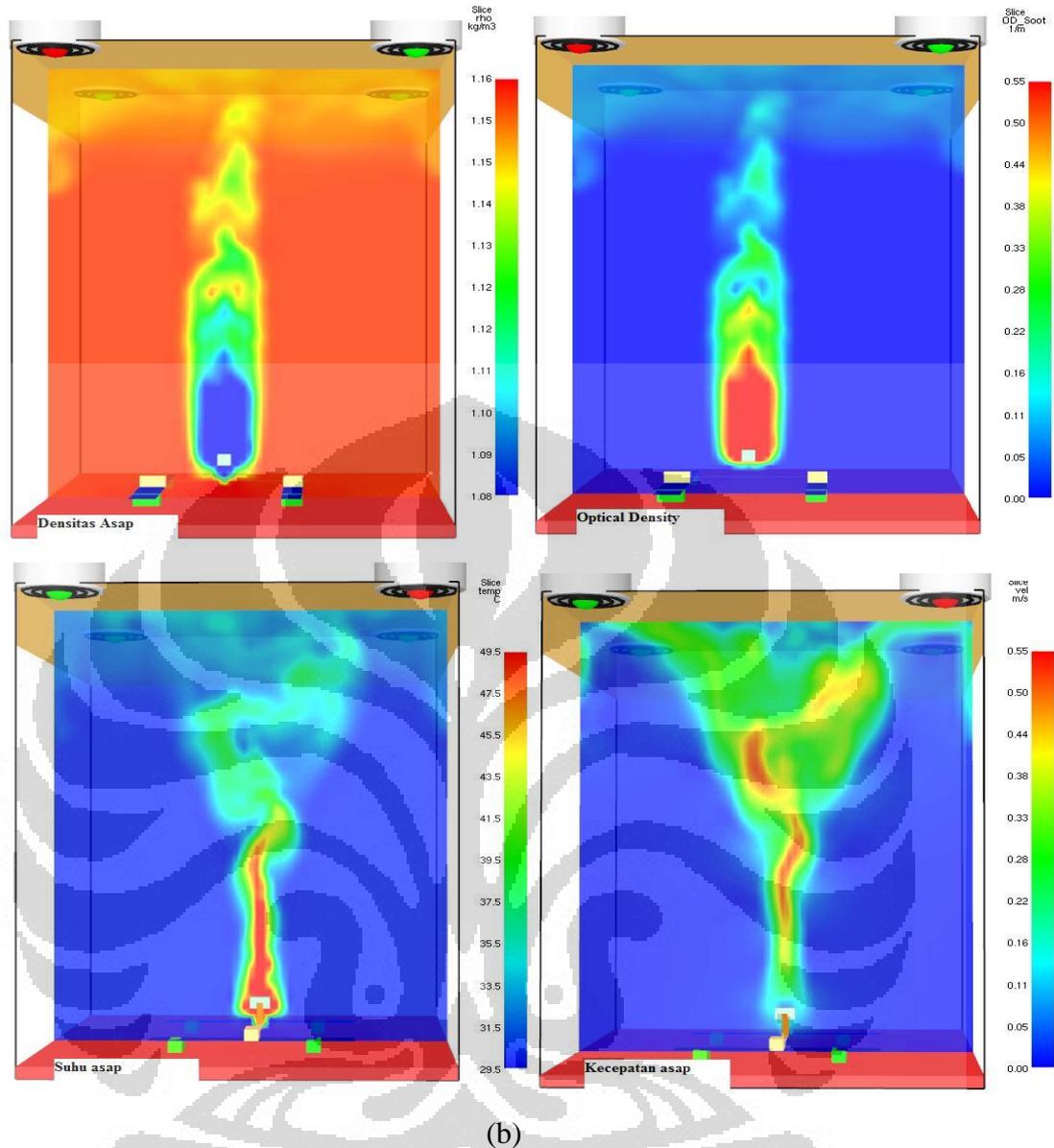


- Respon keberadaan asap pada citra 30 s
- Respon smoke detector 52 s, OD 0.07 l/m,  $O_u$  3.46 %/m (b)
- Respon bahaya pada citra 62 s, OD 0.11 l/m,  $O_u$  15.02 %/m



**Gambar 4.2.** Pergerakan asap foam (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan  $O_u$  pada tiap *Smoke detector* (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing *detector* (c) grafik  $O_u$  untuk setiap respon *smoke detector*.





**Gambar 4.3.** Pergerakan asap foam (a) Kondisi ketika *smoke detector* menyala pada simulasi (b) kondisi densitas, *optical density*, suhu, dan kecepatan asap ketika *smoke detector* menyala.

Walaupun sebenarnya citra tidak mendeteksi keberadaan asap pada langit – langit kompartemen di saat *smoke detector* merespon (Gambar 4.3a) tetapi sebenarnya kondisi langit – langit kompartemen sudah dipenuhi oleh asap. Hal tersebut digambarkan oleh *slices file* pada Gambar 4.3 (b) yang memperlihatkan kondisi asap dalam bentuk densitas, *optical density*, suhu, dan kecepatan asap. Pada *slices file* densitas terlihat bahwa pada langit – langit kompartemen asap

sudah memiliki densitas sebesar  $1.15 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan berbeda dengan *slices file optical density* yang memiliki nilai  $0.16 \text{ m}^{-1}$ . Nilai *optical density* memang terlihat sangat kecil tetapi karena pengaruh densitas asap yang besar membuat *smoke detector* mulai merespon. Kenyataan lain selain densitas dan *optical density* yang membuat *smoke detector* cepat merespon adalah suhu asap dan kecepatan aliran asap. Suhu pada pemanasan material sangat berpengaruh terhadap kecepatan aliran asap seperti yang sudah digambarkan oleh persamaan 2.6 dasar teori pergerakan asap. Semakin panas sebuah sumber kebakaran maka akan semakin cepat aliran asap bergerak menuju langit kompartemen.

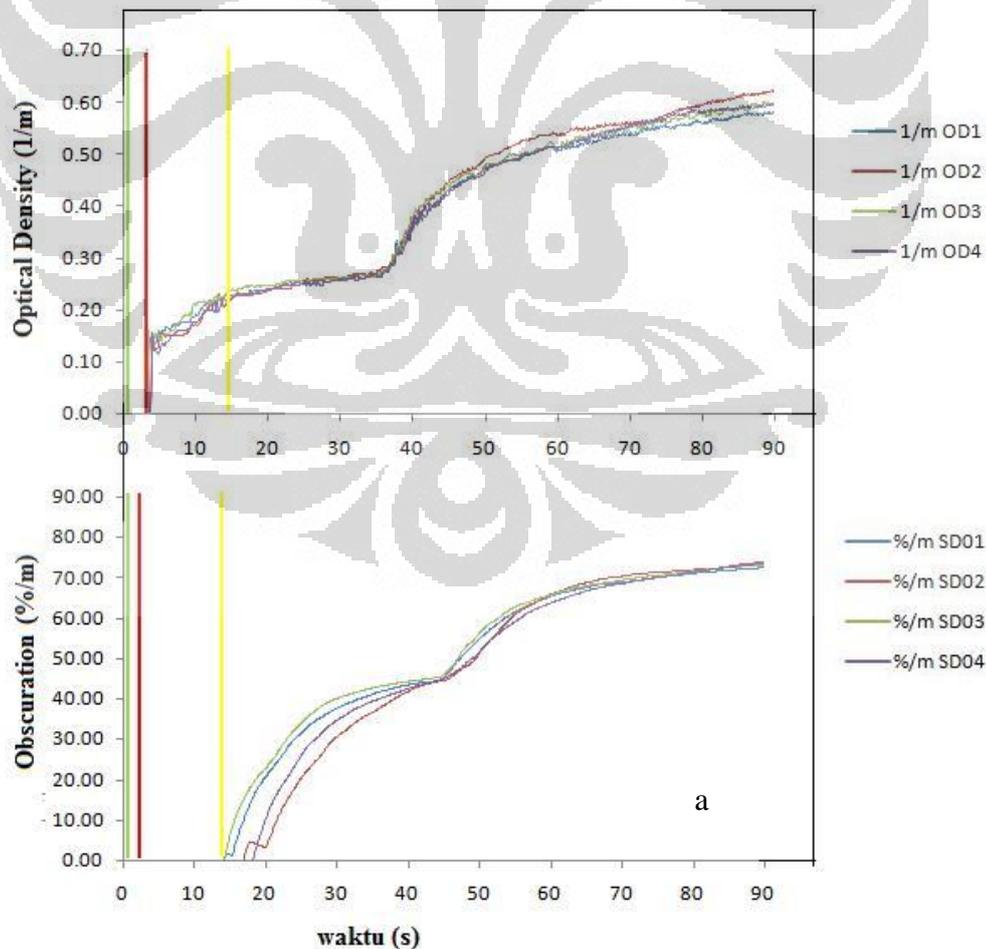
#### 4.1.2. Respon *Smoke Detector* pada Pergerakan Asap Karet

Berbeda dengan foam. Material karet cenderung menghasilkan asap yang begitu besar. Hal tersebut dikarenakan komposisi penyusun karet yang memiliki fraksi karbon yang banyak seperti yang terlampir pada tabel 3.5 material properties. Kenaikan *optical density* terhadap pada grafik Gambar 4.4 (a) memperlihatkan kondisi keberadaan asap pada setiap sudut langit – langit kompartemen. Dari grafik tersebut dapat diceritakan bahwa asap mulai melebar di langit – langit kompartemen pada detik ke tiga sampai ke sembilan hingga kemudian terakumulasi pada langit – langit kompartemen dengan nilai *optical density*  $0.15 \text{ m}^{-1}$ . Seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.4 (b), bahwa asap mulai terlihat bahaya pada citra pada detik 8.7 dengan nilai OD  $0.24 \text{ m}^{-1}$ . Namun, karena ciri kerja *smoke detector* yang bekerja karena akumulasi asap membuat respon *smoke detector* sangat lambat sehingga butuh waktu bagi *smoke detector* untuk merespon. Dengan demikian, dibutuhkan nilai *optical density* yang sangat besar untuk *smoke detector* agar cepat merespon, yaitu sebesar  $0.24 \text{ m}^{-1}$  setara dengan nilai *obscuration* sebesar  $3.32 \text{ %/m}$  pada *smoke detector*. Jika dihubungkan kedua garis merah dan kuning pada grafik OD dan  $O_u$  (Gambar 4.4a), akan didapat rentan waktu *smoke detector* untuk merespon dari awal penyebaran asap pada langit – langit kompartemen yaitu sebesar sepuluh detik.

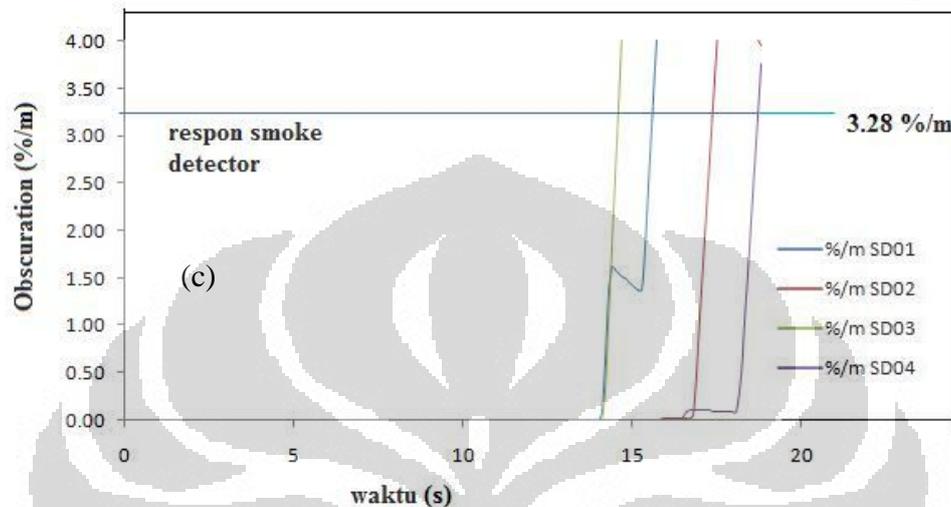
Berbeda halnya dengan respon *smoke detector*, respon pergerakan asap dengan kenaikan *optical density* terhadap waktu terlihat dengan jelas pada citra di detik 8.7 dengan nilai *optical density* sebesar  $0.19 \text{ m}^{-1}$  pada langit – langit

kompartemen. Nilai *optical density* yang cukup besar pada sudut dimana *smoke detector* berada membuat citra mampu mendeteksi keberadaan asap.

Pada Gambar 4.4 (c) memperlihatkan dengan jelas pergerakan asap pada setiap sudut langit – langit kompartemen. Asap lebih terlihat bergerak pada daerah dimana *smoke detector* ke tiga berada. Pada awalnya pergerakan asap di *smoke detector* tiga dan pertama adalah sama. Namun, perbedaan jarak antara sumber asap dan *smoke detector* membuat akumulasi pada *smoke detector* ketiga lebih cepat. Disusul kemudian oleh respon *smoke detector* pertama karena memang kedua *detector* ini bersebrangan satu sama lain. Kemudian akumulasi asap baru bisa dirasakan *smoke detector* ke-dua dan ke-empat seperti pada grafik  $O_u$  Gambar 4.4(c) berturut – turut. Semua nilai  $O_u$  ini akan bertemu pada titik 45.20 detik dengan nilai  $O_u$  45.12 %/m atau setara dengan nilai OD  $0.45 \text{ m}^{-1}$  (Gambar 4.4a) pada setiap masing – masing *smoke detector* di ke-empat sudut langit – langit kompartemen.



- Respon keberadaan asap pada citra 0.322 s
- Respon smoke detector 14.61 s, OD 0.24 1/m,  $O_u$  3.32 %/m (b)
- Respon bahaya pada citra 8.7 s, OD 0.19 1/m



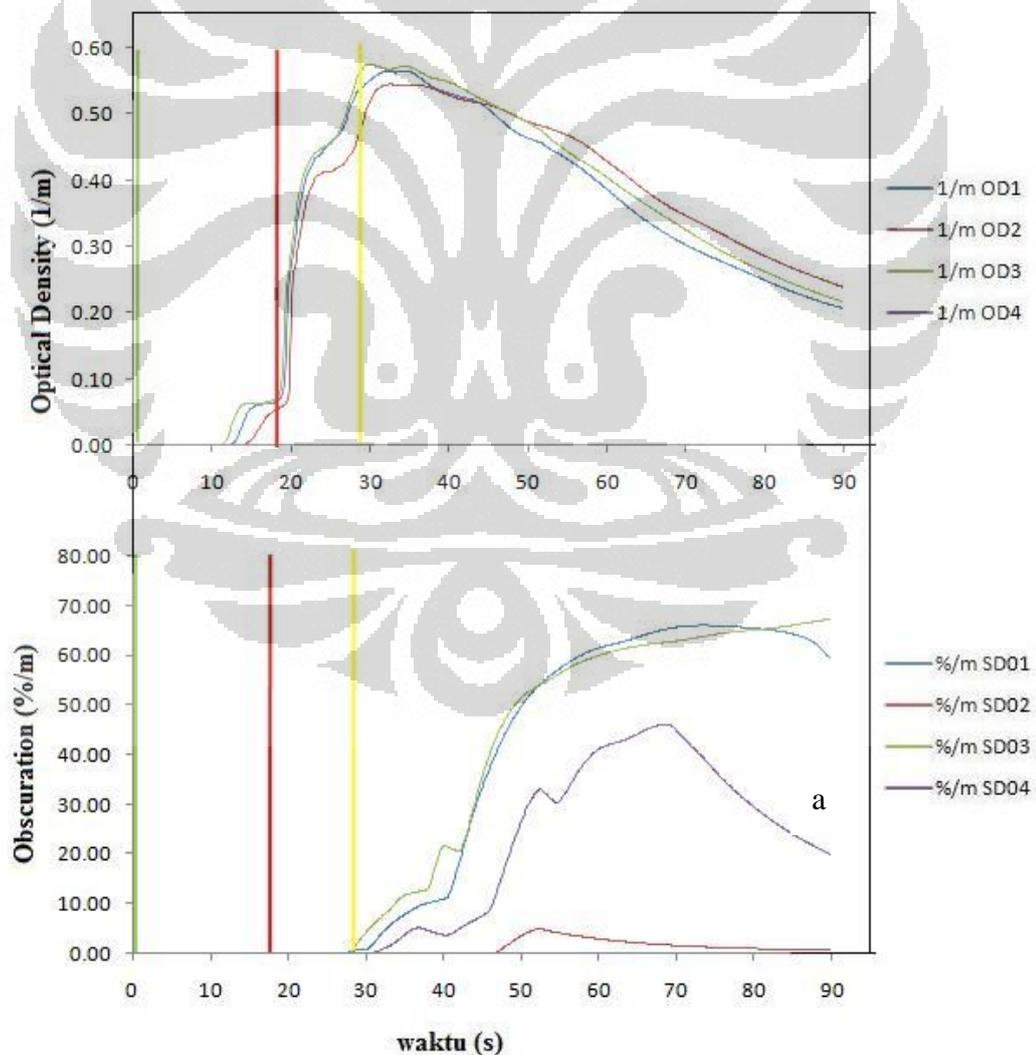
**Gambar 4.4.** Pergerakan asap karet (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan  $O_u$  pada tiap *smoke detector* (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing *detector* (c) grafik  $O_u$  untuk setiap respon *smoke detector*.

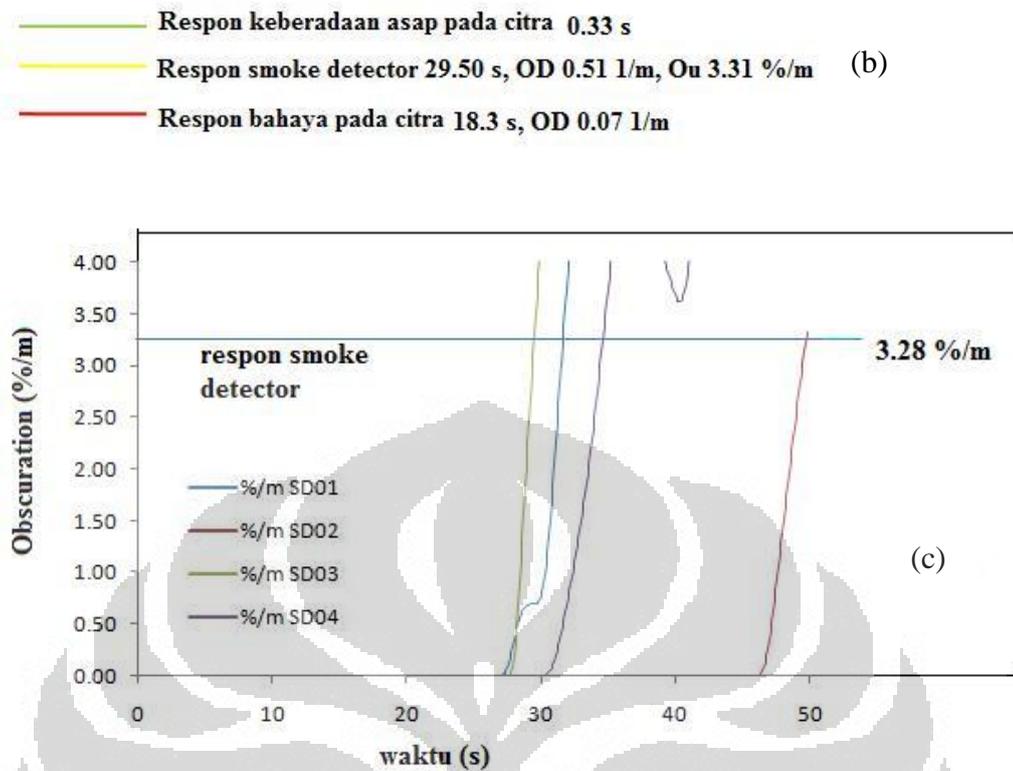
#### 4.1.3. Respon *Smoke Detector* pada Pergerakan Asap PVC

Respon *smoke detector* pada pergerakan asap hasil pemanasan PVC cenderung lebih telat seperti yang telah dialami oleh respon *smoke detector* pada pemanasan karet. Berdasarkan grafik *optical density* (Gambar 4.5a), Asap pada langit – langit kompartemen mulai di rasakan pada detik ke dua belas hingga material mengalami kenaikan *optical density* secara drastis dari detik ke dua puluh sampai ke tiga puluh. Pada detik ke 18.3, citra mulai menangkap pergerakan asap (Gambar 4.5b) pada langit – langit kompartemen dengan nilai OD 0.07  $m^{-1}$  pada setiap sudut kompartemen. Kemudian selang sepuluh detik kemudian pada detik ke 29.50 *smoke detector* mulai merespon keberadaan asap dengan nilai OD 0.51  $m^{-1}$  atau setara dengan nilai  $O_u$  3.31 %/m pada *smoke detector*. Dengan demikian, diketahui bahwa *smoke detector* membutuhkan waktu untuk merespon keberadaan

asap sekitar dua puluh detik dari awal terakumulasinya asap di setiap sudut langit – langit kompartemen.

Respon *smoke detector* pada asap yang dihasilkan pemanasan PVC ini pun berbeda – beda. Bahkan terjadi perbedaan akumulasi yang sangat jauh pada *smoke detector* ke-empat (Gambar 4.4c) dengan tingkat *obscuration* yang berbeda – beda terhadap *smoke detector* yang lainnya. Sama halnya dengan respon *smoke detector* yang lain, *smoke detector* ke-tiga merespon lebih dahulu kemudian di susul oleh *smoke detector* pertama, ke-empat, dan ke-dua. Fenomena ini bisa dijelaskan pada grafik OD Gambar 4.5(a) bahwa pada titik dimana *smoke detector* ke-dua berada, grafik *optical density*-nya berada paling bawah di antara grafik OD yang lain kemudian grafik ini baru mengalami kenaikan pada detik ke lima puluh yaitu dimana *smoke detector* ke-dua bisa merespon keberadaan asap.





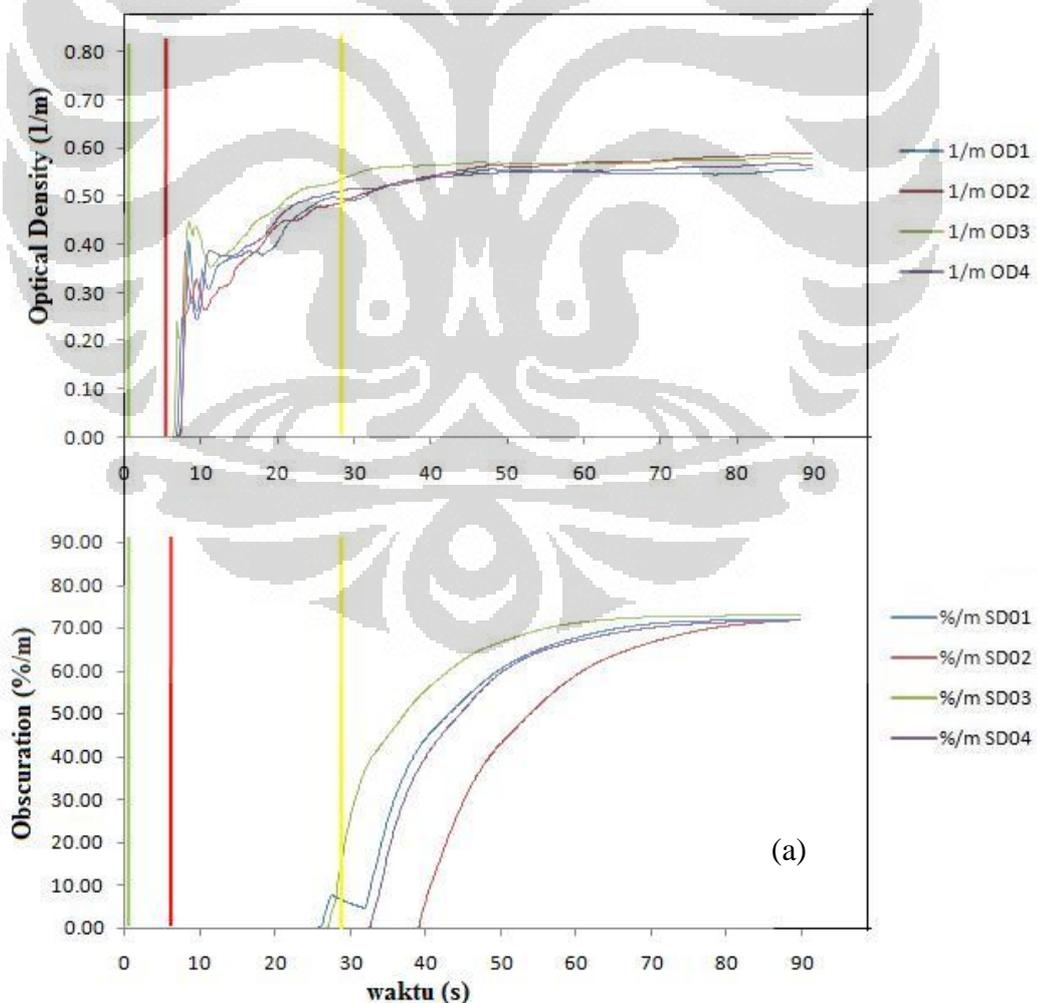
**Gambar 4.5.** Pergerakan asap PVC (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan  $O_u$  pada tiap *smoke detector* (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing *detector* (c) grafik  $O_u$  untuk setiap respon *smoke detector*.

#### 4.1.4. Respon *Smoke Detector* pada Pergerakan Asap Kayu

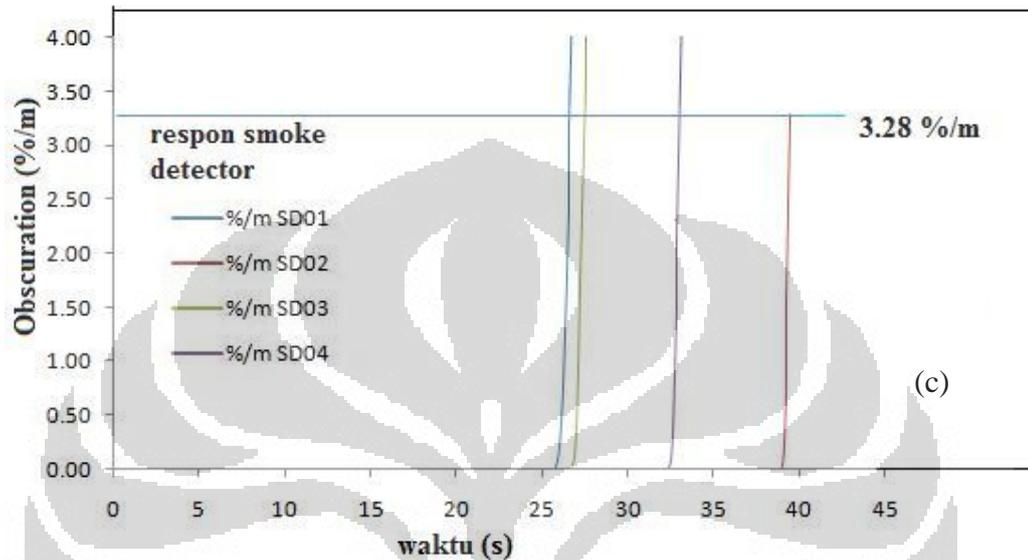
Pada simulasi pemanasan kayu, kayu menghasilkan asap yang tebal dari awal waktu pemanasan simulasi. Pada saat asap dihasilkan dari pemanasan, asap mulai menyebar ke langit – langit kompartemen pada detik ke enam dan mulai terlihat pada citra. Akumulasi asap pada titik dimana *smoke detector* berada mulai dirasakan pada detik ke 6.91 untuk OD  $0.24 \text{ m}^{-1}$  seperti yang ditunjukkan pada grafik *optical density* gambar 4.6(a). Pada grafik tersebut terlihat pergerakan grafik *optical density* yang tidak stabil di detik ke enam sampai ke detik tiga puluh. Pola grafik *optical density* ini merupakan sebuah penggambaran bahwa pada langit – langit asap terjadi turbulensi akibat penambahan densitas asap sehingga pergerakan asap seperti ini menimbulkan respon pada *smoke detector* terhadap keberadaan asap. *Smoke detector* merespon keberadaan asap pada detik 26.7 dengan nilai *optical density*  $0.52 \text{ m}^{-1}$  pada langit – langit kompartemen atau

sebanding dengan nilai *obscuration* 3.83 %/m asap yang terakumulasi pada *smoke detector*.

Urutan respon *smoke detector* pada Gambar 4.6(a) memperlihatkan dengan jelas bahwa *smoke detector* pertama dan ke-tiga berturut – turut pada detik ke 26.7 dan 26.91 pada grafik. Kenaikan nilai *obscuration* pada *smoke detector* ini sangatlah dipengaruhi oleh pergerakan grafik *optical density* pada titik *smoke detector* berada (Gambar 4.6a) karena pergerakan *optical density* asap yang tidak stabil pada titik tersebut mempengaruhi akumulasi respon masing – masing *smoke detector*. Sehingga dengan pergerakan nilai *optical density* ini (Gambar 4.6a), *smoke detector* memiliki respon yang jauh tentunya pada *smoke detector* ke-dua dan ke-empat.



- Respon keberadaan asap pada citra 0.2681 s (b)
- Respon smoke detector 26.7 s, OD 0.52 1/m,  $O_u$  3.83 %/m
- Respon bahaya pada citra 6 s



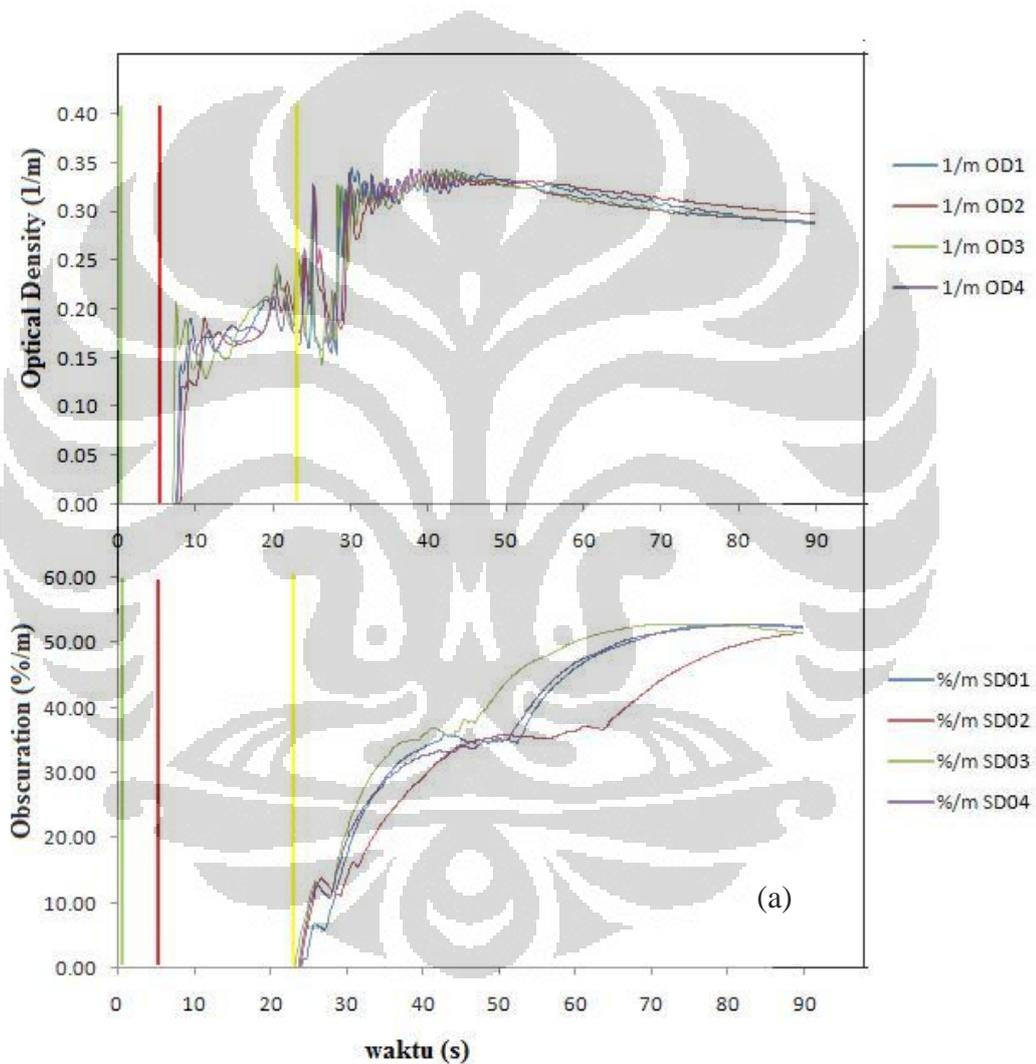
**Gambar 4.6.** Pergerakan asap kayu (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan  $O_u$  pada tiap *Smoke detector* (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing *detector* (c) grafik  $O_u$  untuk setiap respon *smoke detector*.

#### 4.1.5. Respon *Smoke Detector* pada Pergerakan Asap Kertas

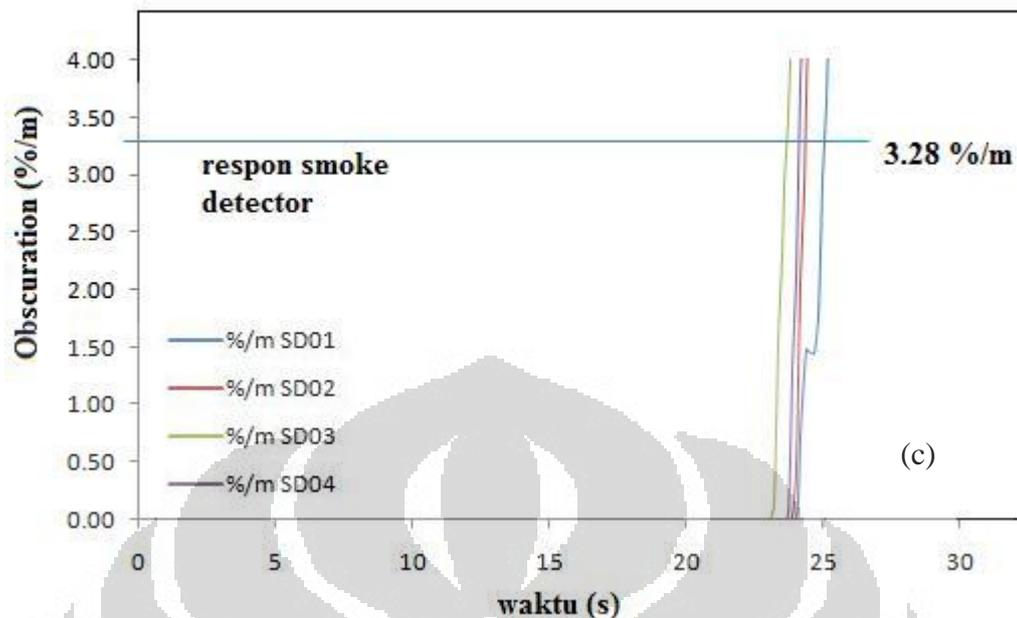
kertas sama halnya dengan kayu, kertas mengepulkan asap dengan konsentrasi yang besar. Namun yang berbeda adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh kertas setengah kali dari kayu. Hal tersebut terlihat dari grafik *optical density* kayu (Gambar 4.7a dan Gambar 4.6a). jika dibandingkan kedua grafik OD ini akan terlihat bahwa kayu memiliki tingkat ketebalan asap maksimal sebesar OD  $0.6 \text{ m}^{-1}$  dan kertas maksimal sebesar  $0.35 \text{ m}^{-1}$ . Tingkat ketebalan asap ini tentunya akan memberikan respon deteksi yang berbeda pada *smoke detector* seperti yang sudah disebutkan sebelumnya. Turbulensi pada langit – langit kompartemen pun juga terjadi dari awal asap mulai menyebar ke langit – langit kompartemen di detik 7.60 sampai di detik ke tiga puluh. *Smoke detector* pada detik 23.7 mulai merespon keberadaan asap dengan nilai *optical density*  $0.19 \text{ m}^{-1}$

atau setingkat dengan nilai *obscuration* 3.51 %/m (Gambar 4.7a). sedangkan citra merespon penyebaran asap di langit – langit kompartemen pada detik ke-enam.

Gambar 4.7(c) memperlihatkan dengan jelas bagaimana respon *smoke detector* terhadap akumulasi asap yang terjadi di titik *smoke detector* berada (Gambar 4.7a). Tidak terjadi perbedaan yang jauh terhadap respon tiap *detector*. Hal ini dikarenakan *optical density* atau pergerakan asap di setiap titik *smoke detector* berada mengalami pergerakan yang turbulen.



- Respon keberadaan asap pada citra 0.28 s
- Respon smoke detector 23.7 s, OD 0.19 1/m, Ou 3.51 %/m (b)
- Respon bahaya pada citra 6 s



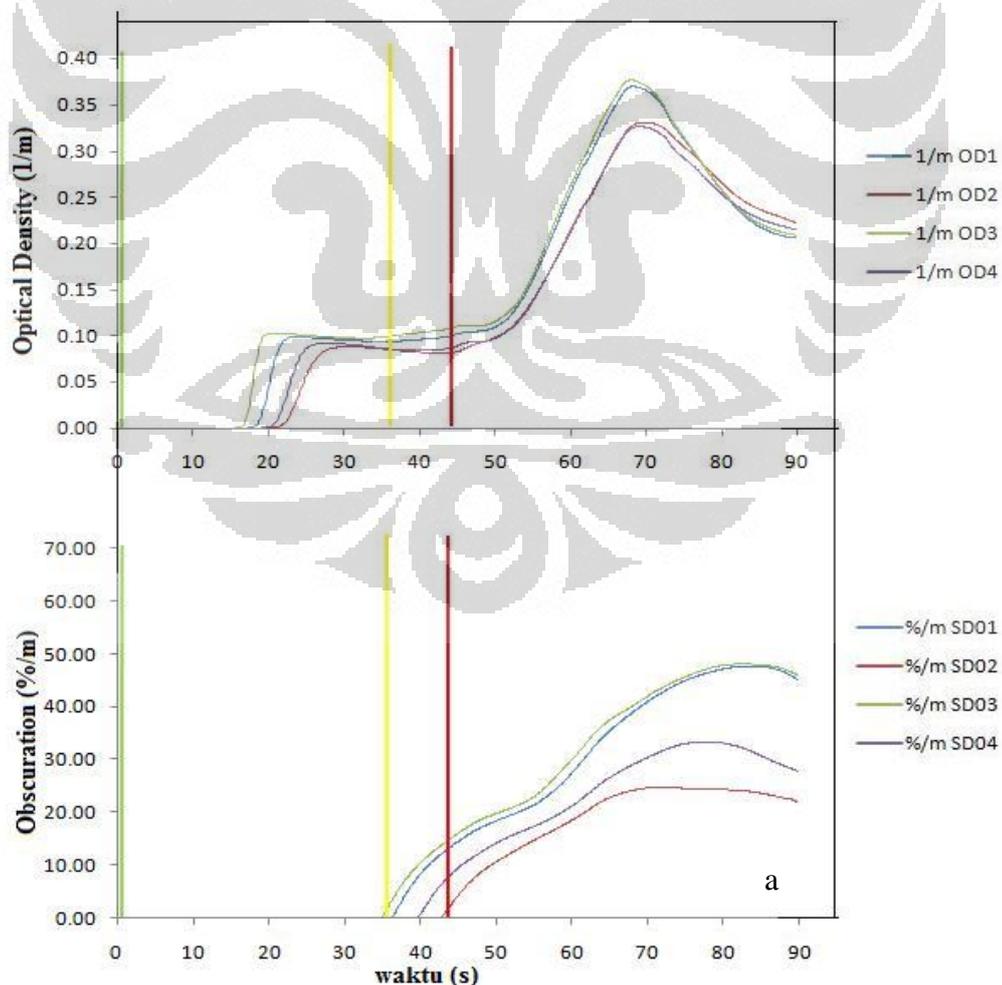
**Gambar 4.7.** Pergerakan asap kertas (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan  $O_u$  pada tiap *smoke detector* (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing *detector* (c) grafik  $O_u$  untuk setiap respon *smoke detector*.

#### 4.1.6. Respon Smoke Detector pada Pergerakan Asap Sigaret

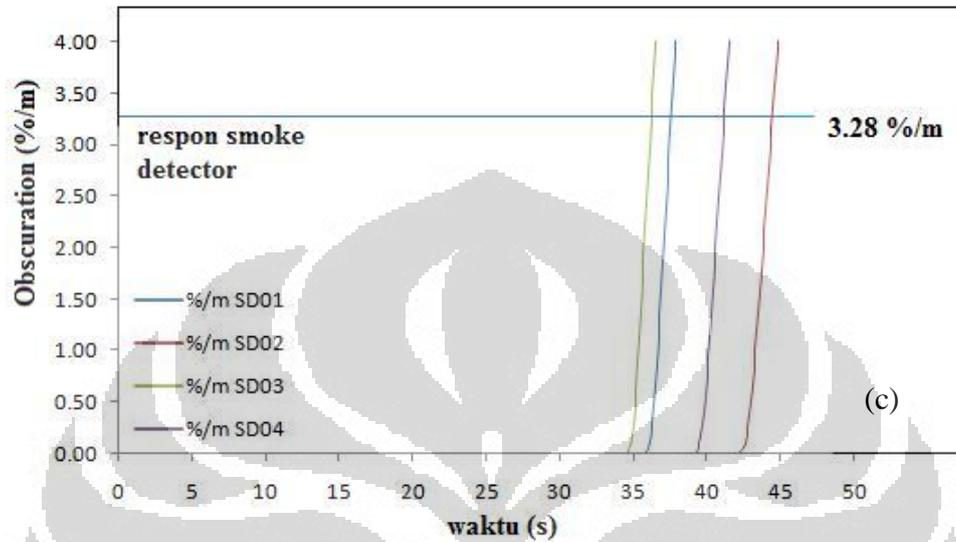
Pada hasil simulasi, pergerakan asap sigaret menyerupai seperti foam. Asap yang dihasilkan sigaret tidak sebanyak material sejenis seperti kayu dan kertas. Tetapi karena pengaruh pemanasan, asap terakumulasi pada langit – langit kompartemen. Gambar 4.8(a) menjelaskan kondisi langit – langit kompartemen dimana *smoke detector* berada. Pada saat asap naik dan menyebar ke langit – langit kompartemen, pergerakan asap tidak seluruhnya merata sama untuk setiap sudut *smoke detector* berada. Sehingga grafik *optical density* pada Gambar 4.8(a), pada saat awal penyebaran asap memberikan titik awal kenaikan asap yang berbeda. Pada grafik *optical density*, pergerakan asap dapat diartikan bahwa cenderung bergerak di titik *smoke detector* ke tiga, kemudian diikuti berturut – turut oleh pergerakan asap untuk sudut langit – langit di titik *smoke detector* pertama, ke-empat, dan ke-dua. Seluruh *smoke detector* ini berturut – turut merespon pergerakan asap sampai sepuluh detik berdasarkan grafik *obscuration* masing – masing *smoke detector* (Gambar 4.8c).

Pada simulasi pemanasan foam, *smoke detector* juga merespon pergerakan asap lebih dahulu dibandingkan citra karena penampakan asap pada simulasi tidak begitu jelas yang diakibatkan oleh pemanasan material yang lambat. Pada gambar 4.8(b), *smoke detector* mulai merespon keberadaan asap pada detik 36.31 dengan nilai *optical density*  $0.12\text{m}^{-1}$  atau setara dengan nilai *obscuration*  $3.48\%/m$  sedangkan citra melihat penyebaran asap sampai ke titik *smoke detector* berada pada detik 44.1 dengan nilai *optical density*  $0.17\text{ m}^{-1}$  atau setara dengan nilai *obscuration*  $15.18\%/m$  pada titik *smoke detector* berada.

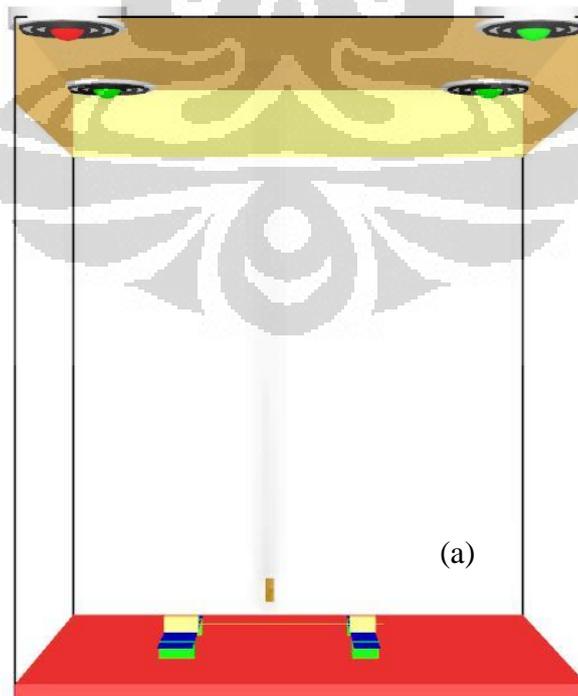
Fenomena respon *smoke detector* yang lebih dahulu merespon ini (Gambar 4.9a) tentu dapat dijelaskan juga seperti pada fenomena yang terjadi pada foam dengan menggunakan *slices file*. Pada *slices file* gambar 4.9(b), densitas asap sebesar  $1.16\text{ kg/m}^3$  dengan nilai *optical density* yang kecil yaitu sebesar  $0.07\text{ m}^{-1}$  dan aliran suhu sebesar  $34.5\text{ }^\circ\text{C}$  dan kecepatan asap sebesar  $0.04\text{ m/s}$  tidaklah sebesar asap yang dihasilkan foam.

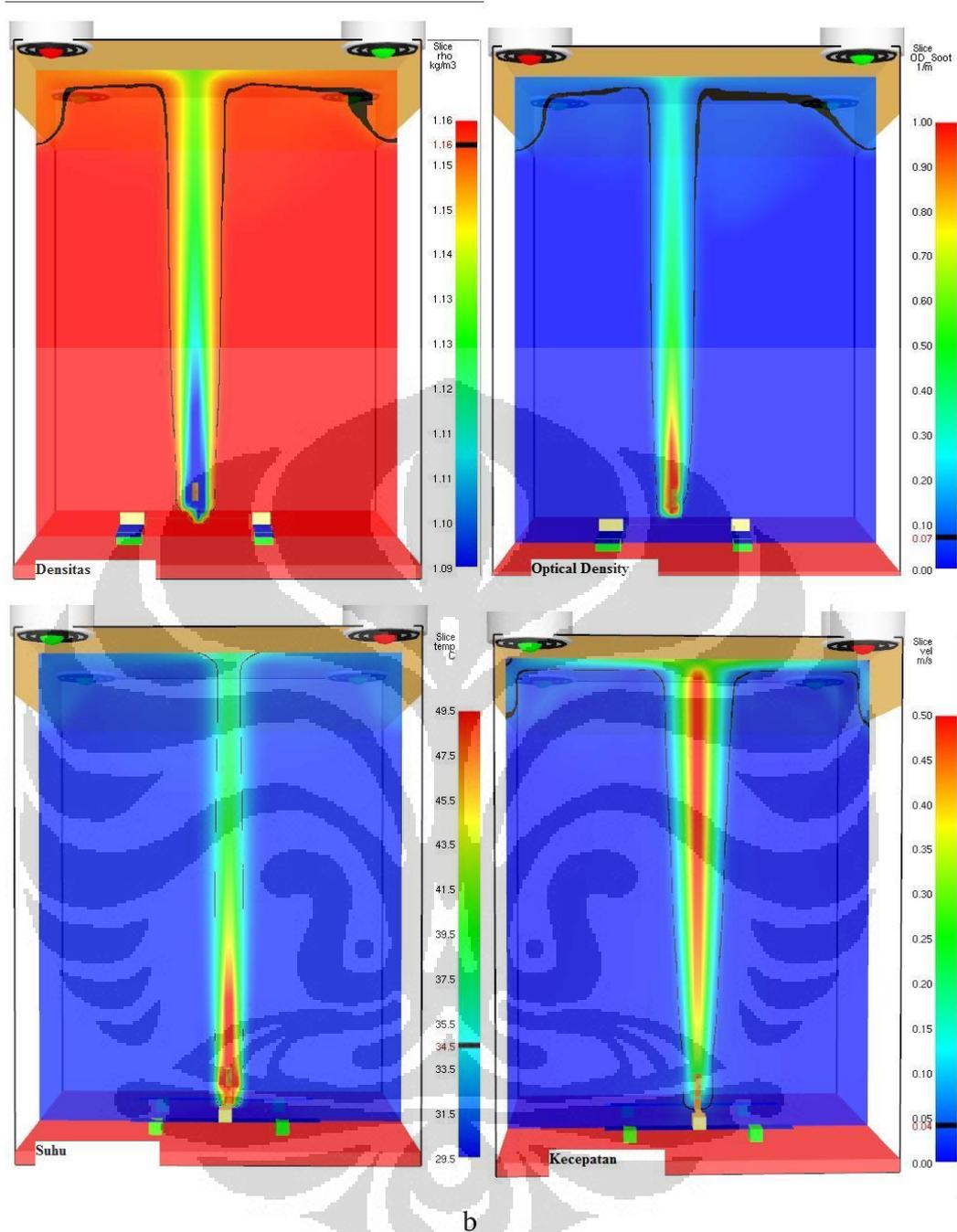


- Respon keberadaan asap pada citra 0.32 s      b
- Respon smoke detector 36.31 s, OD 0.12 l/m, Ou 3.48 %/m
- Respon bahaya pada citra 44.1 s, OD 0.17 l/m, Ou 15.18 %/m



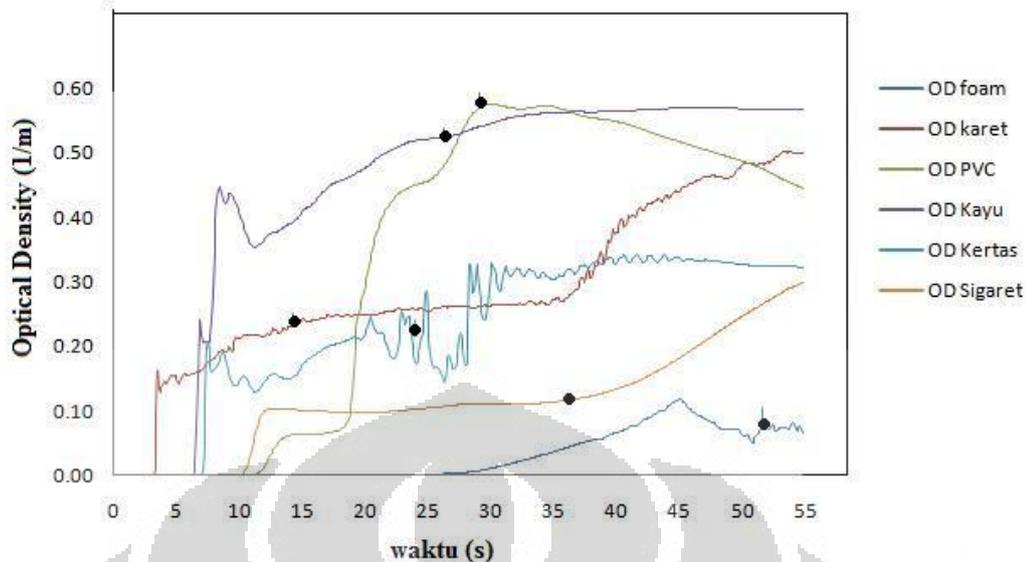
**Gambar 4.8.** Pergerakan asap sigaret (a) Respon bahaya berdasarkan kenaikan nilai OD dan  $O_u$  pada tiap *smoke detector* (b) titik respon keberadaan dan bahaya masing – masing *detector* (c) grafik  $O_u$  untuk setiap respon *smoke detector*.





**Gambar 4.9.** Pergerakan asap pada *slices file* (a) Kondisi ketika *smoke detector* menyala pada simulasi (b) kondisi densitas, *optical density*, suhu, dan kecepatan asap ketika *smoke detector* menyala.

Dari seluruh respon *smoke detector* berdasarkan analisa di atas. Dapat dibuat grafik hubungan waktu dan *optical density* ketika *smoke detector* berbunyi. Hubungan grafik ini digambarkan melalui grafik Gambar 4.10 di bawah ini.



**Gambar 4.10.** Waktu respon *smoke detector* berdasarkan tingkat *optical density*.

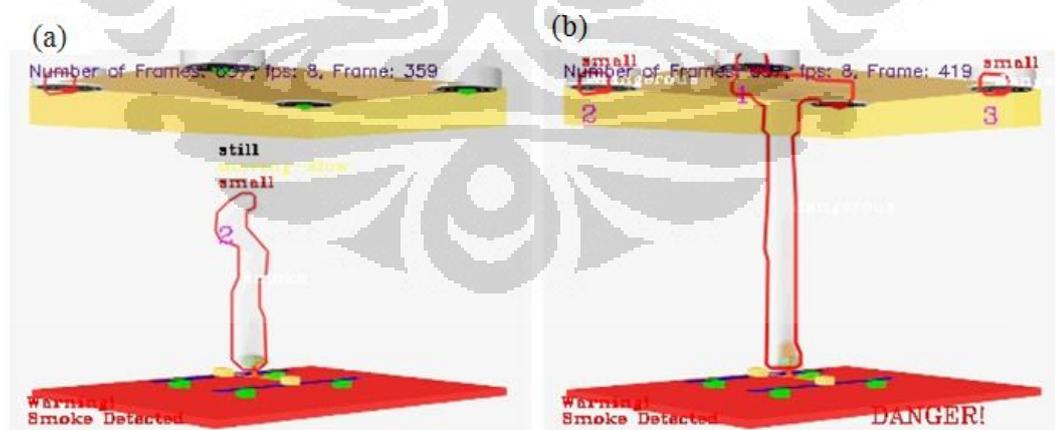
Pada grafik tersebut digambarkan bahwa *smoke detector* pada saat pemanasan foam akan merespon di *optical density*  $0.01 - 0.09 \text{ m}^{-1}$  pada waktu 52 detik. Sedangkan respon *smoke detector* tercepat terdapat pada asap hasil pemanasan karet dalam tingkat *optical density* sebesar  $0.01 - 0.26 \text{ m}^{-1}$  dan merespon di waktu 14.6 detik. Untuk PVC, *smoke detector* memiliki respon yang lamban walaupun tingkat akumulasi asap mencapai *optical density*  $0.55 \text{ m}^{-1}$  pada titik *smoke detector* berada dan baru merespon di detik 29.5 detik. pada pemanasan kayu, *smoke detector* juga merespon di detik 26.7 dengan nilai *optical density*  $0.49 \text{ m}^{-1}$ . Tingkat ketebalan asap pada pemanasan kertas pun sama dengan pemanasan karet pada titik *smoke detector* berada yaitu sebesar  $0.22 \text{ m}^{-1}$  dengan respon *smoke detector* di waktu 23.7 detik. tingkat akumulasi asap pada pemanasan sigaret pun sama halnya pada foam dengan nilai *optical density*  $0.11 \text{ m}^{-1}$  sehingga respon *smoke detector* dalam pemanasan ini di waktu 36.31 detik.

#### 4.2. ANALISIS RESPON CITRA TERHADAP PERGERAKAN ASAP

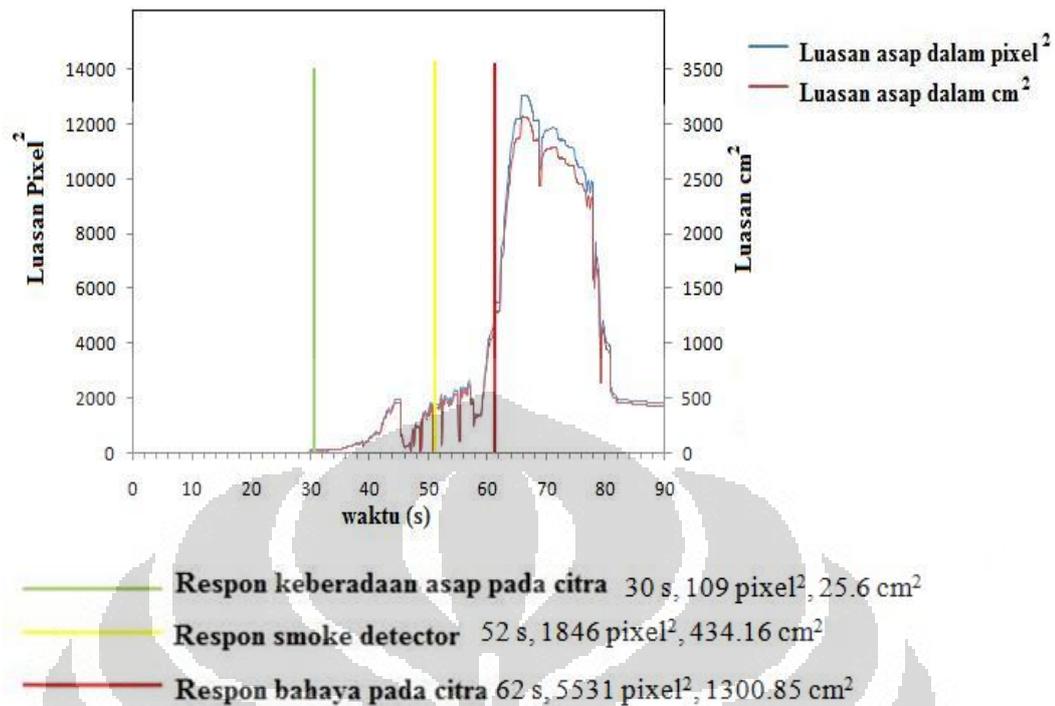
Pada penelitian ini, evaluasi citra menggunakan *Smokedetection Open CV* digunakan untuk mencari kriteria seperti luasan asap pada *blob Smokedetection Open CV* yang terjadi pada saat penyebaran asap mulai terjadi di langit – langit kompartemen dan pada saat *smoke detector* merespon. Perbandingan pendeteksian penyebaran asap pada langit – langit kompartemen dan respon *smoke detector*

dilakukan agar bisa mendapatkan waktu dan luasan asap yang ideal dengan kriteria bahaya untuk *Smokedetection Open CV*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahaya kebakaran adalah disaat asap hasil pembakaran mulai menyentuh dan menyebar pada langit – langit kompartemen.

Pada Gambar 4.11 dibawah ini merupakan pendeteksian asap *software Smokedetection Open CV* pada saat *smoke detector* merespon (a) dan pada saat citra menangkap pergerakan asap pada langit – langit kompartemen (b). Pada evaluasi citra foam, kalibrasi satu piksel pada citra simulasi senilai 2.062 cm pada ukuran sesungguhnya. pada grafik luas blob (Gambar 4.12) saat *smoke detector* merespon, luas *blob* yang tertangkap pada blob sebesar 1846 piksel<sup>2</sup> atau 434.16 cm<sup>2</sup> sedangkan jika asap diukur menggunakan *software ImageJ* luas asap yang dihasilkan idealnya hanya 1514 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 356 cm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk luas *blob* asap yang dihasilkan *Smokedetection* ketika asap melebar pada langit – langit kompartemen sebesar 5531 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 1300 cm<sup>2</sup>. Untuk luas asap sesungguhnya berdasarkan pengukuran manual dari *software imageJ* adalah 2702 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan dengan 635.5 cm<sup>2</sup>. Dari luasan *blob* asap yang dihasilkan, luas terbesar adalah 13068 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3073 cm<sup>2</sup> di waktu 65.92 detik.



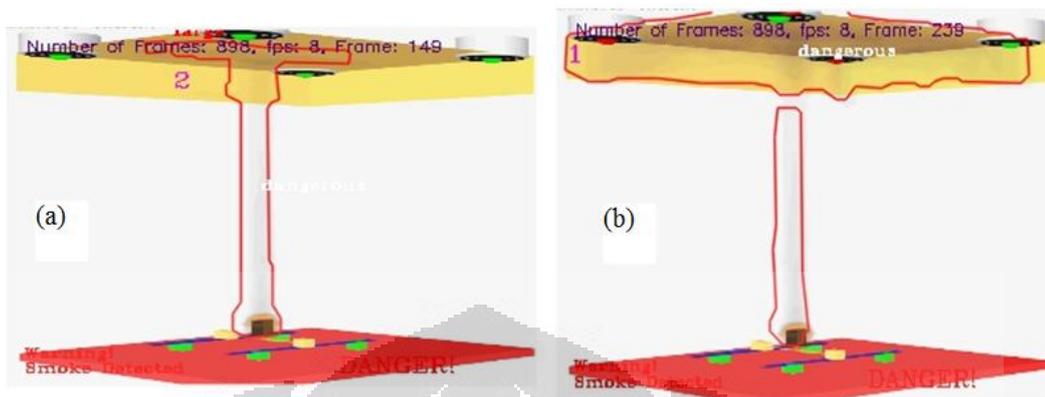
**Gambar 4.11.** Perbandingan respon citra (a) respon citra terhadap asap saat *smoke detector* merespon (b) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen saat pemanasan foam.



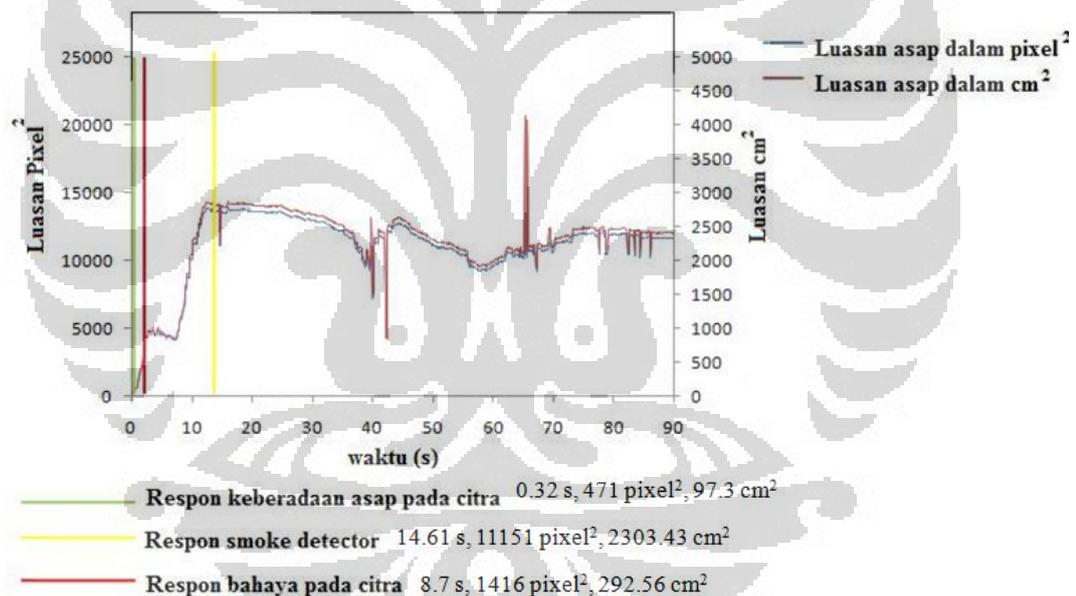
**Gambar 4.12.** Grafik luasan *blob Smokedetection Open CV* yang dihasilkan terhadap asap pemanasan foam.

Pada Gambar 4.13 berikut ini merupakan pendeteksian asap *software Smoke Detection Open CV* pada saat *smoke detector* merespon (b) dan pada saat citra menangkap pergerakan asap pada langit – langit kompartemen (a) ketika pemanasan karet. Tidak seperti foam, asap yang dihasilkan oleh pemanasan karet lebih cepat menghasilkan asap yang tebal. Pada evaluasi citra karet, kalibrasi satu piksel pada citra simulasi senilai 2.2 cm dari ukuran sesungguhnya. pada grafik luas *blob* (Gambar 4.14), untuk luas *blob* asap yang dihasilkan *smokedetection* ketika asap melebar pada langit – langit kompartemen sebesar 1416 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 292.56 cm<sup>2</sup>. Untuk luas asap sesungguhnya berdasarkan pengukuran manual dari *software ImageJ* adalah 3577 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan dengan 739.049 cm<sup>2</sup>. Sedangkan saat *smoke detector* merespon, luas *blob* yang tertangkap pada *blob* sebesar 11151 piksel<sup>2</sup> atau 2303.43 cm<sup>2</sup> sedangkan jika asap diukur menggunakan *software ImageJ* luas asap yang dihasilkan idealnya hanya 12136 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 2507.44 cm<sup>2</sup>. Dari luasan *blob* asap yang dihasilkan, luas terbesar yang dapat terukur oleh *blob software*

*Smokedetection Open CV* dari citra simulasi adalah 20047 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 4141.94 cm<sup>2</sup> di waktu 65.286 detik.



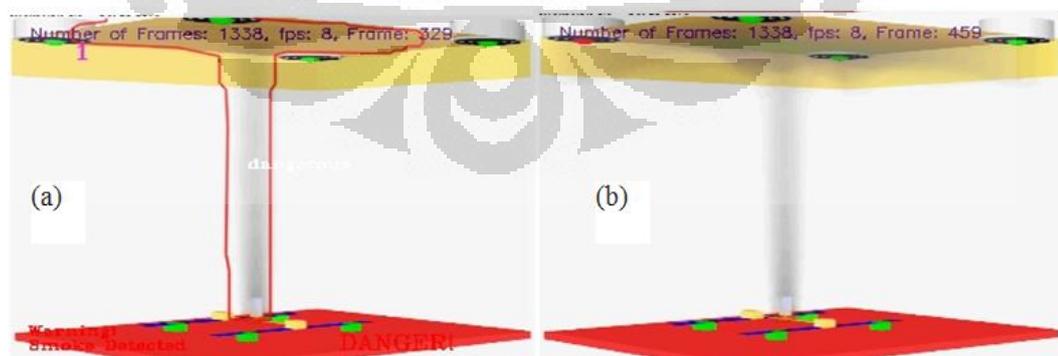
**Gambar 4.13.** Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat *smoke detector* merespon saat pemanasan karet.



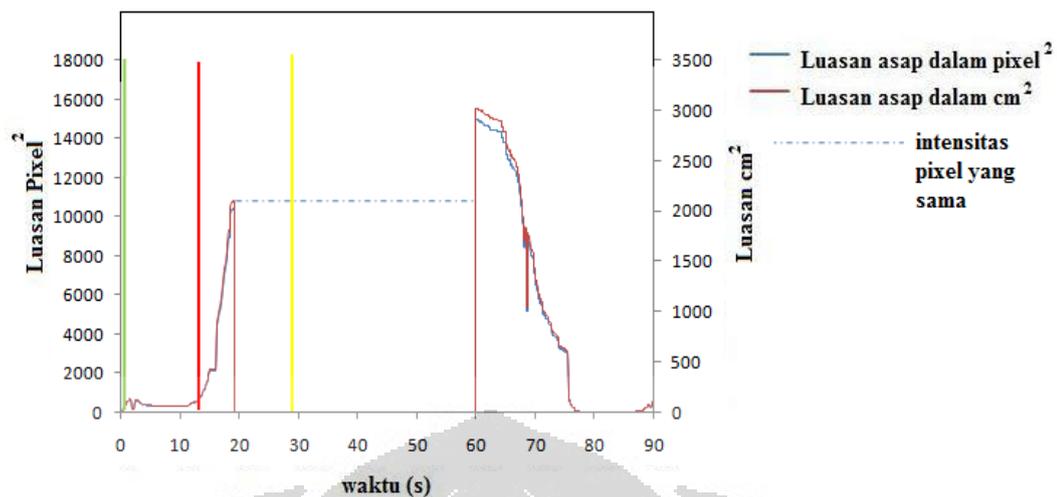
**Gambar 4.14.** Grafik luasan *blob Smokedetection Open CV* yang dihasilkan terhadap asap pemanasan karet.

Pada pemanasan material PVC, Gambar 4.15 dibawah ini, merupakan pendeteksian asap *software Smokedetection Open CV* pada saat *smoke detector* merespon (b) dan pada saat citra menangkap pergerakan asap pada langit – langit kompartemen (a). Sama halnya dengan karet, asap yang dihasilkan oleh

pemanasan PVC lebih cepat terakumulasi pada langit – langit kompartemen. Pada evaluasi citra karet, kalibrasi satu piksel pada citra simulasi senilai 2.225 cm dari ukuran sesungguhnya. pada grafik luas *blob* (Gambar 4.16), untuk luas *blob* asap yang dihasilkan *smokedetection* ketika asap melebar pada langit – langit kompartemen sebesar 8939 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 1805.63 cm<sup>2</sup>. Untuk luas asap sesungguhnya berdasarkan pengukuran manual dari *software ImageJ* adalah 4787 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 966.95 cm<sup>2</sup>. Sedangkan saat *smoke detector* merespon, luas *blob* yang tertangkap pada *blob* sebesar 10385 piksel<sup>2</sup> atau 2097.715 cm<sup>2</sup> sedangkan jika asap diukur menggunakan *software ImageJ* luas asap yang dihasilkan idealnya hanya 15406 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3111.9 cm<sup>2</sup>. Dari luasan *blob* asap yang dihasilkan, luas terbesar yang dapat terukur oleh *blob software Smokedetection Open CV* dari citra simulasi adalah 14944 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3018.609 cm<sup>2</sup> di waktu 59.99 detik. Pada grafik luasan asap terdapat luasan *blob* yang putus dari detik ke delapan belas sampai ke enam puluh. Hal tersebut dikarenakan *software Smokedetection* merekam pergerakan asap yang intensitasnya sama dengan pergerakan asap sebelumnya sehingga asap yang dideteksi didefinisikan sebagai *background* oleh *software Smokedetection*.



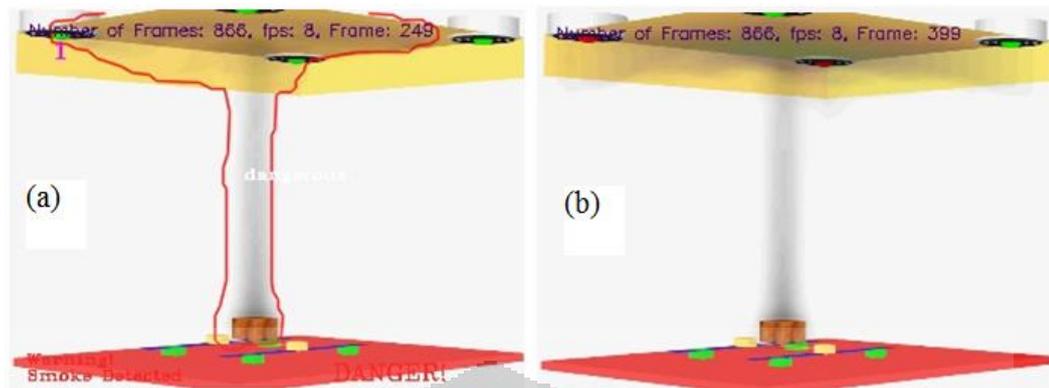
**Gambar 4.15.** Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat *smoke detector* merespon saat pemanasan PVC.



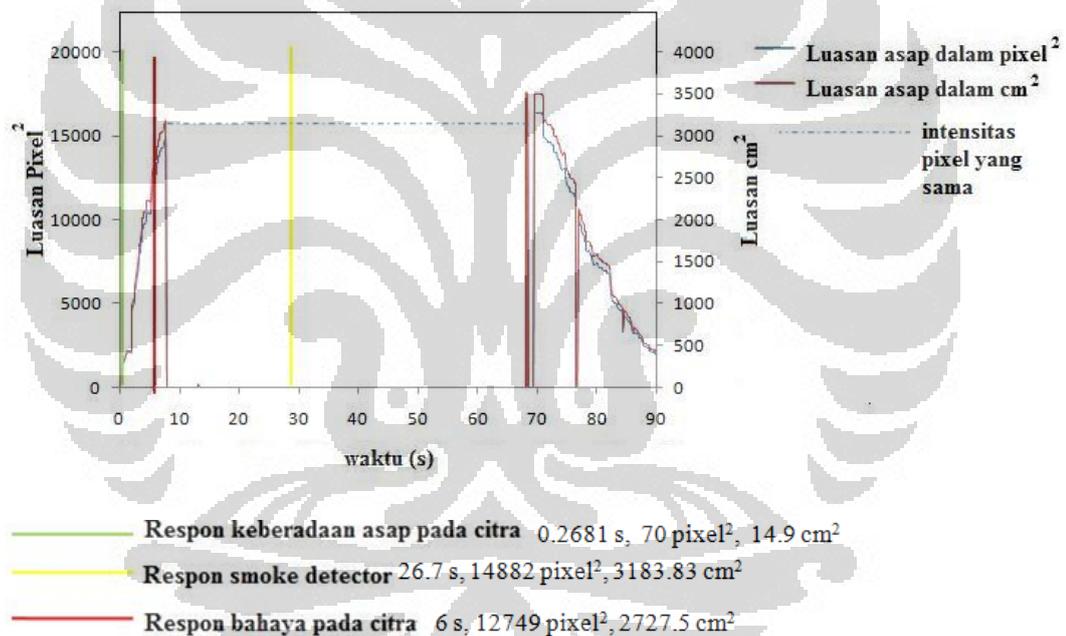
- Respon keberadaan asap pada citra 0.332 s, 236 pixel<sup>2</sup>, 47.67 cm<sup>2</sup>
- Respon smoke detector 29.5 s, 10385 pixel<sup>2</sup>, 2097.715 cm<sup>2</sup>
- Respon bahaya pada citra 18.3 s, 8939 pixel<sup>2</sup>, 1805.631 cm<sup>2</sup>

**Gambar 4.16.** Grafik luasan *blob Smokedetection Open CV* yang dihasilkan terhadap asap pemanasan PVC.

Pada Gambar 4.17 pemanasan selulosa kayu dibawah ini, merupakan pendeteksiian asap *software Smokedetection Open CV* pada saat *smoke detector* merespon (b) dan pada saat citra menangkap pergerakan asap pada langit – langit kompartemen (a). pada simulasi FDS, asap yang dihasilkan oleh pemanasan kayu lebih besar dan cepat terakumulasi pada langit – langit kompartemen. Pada evaluasi citra kayu, kalibrasi satu piksel pada citra simulasi senilai 2.162 cm dari ukuran sesungguhnya. pada grafik luas *blob* (Gambar 4.18), untuk luas *blob* asap yang dihasilkan *Smokedetection* ketika asap melebar pada langit – langit kompartemen sebesar 12749 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 2727.5 cm<sup>2</sup>. Untuk luas asap sesungguhnya berdasarkan pengukuran manual dari *software ImageJ* adalah 11267 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan dengan 2410.44 cm<sup>2</sup>. Sedangkan saat *smoke detector* merespon, luas *blob* yang tertangkap pada *blob* sebesar 14882 piksel<sup>2</sup> atau 3183.83 cm<sup>2</sup> sedangkan jika asap diukur menggunakan *software ImageJ* luas asap yang dihasilkan idealnya hanya 16587 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3548.6 cm<sup>2</sup>. Dari luasan *blob* asap yang dihasilkan, luas terbesar yang dapat terukur oleh *blob software Smokedetection Open CV* dari citra simulasi adalah 16426 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3514.151 cm<sup>2</sup> di waktu 68.117 detik.



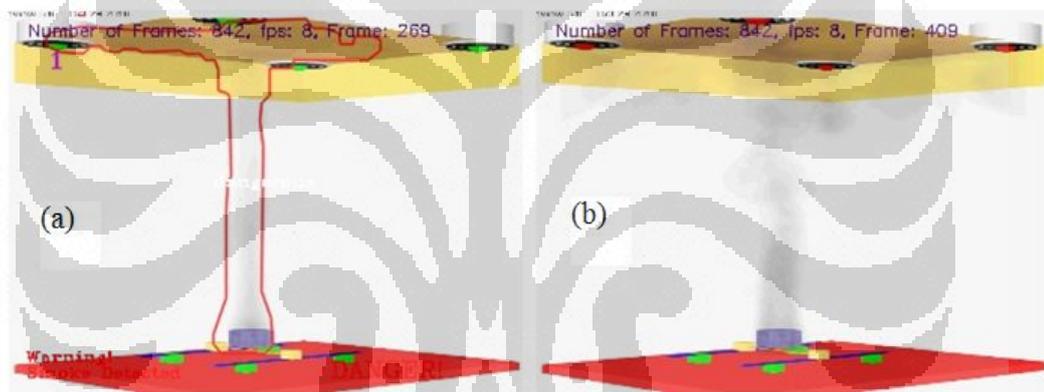
**Gambar 4.17.** Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat smoke detector merespon saat pemasanan kayu.



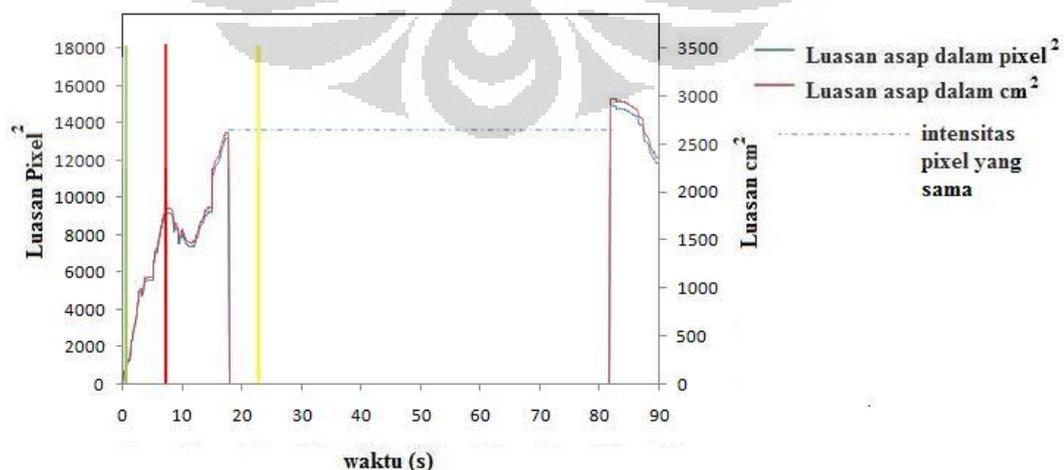
**Gambar 4.18.** Grafik luasan *blob Smokedetection Open CV* yang dihasilkan terhadap asap pemanasan kayu.

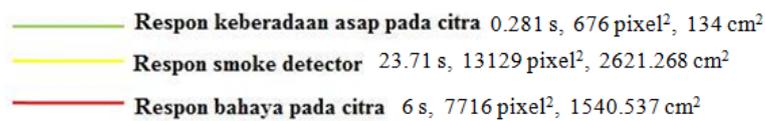
Untuk Gambar 4.19 pemanasan kertas dibawah ini, merupakan respon pendeteksiian asap *Software Smoke Detection Open CV* pada saat *smoke detector* merespon (b) dan pada saat citra menangkap pergerakan asap pada langit – langit kompartemen (a). pada simulasi FDS, asap yang dihasilkan oleh pemanasan kertas setengah kali besarnya dengan asap yang dihasilkan kayu dan dengan cepat terakumulasi pada langit – langit kompartemen. Pada evaluasi citra kertas,

kalibrasi satu piksel pada citra simulasi senilai 2.238 cm dari ukuran sesungguhnya. pada grafik luas *blob* (Gambar 4.20), untuk luas blob asap yang dihasilkan *Smokedetection* ketika asap melebar pada langit – langit kompartemen sebesar 7716 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 1540.537 cm<sup>2</sup>. Untuk luas asap sesungguhnya berdasarkan pengukuran manual dari *software ImageJ* adalah 4580 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan dengan 914.42 cm<sup>2</sup>. Sedangkan saat *smoke detector* merespon, luas *blob* yang tertangkap pada blob sebesar 13129 piksel<sup>2</sup> atau 2621.268 cm<sup>2</sup> sedangkan jika asap diukur menggunakan *software ImageJ* luas asap yang dihasilkan idealnya hanya 19398 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3872.9 cm<sup>2</sup>. Dari luasan *blob* asap yang dihasilkan, luas terbesar yang dapat terukur oleh *blob software Smokedetection Open CV* dari citra simulasi adalah 14916 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 2978.052 cm<sup>2</sup> di waktu 81.73 detik.



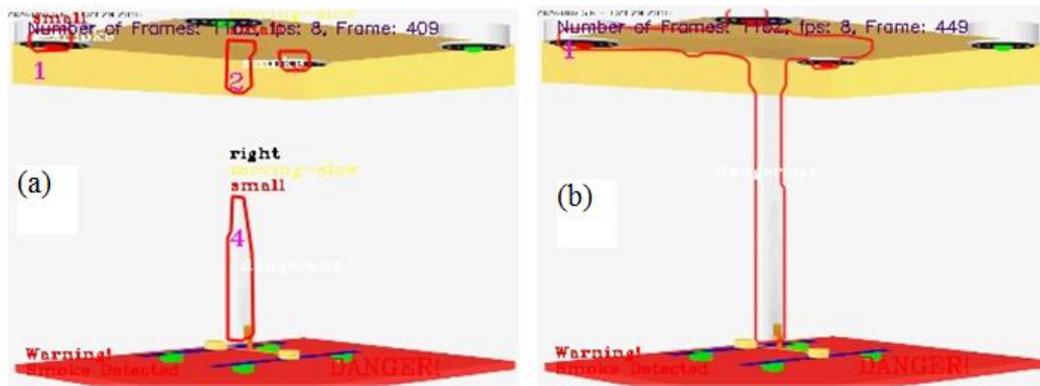
**Gambar 4.19.** Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat *smoke detector* merespon saat pemasanan kertas.



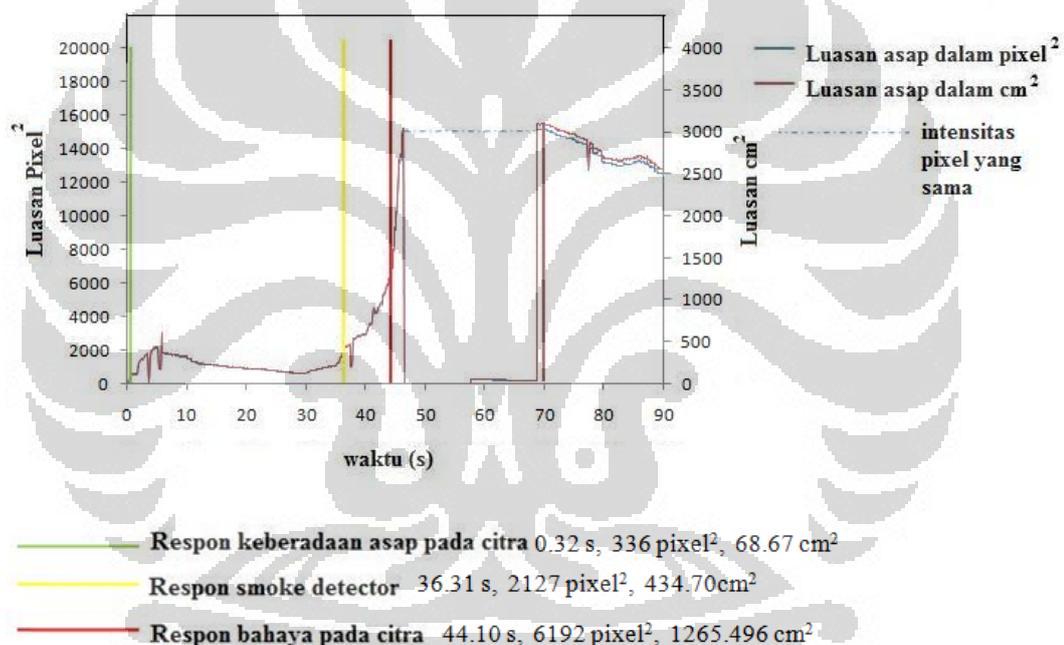


**Gambar 4.20.** Grafik luasan blob *Smokedetection Open CV* yang dihasilkan terhadap asap pemanasan kertas.

Evaluasi citra simulasi yang terakhir adalah citra simulasi sigaret Gambar 4.21, pemanasan kertas dibawah ini, merupakan respon pendeteksiian asap *software Smokedetection Open CV* pada saat *smoke detector merespon* (a) dan pada saat citra menangkap pergerakan asap pada langit – langit kompartemen (b). pada simulasi FDS, asap yang dihasilkan oleh pemanasan sigaret sama halnya dengan besar aliran asap pada foam dan sangat lambat terakumulasi pada langit – langit kompartemen. Pada evaluasi citra sigaret, kalibrasi satu piksel pada citra simulasi senilai 2.212 cm dari ukuran sesungguhnya. pada grafik luas *blob* (Gambar 4.22), saat *smoke detector merespon*, luas *blob* yang tertangkap pada *blob* sebesar 2127 piksel<sup>2</sup> atau 434.7 cm<sup>2</sup> dalam satuan panjang centimeter. Sedangkan jika asap diukur menggunakan *software ImageJ* luas asap yang dihasilkan idealnya hanya 1817 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 371.35 cm<sup>2</sup>. Sedangkan luas *blob* asap yang dihasilkan *Smokedetection* ketika asap melebar pada langit – langit kompartemen sebesar 6192 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 1265.496 cm<sup>2</sup>. Untuk luas asap sesungguhnya berdasarkan pengukuran manual dari *software ImageJ* adalah 4180 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan dengan 371,35 cm<sup>2</sup>. Dari luasan blob asap yang dihasilkan, luas terbesar yang dapat terukur oleh blob *software Smokedetection Open CV* dari citra simulasi adalah 15190 piksel<sup>2</sup> atau sebanding dengan 3104.47 cm<sup>2</sup> di waktu 69.79 detik.



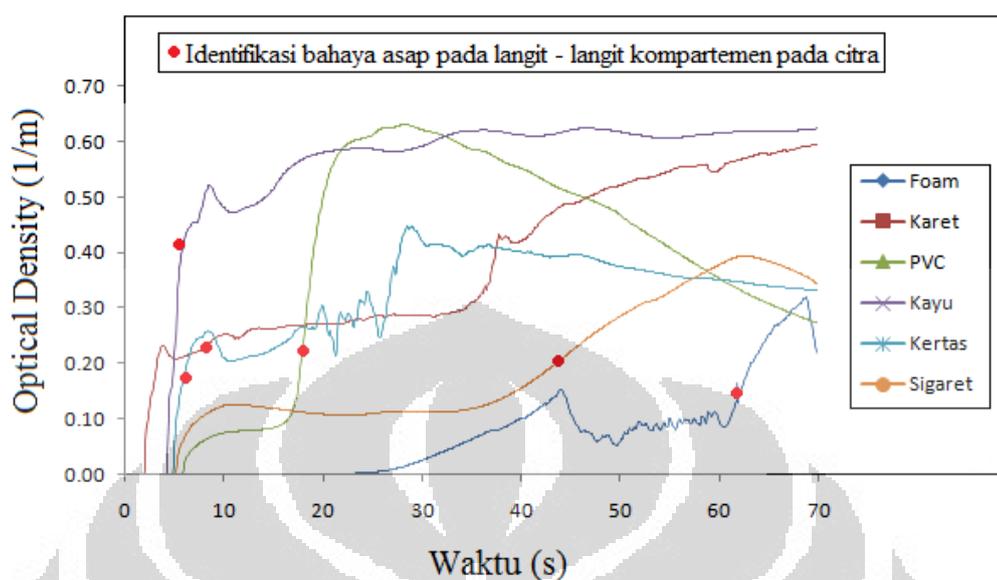
**Gambar 4.21.** Perbandingan respon citra (a) respon citra saat asap melebar di langit – langit kompartemen (b) respon citra terhadap asap saat *smoke detector* merespon saat pemsanan sigaret.



**Gambar 4.22.** Grafik luasan *blob smokedetection open cv* yang dihasilkan terhadap asap pemanasan kertas.

Berdasarkan keseluruhan grafik luasan tersebut, kriteria luasan citra asap yang mulai didefinisikan berbahaya pada saat asap mulai menyebar pada wilayah maksimum atau pada langit – langit kompartemen berada pada luasan 2702 – 12749 piksel<sup>2</sup> atau 356 – 2727.5 cm<sup>2</sup>. Selain itu, didapatkan hubungan di saat luasan yang keberapa dan di *optical density* yang mana suatu deteksi asap harus sudah mendefinisikan bahaya kebakaran. Pada grafik yang di gambarkan oleh

Gambar 4.23 menjelaskan pergerakan asap mulai menyebar pada langit – langit kompartemen tepatnya pada titik dimana tepat diatas sumber asap.



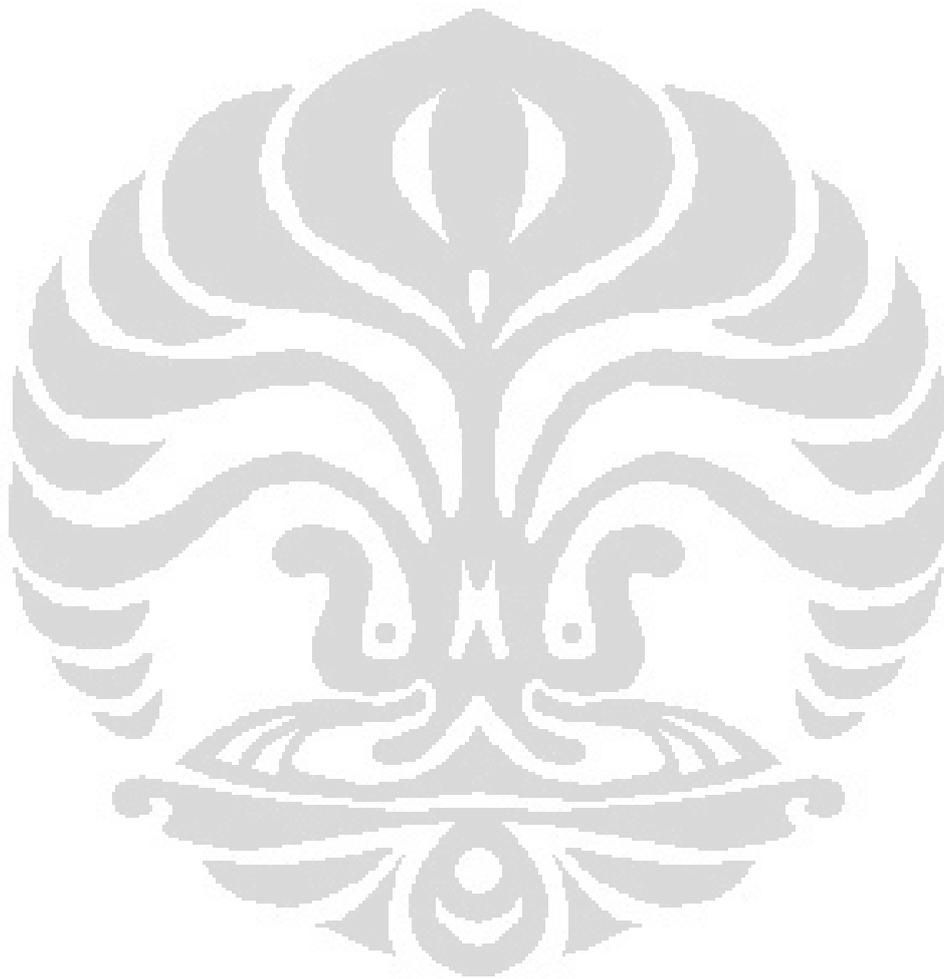
**Gambar 4.23.** Grafik *optical density* pada langit – langit diatas sumber asap ketika asap mulai menyebar dari sumber asap.

Dari grafik tersebut, *optical density* foam sebesar  $0.09 \text{ m}^{-1}$  ketika citra mulai menangkap penyebaran asapnya di langit – langit kompartemen. Pada karet *optical density*-nya sebesar  $0.24 \text{ m}^{-1}$ . kemudian pada PVC, *optical density* pada langit – langit kompartemen ketika asap mulai menyebar sebesar  $0.29 \text{ m}^{-1}$ . Untuk kayu, citra menangkap penyebaran asap pada langit – langit kompartemen pada *optical density* sebesar  $0.43 \text{ m}^{-1}$ . Sedangkan kertas citra mendeteksi penyebaran asap pada langit – langit kompartemen dengan nilai *optical density* sebesar  $0.18 \text{ m}^{-1}$ . Dan terakhir untuk sigaret, citra mendapatkan mulai merasakan penyebaran asap dari langit – langit kompartemen dengan nilai *optical density* sebesar  $0.21 \text{ m}^{-1}$ .

Berdasarkan analisis tersebut kriteria bahaya nilai *optical density* dari analisis tersebut pada langit – langit kompartemen sebesar  $0.09$  sampai  $0.44 \text{ m}^{-1}$ . Ini dapat diartikan bahwa sistem deteksi citra harus sudah mendeteksi asap pada penyebaran daerah maksimum atau wilayah langit – langit suatu kompartemen dengan nilai minimum *optical density* asap sebesar  $0.09$  dan selambat – lambatnya pada nilai *optical density*  $0.44 \text{ m}^{-1}$ . Selan itu, dapat diartikan deteksi citra

mendeteksi pergerakan asap dengan efisiensi pendeteksian nilai *optical density*  $0.09 \text{ m}^{-1}$ .

Pada penggunaan *Smokedetection Open CV*, untuk digunakan pada ruangan yang memiliki ketinggian diatas tiga meter atau lebih, maka parameter kriteria bahaya kebakaran pada wilayah atrium yaitu pada batas ketinggian tiga meter. Jika ketinggian asap melampaui ketinggian tersebut maka sudah dapat dikategorikan asap yang berbahaya.



## BAB 5

### PENUTUP

Pada bagian ini terdiri dari kesimpulan dari hasil analisis dan hasil simulasi dari eksperimen dan saran untuk penelitian kedepannya.

#### 5.1. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil analisis penelitian ini terdiri dari:

1. Verifikasi hasil simulasi terhadap eksperimen berupa grafik *optical density* terhadap waktu pada ketinggian 3 cm, 15 cm, dan 30 cm merupakan data olahan terpenting dalam penelitian ini karena melalui data ini model pergerakan asap pada *smokeview* FDS V.5 bisa digunakan untuk pemodelan sistem deteksi berbasis citra pada *smokedetection open cv*.
2. Berdasarkan luasan asap blob citra simulasi yang diolah dari hasil analisa didapatkan bahwa luasan karet < kayu < sigaret < foam < PVC < kertas. Dapat juga disimpulkan bahwa polimer tetap memiliki luasan asap lebih besar setingkat diatas material selulosa.
3. Deteksi menggunakan citra atau *smokedetection open cv* jauh lebih cepat mendeteksi pergerakan asap pada daerah maksimum atau pada langit – langit kompartemen dibandingkan *smoke detector*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai akumulasi *smoke detector* untuk mendeteksi asap dibutuhkan tingkat akumulasi sebesar  $0.55 \text{ m}^{-1}$  pada pengujian karet, PVC, kayu, dan kertas.
4. Dari hasil simulasi foam dan sigaret dapat dibuktikan bahwa asap dengan partikel yang halus memiliki intensitas yang kecil membuat pendeteksian pada citra dapat tidak terlihat dan menimbulkan keterlambatan. Berdasarkan simulasi eksperimen foam dan sigaret telah membuktikan bahwa *smoke detector* tetap menjadi alat sistem deteksi dini kebakaran walau masih mempunyai fals alm yang tinggi dan sudah termasuk sistem deteksi dini kebakaran yang konvensional. Namun keberadaanya masih sangat dibutuhkan untuk ruangan – ruangan untuk ketinggian normal seperti pada ukuran kompartemen tiga meter tentunya dengan pemasangan

yang baik. Sedangkan sistem deteksi asap berbasis citra lebih baik digunakan untuk kompartemen yang besar.

## 5.2. SARAN

Melakukan sebuah penelitian bukanlah hal yang mudah tetapi dibutuhkan kesatuan terhadap bidang yang lain. Saran untuk peneliti sesudahnya adalah:

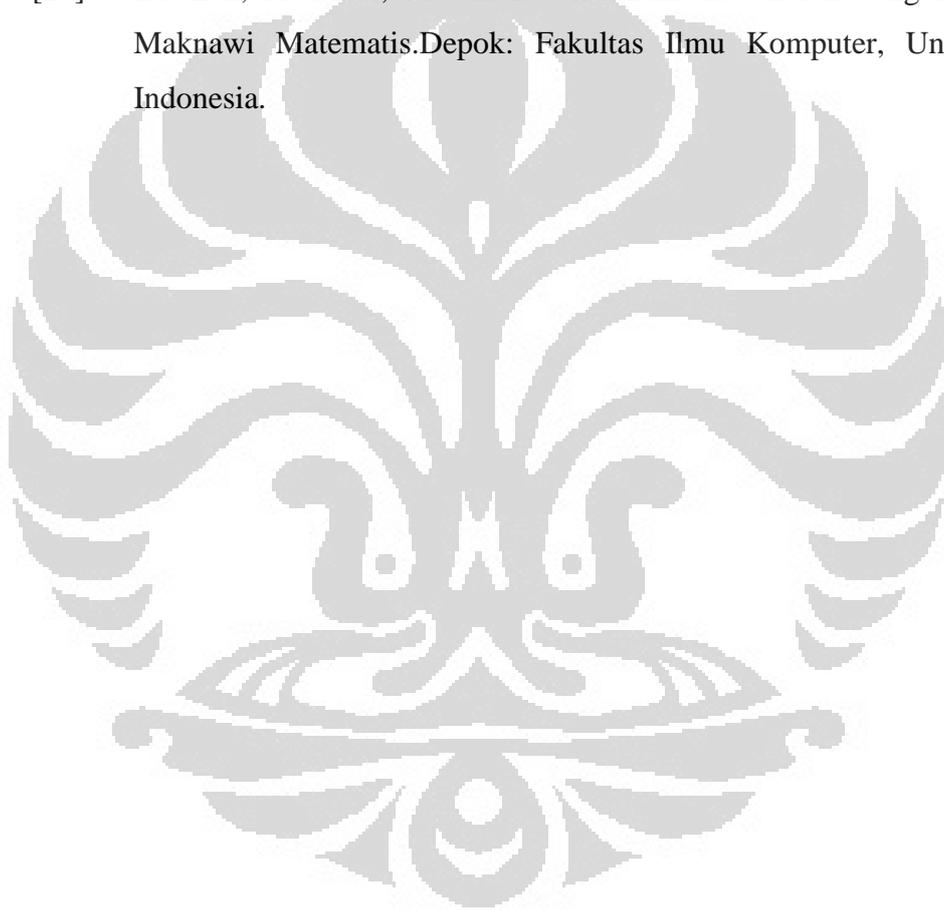
1. Kriteria bahaya dari analisis hendaknya diuji coba pada sistem *fuzzy* dari *software Smokedetection Open CV*.
2. Pengembangan yang dilakukan melalui bidang *fire safety engineering* sudah cukup memberikan informasi yang baik bagi peneliti sesudahnya. Tetapi, dibutuhkan pengembangan lebih lanjut bagi *software Smokedetection Open CV* agar mempunyai algoritma pengembangan pada *mean grey value*.
3. Peneliti sesudahnya harus bekerja secara bersamaan sehingga mendapatkan hasil yang maksimal dari penelitian yang dilakukan. Dan tentunya harus mendapatkan dukungan dari banyak pihak agar mengembangkan penelitian ini sampai tahap yang maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Cipta Karya. (2008). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No: 26/PRT/M/2008 Tanggal 30 Desember 2008 Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [2] Budiman, A. (2010). *Pengaruh Jenis Pembakaran dan Bentuk Geometri Ruang Terhadap Aktivasi Detektor Asap*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [3] Jakti, E.W. (2010). *Pengaruh Dinamika Asap Hasil Pemanasan Kabel pada Pendeteksian Berbasis Pencitraan Gambar*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [4] Mulholland, GW., *Smoke Production and Properties*, Section two. Chapter 1:, The SFPE Handbook, 3rd.Edition, 2002.
- [5] Steven Verstockt, Alexander Vanoosthuyse, Bart Merci, Nele Tilley, Bart Sette, Charles F. Hollemeersch, Peter Lambert, Rik Van de Walle, *Performance Evaluation Framework for Vision-Based Fire Detection*, Proceeding of the Interflam 2010, pp. 256-268.
- [6] Steven Verstockt, Nele Tilley, Bart Merci, Charles Hollemeersch, Bart Sette, Sofie Van Hoecke, Peter Lambert, and Rik Van De Walle.(2011). *Future Directions for Video Fire Detection*,pp
- [7] Nugroho, YS, Suwarno, Widyanto M R, Yanuar, Jakti, EW, and Alif, GM,.2010. Early Detection of Cables Fires Using Image Processing. Proceeding of the Interflam 2010, pp. 247-256.
- [8] Suwarno. (2010). *Sistem Deteksi Asap Berbasis Video Untuk Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Adaptive Gaussian Mixture Model dan Sistem Inferensi Fuzzy*. Depok: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.
- [9] Ardiansyah, L. (2010). *Modifikasi dan Pengembangan Sistem Deteksi Asap Berbasis Video*. Depok: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.

- [10] YS Nugroho, et. al., In situ measurement of early smoke plume density. Proceeding oh the 1st CoSaCM Conference, 2011.
- [11] Fakhrurozi. (2011). Pengukuran Langsung Smoke Plume Density Polimer dan Korelasinya Terhadap Metode Pengolahan Citra Sebagai Upaya Pengembangan Deteksi Asap Berbasis Video. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [12] Tri Wibowo, Cahyo. (2011). Pengukuran Densitas Kepulan Asap dari Pemanasan Material Selulosa Sebagai Dasar Pengembangan Sistem Deteksi Asap Berbasis Citra. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [13] Adrianus. (2008). Pengaruh Jenis Sambungan Kabel Listrik Terhadap Potensi Bahaya Kebakaran. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [14] Quintiere, G.J. (2006). *Fundamentals of Fire Phenomena*. England: John Willey & Sons.
- [15] Drysdale, D. *An Introduction to Fire Dynamics 2<sup>nd</sup> Edition*. England : John Wiley & Sons, 1998
- [16] McGrattan, Kevin. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. USA: National Institute of Technology
- [17] McGrattan, Kevin. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide*. Volume 1: Mathematical Model. USA: National Institute of Technology
- [18] Robert, PS. JM, Brian. LP Custer, Richard., *Design of Detection System*, section four. Chapter 1:, The SFPE Handbook, 3rd.Edition, 2002.
- [19] AM, James., Smoke Management in Covered Malls and Atria, section four. Chapter 13:, The SFPE Handbook, 3rd.Edition, 2002.
- [20] *Appendix B, Thermophysical Property Data. Appendix C, Fuel Properties and Combustion Data*, The SFPE Handbook, 3rd.Edition, 2002.

- [21] Gunawan S, Hendra., *Pemodelan Pengaruh Sistem Tirai Kabut Air Terhadap Densitas Asap dan Distribusi Temperature pada Kebakaran Kompartemen.*Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia 2011.
- [22] Kiswanto, G. AS, Baskoro., *Diktat Matakuliah Sistem Machine Vision.* Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia 2011.
- [23] SNI 03-3985-2000, *Tata Cara Perencanaan dan Pengujian Sistem Deteksi dan Alarm Kebakaran Untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran Pada Bangunan Gedung,* 2000.
- [24] IM Zen, Revaldo., *Sistem Deteksi Dini Kebakaran dengan Model Maknawi Matematis.*Depok: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.



## LAMPIRAN A

### 1.1. INPUT CODE PADA NOTEPAD UNTUK KOMPUTASI SIMULASI FOAM - POLYURETHANE PADA FDS V.5

```

&HEAD CHID='Simulasi_foam', TITLE='Simulasi asap'/
&TIME T_END=100.00/
&DT_RESTART=300.00/
&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=30.00, CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Room Fire', IJK=60,60,80, XB=0.3000,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.60/

&PART ID='Tracer',
  MASSLESS=.TRUE.,
  COLOR='BLACK',
  AGE=60.00/
&REAC ID='POLYURETHANE',
  FYI='NFPA Babrauskas',
  C=6.30,
  H=7.10,
  O=2.10,
  N=1.00,
  X_O2_LL=0.00,
  EPUMO2=1.3160000E004,
  CO_YIELD=0.0360,
  SOOT_YIELD=0.1180/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
  ALPHA_E=1.80,
  BETA_E=-1.00,
  ALPHA_C=1.00,
  BETA_C=-0.80/
&DEVC ID='OD1', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.3500,0.85,1.60/
&DEVC ID='OD2', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=0.85,0.85,1.60/

```

```

&DEVC ID='OD3', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='OD4', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD01', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.85,1.60/
&DEVC ID='SD02', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=0.85,0.85,1.60/
&DEVC ID='SD03', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD04', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.57,0.58,0.91/
&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.59,0.58,0.90, ORIENTATION=-1.00,0.00,0.00/

&MATL ID='FOAM',
  FYI='Caution: Reaction Rate Not Validated, remaining data from Jukka
Hietaniemi, et al., "FDS simulation of fire spread..."',
  SPECIFIC_HEAT=1.70,
  CONDUCTIVITY=0.0500,
  DENSITY=28.00,
  HEAT_OF_COMBUSTION=2.5400000E004,
  N_REACTIONS=1,
  HEAT_OF_REACTION=347.00,
  NU_FUEL=0.1000,
  N_S=1.00,
  REFERENCE_TEMPERATURE=100.00/

&SURF ID='HEATER',
  RGB=255,102,0,
  TMP_FRONT=880.00,
  RAMP_T='HEATER_RAMP_T',
  PART_ID='Tracer'/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=0.00, F=0.00/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=23.00, F=0.50/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=70.00, F=1.60/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=90.00, F=0.50/
&SURF ID='SURF Foam',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)='FOAM',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,

```

THICKNESS(1)=0.0100/

&OBST XB=0.3000,0.3500,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
meja  
&OBST XB=1.05,1.10,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
meja[1]  
&OBST XB=0.3000,0.3500,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
meja[1]  
&OBST XB=1.05,1.10,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki meja[1][1]  
&OBST XB=0.3000,1.10,0.3000,1.10,0.80,0.82, RGB=255,51,51,  
SURF\_ID='INERT'/ atas meja  
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
SURF\_ID='INERT'/ Pelat  
&OBST XB=0.66,0.69,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
SURF\_ID='INERT'/ pelat2  
&OBST XB=0.66,0.69,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ penyangga kabel  
NYA  
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ Penyangga  
kabel NYA2  
&OBST XB=0.4400,0.70,0.58,0.59,0.85,0.85, SURF\_ID='INERT'/ kabel NYA  
&OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.85,0.90, SURF\_ID='HEATER'/ Kabel NYA  
lilitan  
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
SURF\_ID='INERT'/ kaki plat  
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=51,204,0,  
SURF\_ID='INERT'/ kaki plat[1]  
&OBST XB=0.66,0.69,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
SURF\_ID='INERT'/ kaki plat 2  
&OBST XB=0.66,0.69,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=0,204,0, SURF\_ID='INERT'/  
kaki plat 2[1]  
&OBST XB=0.57,0.58,0.57,0.58,0.88,0.90, SURF\_ID='SURF Foam'/ Material  
Uji  
&OBST XB=0.57,0.58,0.58,0.60,0.88,0.90, SURF\_ID='SURF Foam'/ Material  
Uji  
&OBST XB=0.56,0.57,0.59,0.60,0.88,0.90, SURF\_ID='SURF Foam'/ Material  
Uji  
&OBST XB=0.56,0.57,0.57,0.59,0.88,0.90, SURF\_ID='SURF Foam'/ Material  
Uji  
  
&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.3000,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for Room Fire

```
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.90,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for Room Fire
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.3000,0.3000,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for Room Fire
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.90,0.90,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for Room Fire
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.57/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.57/
&SLCF QUANTITY='DENSITY', PBY=0.58/
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBY=0.58/
```

```
&DEVC ID='Optical Density (30 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.56,0.58,0.3000,1.10,1.22,1.24/
&DEVC ID='OD Uper 3_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
STATISTICS='MEAN', XB=0.86,0.88,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='OD Uper 2_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
STATISTICS='MEAN', XB=0.56,0.58,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (3 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.56,0.58,0.3000,1.10,0.92,0.94/
&DEVC ID='OD Uper 1_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
STATISTICS='MEAN', XB=0.3100,0.3350,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (15 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.56,0.58,0.3000,1.10,1.07,1.10/
```

```
&TAIL /
```

## 1.2. **INPUT CODE PADA NOTEPAD UNTUK KOMPUTASI SIMULASI KARET - RUBBER PADA FDS V.5**

```
&HEAD CHID='Simulasi_karet', TITLE='Simulasi asap'/
&TIME T_END=100.00/
&DT_RESTART=300.00/
&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=30.00, CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Room Fire', IJK=60,60,80, XB=0.3000,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.60/
```

&PART ID='Tracer',

MASSLESS=.TRUE.,

COLOR='BLACK',

AGE=60.00/

&REAC ID='POLYURETHANE',

FYI='NFPA Babrauskas',

C=9.00,

H=18.00,

O=0.00,

N=0.00,

EPUMO2=2.6220000E004,

CO\_YIELD=0.0300,

SOOT\_YIELD=0.3000/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',

QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',

ALPHA\_E=1.80,

BETA\_E=-1.00,

ALPHA\_C=1.00,

BETA\_C=-0.80/

&DEVC ID='OD1', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',

XYZ=0.3500,0.85,1.60/

&DEVC ID='OD2', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=0.85,0.85,1.60/

&DEVC ID='OD3', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',

XYZ=0.3500,0.3500,1.60/

&DEVC ID='OD4', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',

XYZ=0.85,0.3500,1.60/

&DEVC ID='SD01', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1',

XYZ=0.3500,0.85,1.60/

&DEVC ID='SD02', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=0.85,0.85,1.60/

```

&DEVC ID='SD03', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD04', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.57,0.58,0.91/
&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.59,0.58,0.90, ORIENTATION=-1.00,0.00,0.00/

```

```

&MATL ID='Rubber',

```

```

FYI='Described By: Guruh Dharsono, Mech Eng UI 2008, taken from "In Situ
Measurement of Early Smoke Plume DensityIn Situ Measurement of Early Smoke
Plume Density" journal',

```

```

SPECIFIC_HEAT=2.20,
CONDUCTIVITY=0.1000,
DENSITY=910.00,
HEAT_OF_COMBUSTION=9.3660000E004,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=668.00,
NU_FUEL=0.1000,
N_S=1.00,
REFERENCE_TEMPERATURE=100.00,
PYROLYSIS_RANGE=120.00/

```

```

&SURF ID='HEATER',

```

```

RGB=255,102,0,
TMP_FRONT=880.00,
RAMP_T='HEATER_RAMP_T',
PART_ID='Tracer'/

```

```

&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=0.00, F=0.00/

```

```

&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=23.00, F=0.50/

```

```

&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=32.00, F=1.00/

```

```

&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=36.00, F=1.50/

```

```

&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=45.00, F=1.50/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=80.00, F=1.50/
&SURF ID='SURF RUBBER',
    COLOR='BLACK',
    BURN_AWAY=.TRUE.,
    MATL_ID(1,1)='Rubber',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.0150/

&OBST XB=0.3000,0.3500,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki
meja
&OBST XB=1.05,1.10,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki
meja[1]
&OBST XB=0.3000,0.3500,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki
meja[1]
&OBST XB=1.05,1.10,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki meja[1][1]
&OBST XB=0.3000,1.10,0.3000,1.10,0.80,0.82, RGB=255,51,51,
SURF_ID='INERT'/ atas meja
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,
SURF_ID='INERT'/ Pelat
&OBST XB=0.66,0.69,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,
SURF_ID='INERT'/ pelat2
&OBST XB=0.66,0.69,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF_ID='INERT'/ penyangga kabel
NYA
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF_ID='INERT'/ Penyangga
kabel NYA2
&OBST XB=0.4400,0.70,0.58,0.59,0.85,0.85, SURF_ID='INERT'/ kabel NYA
&OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.85,0.90, SURF_ID='HEATER'/ Kabel NYA
lilitan
&OBST XB=0.4400,0.4800,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,
SURF_ID='INERT'/ kaki plat

```

&OBST XB=0.4400,0.4800,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=51,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat[1]  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat 2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=0,204,0, SURF\_ID='INERT'/  
 kaki plat 2[1]  
 &OBST XB=0.57,0.58,0.57,0.58,0.86,0.90, SURF\_ID='SURF RUBBER'/  
 Material  
 &OBST XB=0.57,0.58,0.58,0.60,0.86,0.90, SURF\_ID='SURF RUBBER'/  
 Material  
 &OBST XB=0.56,0.57,0.59,0.60,0.86,0.90, SURF\_ID='SURF RUBBER'/  
 Material  
 &OBST XB=0.56,0.57,0.57,0.59,0.86,0.90, SURF\_ID='SURF RUBBER'/  
 Material  
  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.3000,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for Room Fire  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.90,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for Room Fire  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.3000,0.3000,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for Room Fire  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.90,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for Room Fire  
  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.57/  
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.57/  
 &SLCF QUANTITY='DENSITY', PBY=0.58/  
 &SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBY=0.58/  
  
 &DEVC ID='Optical Density (Upper 3)\_MEAN', QUANTITY='OPTICAL  
 DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.86,0.88,0.3000,0.90,1.58,1.60/

```

&DEVC ID='Optical Density (Upper 2)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.56,0.58,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (30 cm dari sumber)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.37,1.40/
&DEVC ID='Optical Density (3 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,0.92,0.94/
&DEVC ID='Optical Density (15 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.07,1.10/
&DEVC ID='Optical Density (Upper 1)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.3100,0.3350,0.3000,0.90,1.58,1.60/

&TAIL /

```

### 1.3. **INPUT CODE PADA NOTEPAD UNTUK KOMPUTASI SIMULASI PVC PADA FDS V.5**

```

&HEAD CHID='Simulasi_pvc', TITLE='Simulasi asap'/
&TIME T_END=100.00/
& DT_RESTART=300.00/
&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=30.00, CO_PRODUCTION=.TRUE./
&MESH ID='Room Fire', IJK=60,60,80, XB=0.3000,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.60/

&REAC ID='Polyvinilchloride',
  FYI='NFPA Babrauskas',
  C=2.00,
  H=3.00,
  O=0.00,
  N=0.00,
  OTHER=1.00,
  MW_OTHER=35.00,

```

EPUMO2=1.2000000E004,  
 CO\_YIELD=0.0632,  
 SOOT\_YIELD=0.1720/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',  
 QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',  
 ALPHA\_E=1.80,  
 BETA\_E=-1.00,  
 ALPHA\_C=1.00,  
 BETA\_C=-0.80/  
 &DEVC ID='OD1', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
 XYZ=0.3500,0.85,1.60/  
 &DEVC ID='OD2', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=0.85,0.85,1.60/  
 &DEVC ID='OD3', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
 XYZ=0.3500,0.3500,1.60/  
 &DEVC ID='OD4', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
 XYZ=0.85,0.3500,1.60/  
 &DEVC ID='SD01', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1',  
 XYZ=0.3500,0.85,1.60/  
 &DEVC ID='SD02', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=0.85,0.85,1.60/  
 &DEVC ID='SD03', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1',  
 XYZ=0.3500,0.3500,1.60/  
 &DEVC ID='SD04', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1',  
 XYZ=0.85,0.3500,1.60/  
 &DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.57,0.58,0.91/  
 &DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE',  
 XYZ=0.58,0.58,0.89, ORIENTATION=-1.00,0.00,0.00/

&MATL ID='PVC',  
 FYI='NISTIR 1013-1 - NIST NRC Validation',  
 SPECIFIC\_HEAT=0.1700,  
 CONDUCTIVITY=1.38,

DENSITY=1.2550000E003,  
 EMISSIVITY=0.95,  
 HEAT\_OF\_COMBUSTION=1.6900000E004,  
 N\_REACTIONS=1,  
 HEAT\_OF\_REACTION=167.00,  
 NU\_FUEL=0.1000,  
 N\_S=1.00,  
 REFERENCE\_TEMPERATURE=100.00,  
 PYROLYSIS\_RANGE=130.00/

&SURF ID='HEATER',  
 RGB=255,102,0,  
 TMP\_FRONT=880.00,  
 RAMP\_T='HEATER\_RAMP\_T'/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=0.00, F=0.00/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=14.00, F=1.00/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=15.00, F=1.20/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=20.00, F=1.20/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=55.00, F=0.50/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=90.00, F=0.00/

&SURF ID='SURF PVC',  
 RGB=204,204,255,  
 BURN\_AWAY=.TRUE.,  
 BACKING='EXPOSED',  
 MATL\_ID(1,1)='PVC',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
 THICKNESS(1)=5.0000000E-003/

&OBST XB=0.3000,0.3500,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja  
 &OBST XB=1.05,1.10,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja[1]

&OBST XB=0.3000,0.3500,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja[1]  
 &OBST XB=1.05,1.10,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki meja[1][1]  
 &OBST XB=0.3000,1.10,0.3000,1.10,0.80,0.82, RGB=255,51,51,  
 SURF\_ID='INERT'/ atas meja  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ Pelat  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ pelat2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ penyangga kabel  
 NYA  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ Penyangga  
 kabel NYA2  
 &OBST XB=0.4400,0.70,0.58,0.59,0.85,0.85, SURF\_ID='INERT'/ kabel NYA  
 &OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.85,0.90, SURF\_ID='HEATER'/ Kabel NYA  
 lilitan  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=51,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat[1]  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat 2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=0,204,0, SURF\_ID='INERT'/  
 kaki plat 2[1]  
 &OBST XB=0.57,0.58,0.58,0.58,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF PVC'/ Material  
 &OBST XB=0.57,0.58,0.58,0.59,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF PVC'/ Material  
 &OBST XB=0.56,0.57,0.59,0.59,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF PVC'/ Material  
 &OBST XB=0.56,0.57,0.58,0.59,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF PVC'/ Material  
  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.3000,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for Room Fire

```
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.90,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for Room Fire
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.3000,0.3000,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for Room Fire
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.90,0.90,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for Room Fire
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.57/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.57/
&SLCF QUANTITY='DENSITY', PBY=0.58/
&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBY=0.58/
```

```
&DEVC ID='OD1_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
STATISTICS='MEAN', XB=0.3100,0.3350,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='OD2_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
STATISTICS='MEAN', XB=0.56,0.58,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='OD3_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
STATISTICS='MEAN', XB=0.86,0.88,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (30 cm dari sumber)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.56,0.58,0.3000,1.10,1.22,1.24/
&DEVC ID='Optical Density (3 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.56,0.58,0.3000,1.10,0.92,0.94/
&DEVC ID='Optical Density (15 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.56,0.58,0.3000,1.10,1.07,1.10/
```

```
&TAIL /
```

#### 1.4. INPUT CODE PADA NOTEPAD UNTUK KOMPUTASI SIMULASI KAYU PADA FDS V.5

```

&HEAD CHID='Cahyo_Simulasi_kayu(mesh_2,8jt', TITLE='Simulasi asap'/
&TIME T_END=100.00/
&DUMP RENDER_FILE='Cahyo_Simulasi_kayu(mesh_2,8jt.ge1',
DT_RESTART=300.00/
&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=30.00, CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Room Fire', IJK=60,60,80, XB=0.3000,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.60/

&REAC ID='Selulosa',
  FYI='NFPA Babrauskas',
  C=6.00,
  H=10.00,
  O=5.00,
  N=0.00,
  CO_YIELD=4.0000000E-003,
  SOOT_YIELD=0.2000/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
  ALPHA_E=1.80,
  BETA_E=-1.00,
  ALPHA_C=1.00,
  BETA_C=-0.80/

&DEVC ID='OD1', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.3500,0.85,1.60/
&DEVC ID='OD2', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=0.85,0.85,1.60/
&DEVC ID='OD3', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='OD4', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD01', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.85,1.60/
&DEVC ID='SD02', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=0.85,0.85,1.60/
&DEVC ID='SD03', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD04', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.57,0.58,0.91/

```

```
&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.60,0.58,0.89, ORIENTATION=-1.00,0.00,0.00/
```

```
&MATL ID='kayu',
  SPECIFIC_HEAT=2.50,
  CONDUCTIVITY=0.1300,
  DENSITY=650.00,
  HEAT_OF_COMBUSTION=2.0000000E004,
  N_REACTIONS=1,
  HEAT_OF_REACTION=351.00,
  NU_FUEL=0.0500,
  N_S=1.00,
  REFERENCE_TEMPERATURE=100.00,
  PYROLYSIS_RANGE=240.00/
```

```
&SURF ID='HEATER',
  RGB=255,102,0,
  TMP_FRONT=880.00,
  RAMP_T='HEATER_RAMP_T'/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=0.00, F=0.00/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=40.00, F=0.50/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=50.00, F=1.00/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=60.00, F=1.00/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=70.00, F=1.00/
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=100.00, F=0.00/
&SURF ID='SURF kayu',
  RGB=51,255,51,
  TEXTURE_MAP='psm_wood1.jpg',
  TEXTURE_WIDTH=0.61,
  TEXTURE_HEIGHT=0.61,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  BACKING='EXPOSED',
  MATL_ID(1,1)='kayu',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
  THICKNESS(1)=0.0100/
```

```
&OBST XB=0.3000,0.3500,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki
meja
&OBST XB=1.05,1.10,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki
meja[1]
&OBST XB=0.3000,0.3500,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF_ID='INERT'/ kaki
meja[1]
```

&OBST XB=1.05,1.10,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki meja[1][1]  
 &OBST XB=0.3000,1.10,0.3000,1.10,0.80,0.82, RGB=255,51,51,  
 SURF\_ID='INERT'/ atas meja  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ Pelat  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ pelat2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ penyangga kabel  
 NYA  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ Penyangga  
 kabel NYA2  
 &OBST XB=0.4400,0.70,0.58,0.59,0.85,0.85, SURF\_ID='INERT'/ kabel NYA  
 &OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.85,0.90, SURF\_ID='HEATER'/ Kabel NYA  
 lilitan  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=51,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat[1]  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat 2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=0,204,0, SURF\_ID='INERT'/  
 kaki plat 2[1]  
 &OBST XB=0.57,0.60,0.56,0.58,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF kayu'/ Material  
 &OBST XB=0.57,0.60,0.58,0.61,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF kayu'/ Material  
 &OBST XB=0.54,0.57,0.59,0.61,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF kayu'/ Material  
 &OBST XB=0.54,0.57,0.56,0.59,0.86,0.91, SURF\_ID='SURF kayu'/ Material  
  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.3000,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for Room Fire  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.90,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for Room Fire  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.3000,0.3000,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for Room Fire  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.90,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for Room Fire  
  
 &SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.57/  
 &SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.57/  
 &SLCF QUANTITY='DENSITY', PBY=0.58/  
 &SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBY=0.58/

```

&DEVC ID='Optical Density (UP1)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.3100,0.3350,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (30 cm dari sumber)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.37,1.40/
&DEVC ID='Optical Density (3 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,0.92,0.94/
&DEVC ID='Optical Density (15 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.07,1.10/
&DEVC ID='Optical Density (UP2)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.56,0.58,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (UP3)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.86,0.88,0.3000,0.90,1.58,1.60/

```

```
&TAIL /
```

### 1.5. **INPUT CODE PADA NOTEPAD UNTUK KOMPUTASI SIMULASI KERTAS PADA FDS V.5**

```

&HEAD CHID='Simulasi_kertas', TITLE='Simulasi asap'/
&TIME T_END=100.00/
&DT_RESTART=300.00/
&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=30.00, CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Room Fire', IJK=60,60,80, XB=0.3000,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.60/

&REAC ID='Selulosa',
  FYI='NFPA Babrauskas',
  C=6.00,
  H=10.00,
  O=5.00,
  N=0.00,
  CO_YIELD=4.0000000E-003,
  SOOT_YIELD=0.1500/

```

```

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
  ALPHA_E=1.80,
  BETA_E=-1.00,
  ALPHA_C=1.00,
  BETA_C=-0.80/
&DEVC ID='OD1', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.3500,0.85,1.60/
&DEVC ID='OD2', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=0.85,0.85,1.60/
&DEVC ID='OD3', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='OD4', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD01', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.85,1.60/
&DEVC ID='SD02', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=0.85,0.85,1.60/
&DEVC ID='SD03', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/
&DEVC ID='SD04', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.57,0.58,0.91/
&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.60,0.58,0.89, ORIENTATION=-1.00,0.00,0.00/

```

```

&MATL ID='kertas',

```

```

  FYI='Described By: Guruh Dharsono, Mech Eng UI 2008, taken from "In Situ
Measurement of Early Smoke Plume DensityIn Situ Measurement of Early Smoke
Plume Density" journal',

```

```

  SPECIFIC_HEAT=1.34,
  CONDUCTIVITY=0.0500,
  DENSITY=240.00,
  HEAT_OF_COMBUSTION=2.1500000E004,

```

N\_REACTIONS=1,  
 HEAT\_OF\_REACTION=351.00,  
 NU\_FUEL=0.0500,  
 N\_S=1.00,  
 REFERENCE\_TEMPERATURE=100.00,  
 PYROLYSIS\_RANGE=240.00/

&SURF ID='HEATER',  
 RGB=255,102,0,  
 TMP\_FRONT=880.00,  
 RAMP\_T='HEATER\_RAMP\_T'/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=0.00, F=0.00/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=14.00, F=1.00/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=15.00, F=1.50/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=20.00, F=2.00/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=55.00, F=0.50/  
 &RAMP ID='HEATER\_RAMP\_T', T=90.00, F=0.00/

&SURF ID='kertas',  
 RGB=153,0,153,  
 TEXTURE\_MAP='psm\_blue.jpg',  
 TEXTURE\_WIDTH=0.61,  
 TEXTURE\_HEIGHT=0.61,  
 BURN\_AWAY=.TRUE.,  
 MATL\_ID(1,1)='kertas',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
 THICKNESS(1)=0.0100/

&OBST XB=0.3000,0.3500,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja  
 &OBST XB=1.05,1.10,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja[1]

&OBST XB=0.3000,0.3500,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja[1]  
 &OBST XB=1.05,1.10,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki meja[1][1]  
 &OBST XB=0.3000,1.10,0.3000,1.10,0.80,0.82, RGB=255,51,51,  
 SURF\_ID='INERT'/ atas meja  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ Pelat  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ pelat2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ penyangga kabel  
 NYA  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ Penyangga  
 kabel NYA2  
 &OBST XB=0.4400,0.70,0.58,0.59,0.85,0.85, SURF\_ID='INERT'/ kabel NYA  
 &OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.85,0.90, SURF\_ID='HEATER'/ Kabel NYA  
 lilitan  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=51,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat[1]  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat 2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=0,204,0, SURF\_ID='INERT'/  
 kaki plat 2[1]  
 &OBST XB=0.57,0.60,0.56,0.58,0.86,0.90, SURF\_ID='kertas'/ Material  
 &OBST XB=0.57,0.60,0.58,0.61,0.86,0.90, SURF\_ID='kertas'/ Material  
 &OBST XB=0.54,0.57,0.59,0.61,0.86,0.90, SURF\_ID='kertas'/ Material  
 &OBST XB=0.54,0.57,0.56,0.59,0.86,0.90, SURF\_ID='kertas'/ Material  
  
 &VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.3000,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
 COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for Room Fire

```
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.90,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for Room Fire
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.3000,0.3000,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for Room Fire
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.90,0.90,0.80,1.50,
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for Room Fire
```

```
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.57/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.57/
&SLCF QUANTITY='DENSITY', VECTOR=.TRUE., PBY=0.58/
```

```
&DEVC ID='Optical Density (UP1)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.3100,0.3350,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (30 cm dari sumber)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.37,1.40/
&DEVC ID='Optical Density (3 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,0.92,0.94/
&DEVC ID='Optical Density (15 cm dari sumber asap)_MEAN',
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.07,1.10/
&DEVC ID='Optical Density (UP2)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.56,0.58,0.3000,0.90,1.58,1.60/
&DEVC ID='Optical Density (UP3)_MEAN', QUANTITY='OPTICAL
DENSITY', STATISTICS='MEAN', XB=0.86,0.88,0.3000,0.90,1.58,1.60/
```

```
&TAIL /
```

#### **1.6. INPUT CODE PADA NOTEPAD UNTUK KOMPUTASI SIMULASI SIGARET PADA FDS V.5**

```
&HEAD CHID='Simulasi_cigaret', TITLE='Simulasi asap'/
&TIME T_END=100.00/
```

&DT\_RESTART=300.00/

&MISC HUMIDITY=60.00, TMPA=30.00, CO\_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='Room Fire', IJK=60,60,80, XB=0.3000,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.60/

&REAC ID='Selulosa',

  FYI='NFPA Babrauskas',

  C=6.00,

  H=10.00,

  O=5.00,

  N=0.00,

  CO\_YIELD=4.0000000E-003,

  SOOT\_YIELD=0.2000/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',

  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',

  ALPHA\_E=1.80,

  BETA\_E=-1.00,

  ALPHA\_C=1.00,

  BETA\_C=-0.80/

&DEVC ID='OD1', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
XYZ=0.3500,0.85,1.60/

&DEVC ID='OD2', QUANTITY='OPTICAL DENSITY', XYZ=0.85,0.85,1.60/

&DEVC ID='OD3', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/

&DEVC ID='OD4', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
XYZ=0.85,0.3500,1.60/

&DEVC ID='SD01', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1',  
XYZ=0.3500,0.85,1.60/

&DEVC ID='SD02', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=0.85,0.85,1.60/

&DEVC ID='SD03', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1',  
XYZ=0.3500,0.3500,1.60/

```
&DEVC ID='SD04', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1',
XYZ=0.85,0.3500,1.60/
```

```
&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.57,0.58,0.91/
```

```
&DEVC ID='THCP02', QUANTITY='THERMOCOUPLE',
XYZ=0.57,0.58,0.90, ORIENTATION=-1.00,0.00,-0.00/
```

```
&MATL ID='cigarette',
```

```
FYI='BY: Guruh Mesin FTUI 2008',
SPECIFIC_HEAT=1.10,
CONDUCTIVITY=0.0500,
DENSITY=320.00,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.5800000E004,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=351.00,
NU_FUEL=0.1000,
N_S=1.00,
REFERENCE_TEMPERATURE=100.00,
PYROLYSIS_RANGE=240.00/
```

```
&SURF ID='HEATER',
```

```
RGB=255,102,0,
TMP_FRONT=880.00,
RAMP_T='HEATER_RAMP_T'/
```

```
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=0.00, F=0.00/
```

```
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=22.00, F=0.50/
```

```
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=35.00, F=1.00/
```

```
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=45.00, F=1.50/
```

```
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=60.00, F=2.00/
```

```
&RAMP ID='HEATER_RAMP_T', T=90.00, F=0.00/
```

```
&SURF ID='SURF cigaret',
```

```
COLOR='BLUE',
TEXTURE_MAP='psm_wood2.jpg',
```

TEXTURE\_WIDTH=0.61,  
 TEXTURE\_HEIGHT=0.61,  
 BURN\_AWAY=.TRUE.,  
 MATL\_ID(1,1)='cigarete',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.00,  
 THICKNESS(1)=0.0100/

&OBST XB=0.3000,0.3500,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja  
 &OBST XB=1.05,1.10,0.3000,0.3500,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja[1]  
 &OBST XB=0.3000,0.3500,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki  
 meja[1]  
 &OBST XB=1.05,1.10,1.05,1.10,0.00,0.80, SURF\_ID='INERT'/ kaki meja[1][1]  
 &OBST XB=0.3000,1.10,0.3000,1.10,0.80,0.82, RGB=255,51,51,  
 SURF\_ID='INERT'/ atas meja  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ Pelat  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.4400,0.74,0.84,0.84, RGB=0,0,204,  
 SURF\_ID='INERT'/ pelat2  
 &OBST XB=0.66,0.69,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ penyangga kabel  
 NYA  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.58,0.60,0.84,0.86, SURF\_ID='INERT'/ Penyangga  
 kabel NYA2  
 &OBST XB=0.4400,0.70,0.58,0.59,0.85,0.85, SURF\_ID='INERT'/ kabel NYA  
 &OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.85,0.90, SURF\_ID='HEATER'/ Kabel NYA  
 lilitan  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat  
 &OBST XB=0.4400,0.4800,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=51,204,0,  
 SURF\_ID='INERT'/ kaki plat[1]

&OBST XB=0.66,0.69,0.4900,0.51,0.82,0.84, RGB=0,204,0,  
SURF\_ID='INERT'/ kaki plat 2

&OBST XB=0.66,0.69,0.69,0.71,0.82,0.84, RGB=0,204,0, SURF\_ID='INERT'/  
kaki plat 2[1]

&OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.58,0.88,0.91, SURF\_ID='SURF cigaret'/ Material  
Uji

&OBST XB=0.57,0.57,0.58,0.59,0.88,0.91, SURF\_ID='SURF cigaret'/ Material  
Uji

&OBST XB=0.56,0.57,0.59,0.59,0.88,0.91, SURF\_ID='SURF cigaret'/ Material  
Uji

&OBST XB=0.56,0.57,0.58,0.59,0.88,0.91, SURF\_ID='SURF cigaret'/ Material  
Uji

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.3000,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min X for Room Fire

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.90,0.90,0.3000,0.90,0.80,1.50,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max X for Room Fire

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.3000,0.3000,0.80,1.50,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Min Y for Room Fire

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=0.3000,0.90,0.90,0.90,0.80,1.50,  
COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max Y for Room Fire

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.57/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=0.57/

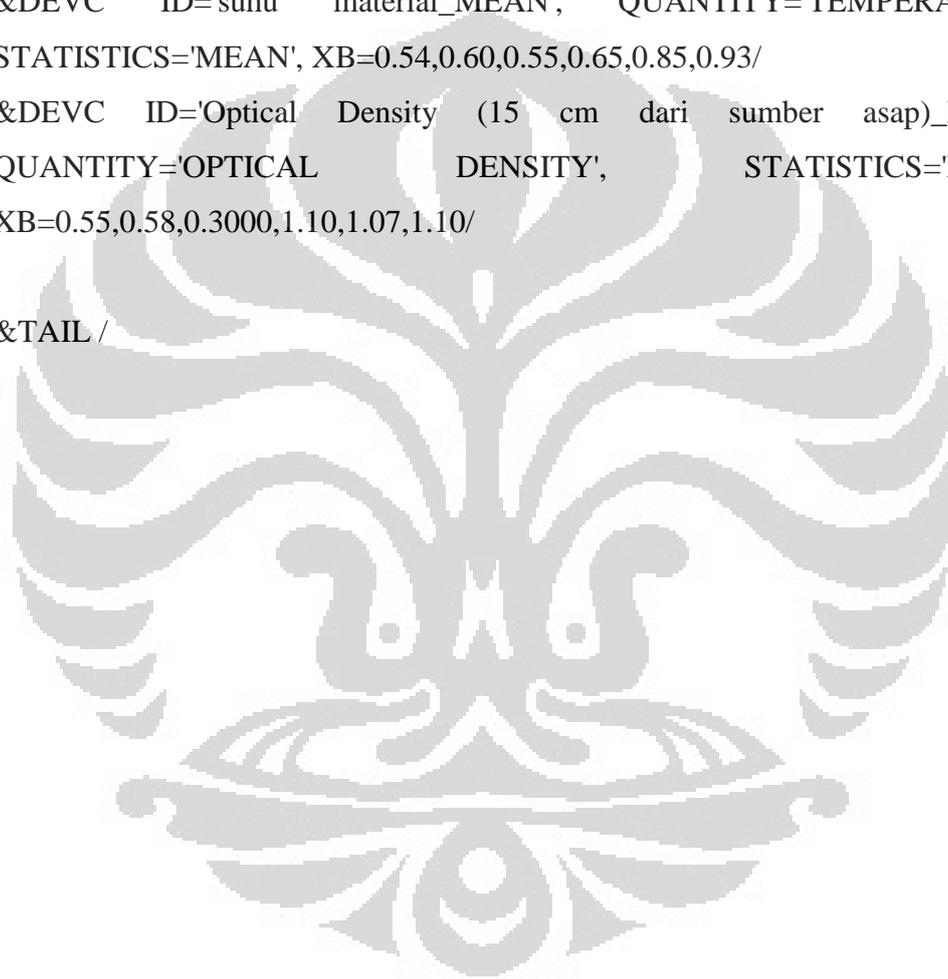
&SLCF QUANTITY='DENSITY', PBY=0.58/

&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBY=0.58/

&DEVC ID='Optical Density (30 cm dari sumber asap)\_MEAN',  
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',  
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.22,1.24/

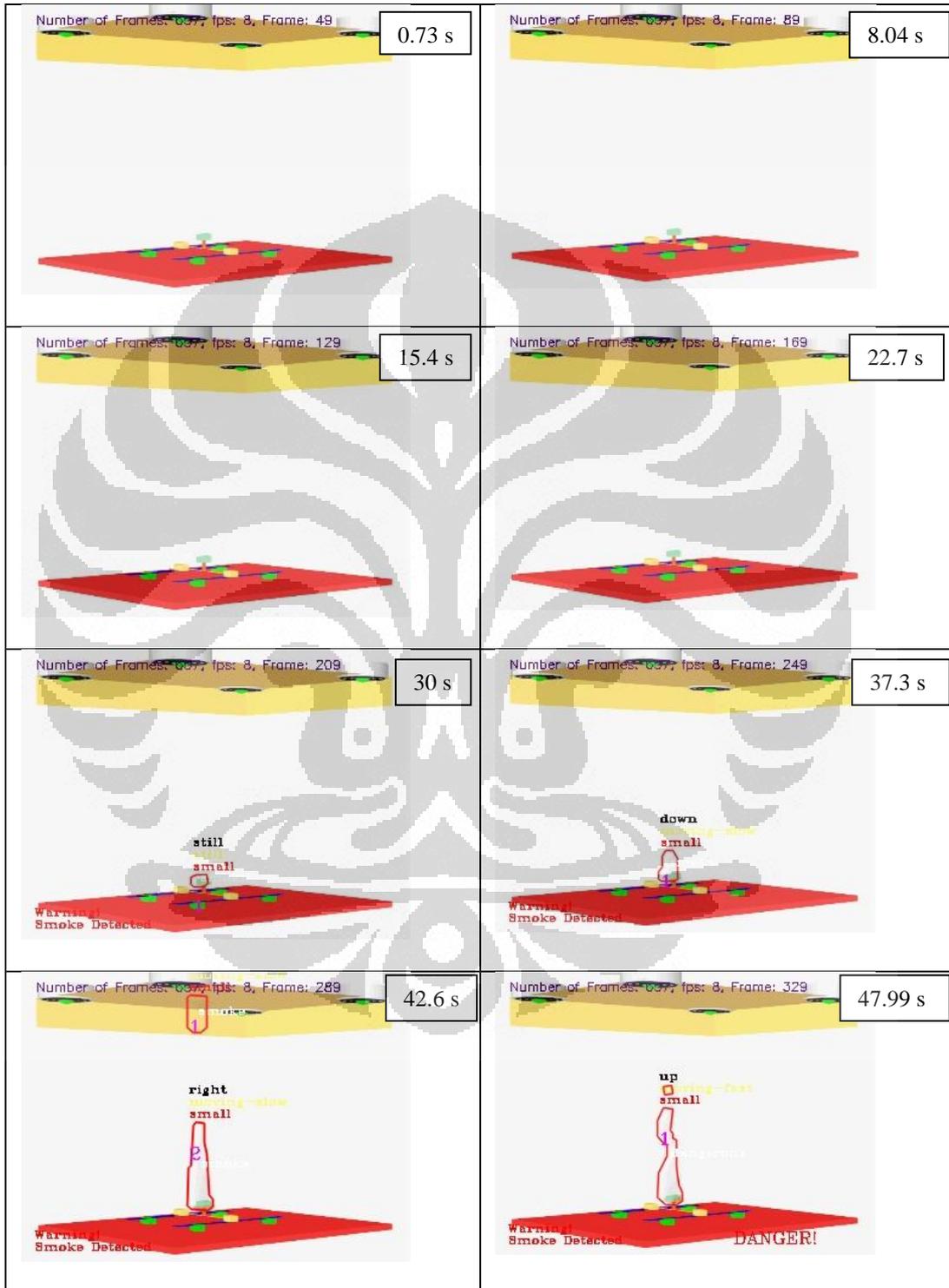
&DEVC ID='OD Uper 3\_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.86,0.88,0.3000,0.90,1.58,1.60/

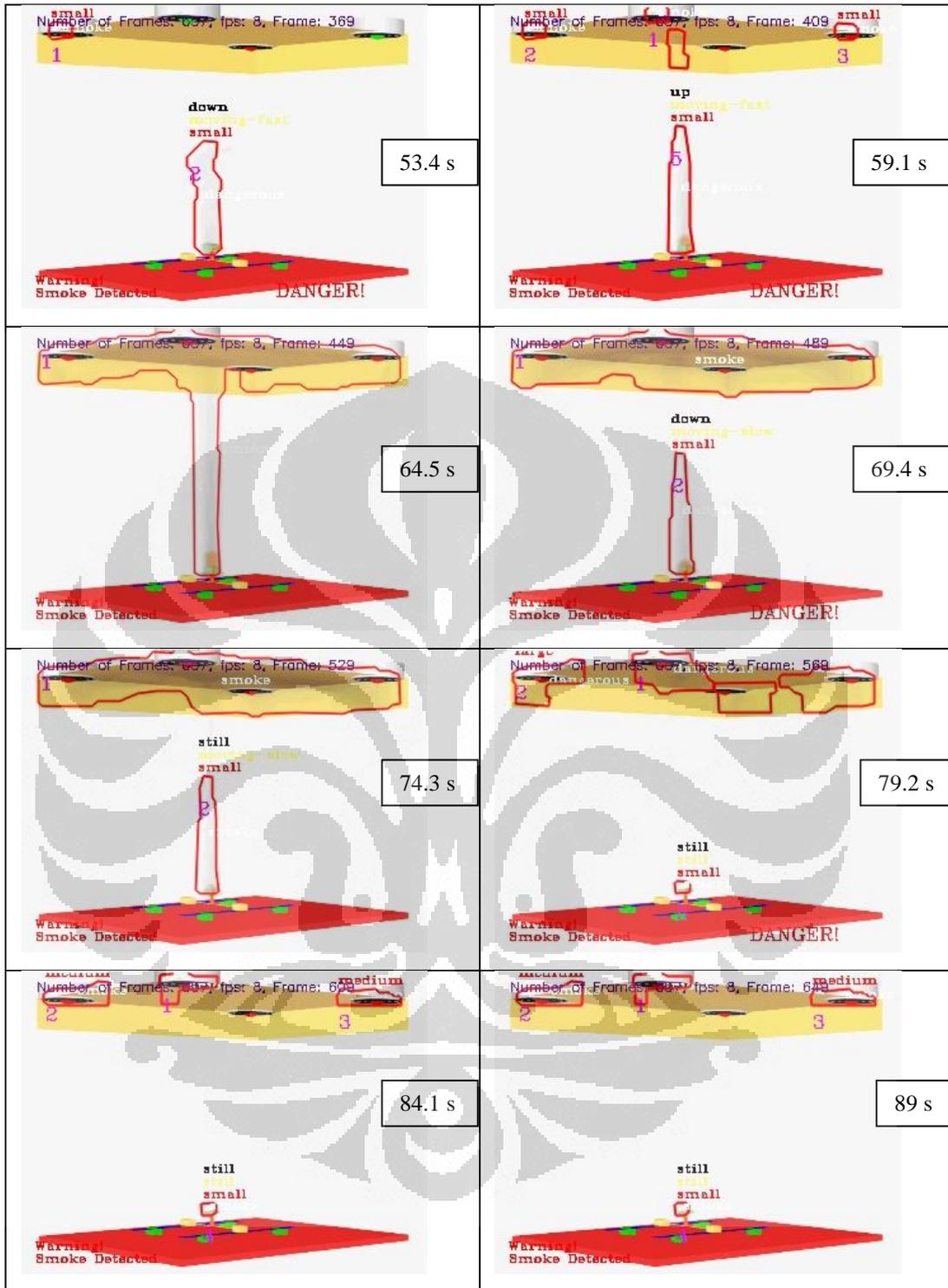
```
&DEVC ID='OD Uper 2_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.56,0.58,0.3000,0.90,1.58,1.60/  
&DEVC ID='Optical Density (3 cm dari sumber asap)_MEAN',  
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',  
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,0.92,0.94/  
&DEVC ID='OD Uper 1_MEAN', QUANTITY='OPTICAL DENSITY',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.3100,0.3350,0.3000,0.90,1.58,1.60/  
&DEVC ID='suhu material_MEAN', QUANTITY='TEMPERATURE',  
STATISTICS='MEAN', XB=0.54,0.60,0.55,0.65,0.85,0.93/  
&DEVC ID='Optical Density (15 cm dari sumber asap)_MEAN',  
QUANTITY='OPTICAL DENSITY', STATISTICS='MEAN',  
XB=0.55,0.58,0.3000,1.10,1.07,1.10/  
&TAIL /
```



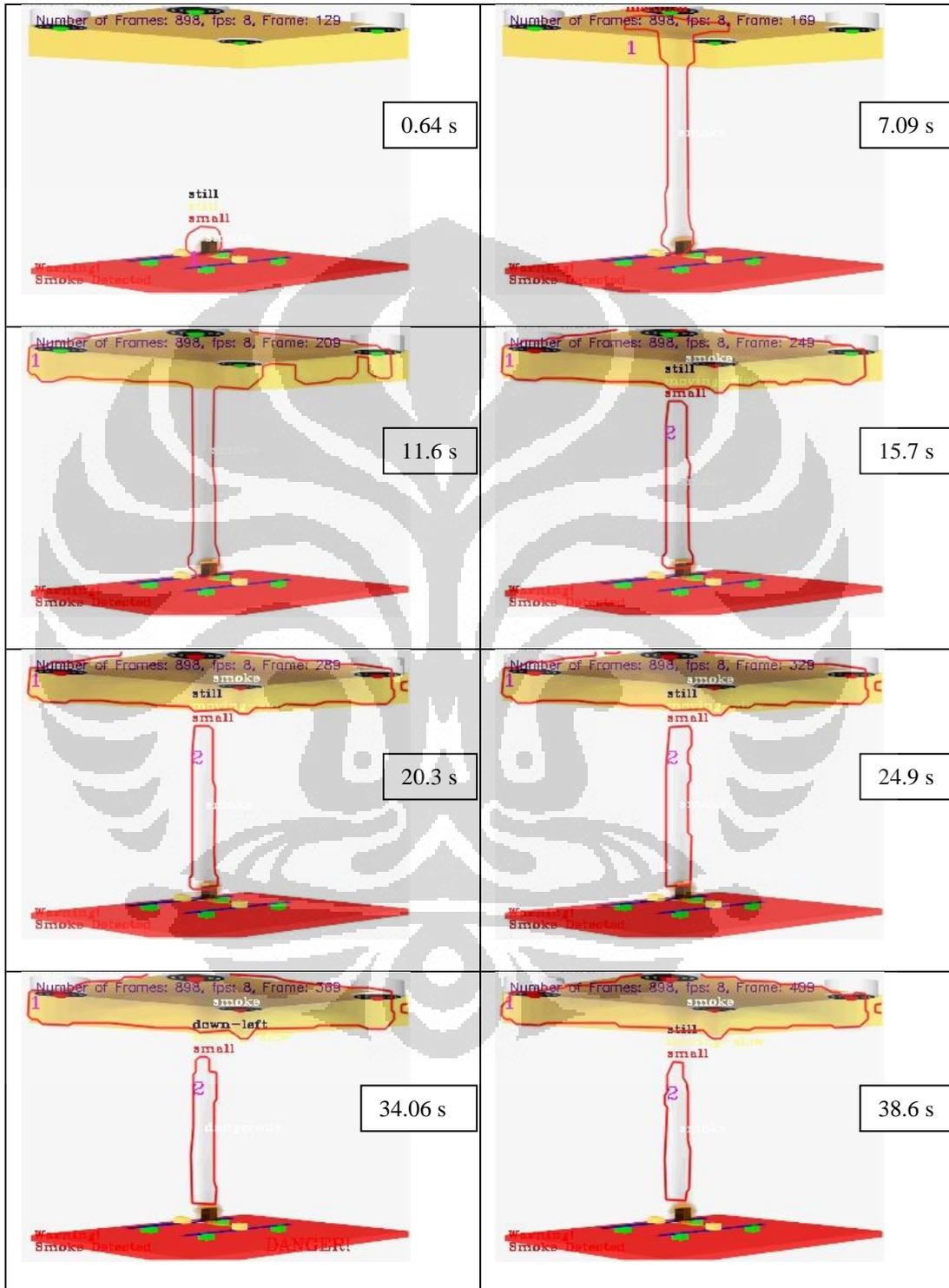
LAMPIRAN B

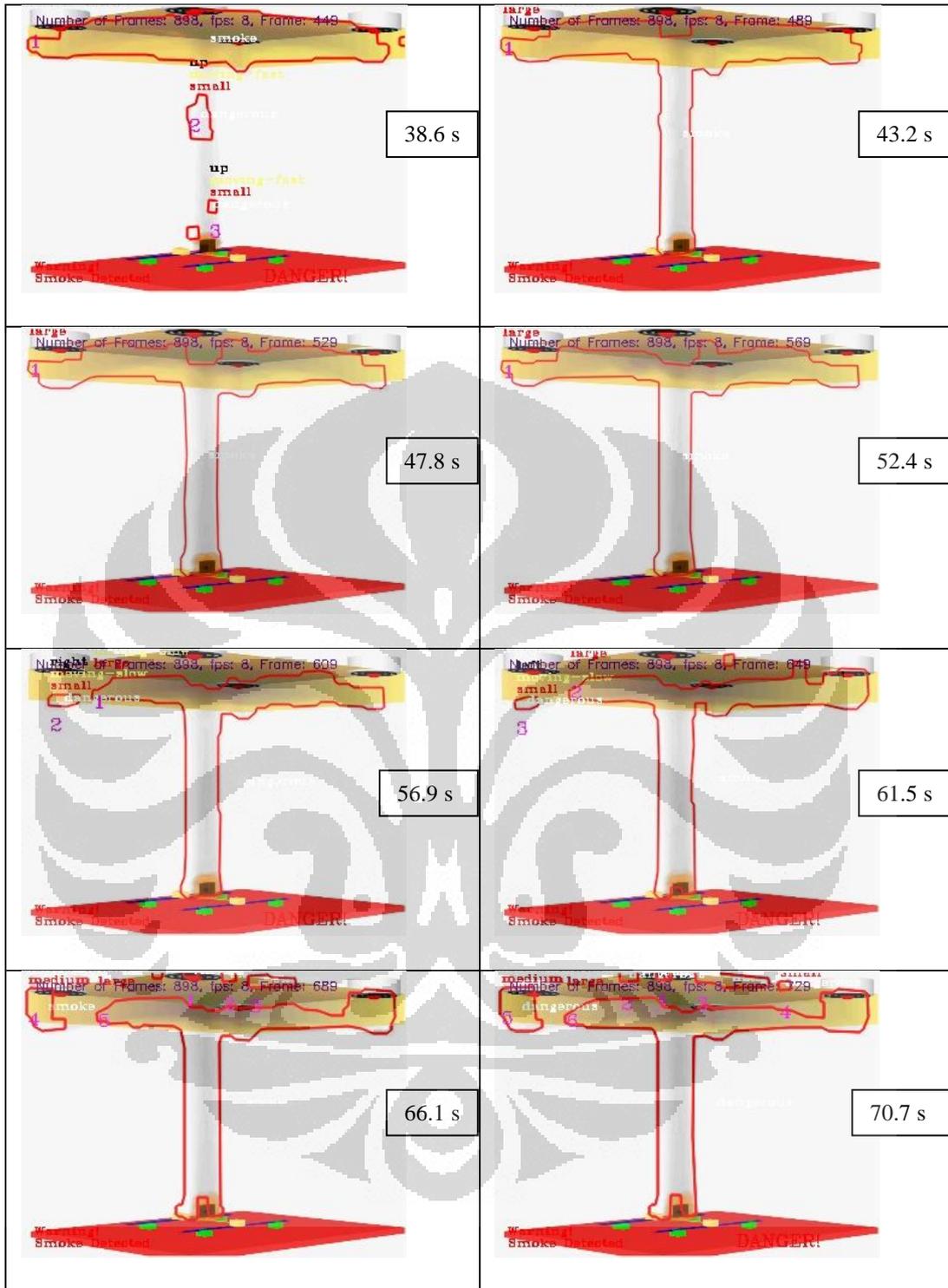
1.1. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN FOAM PADA EVALUASI CITRA *SMOKEDETECTION OPEN CV*

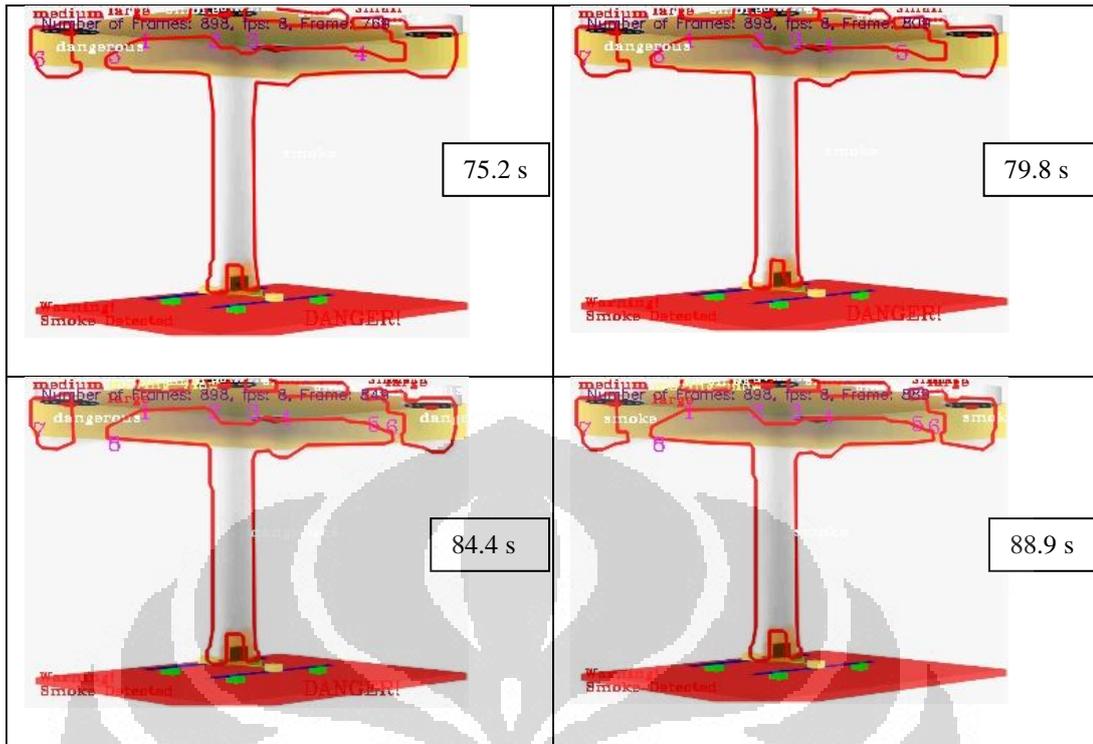




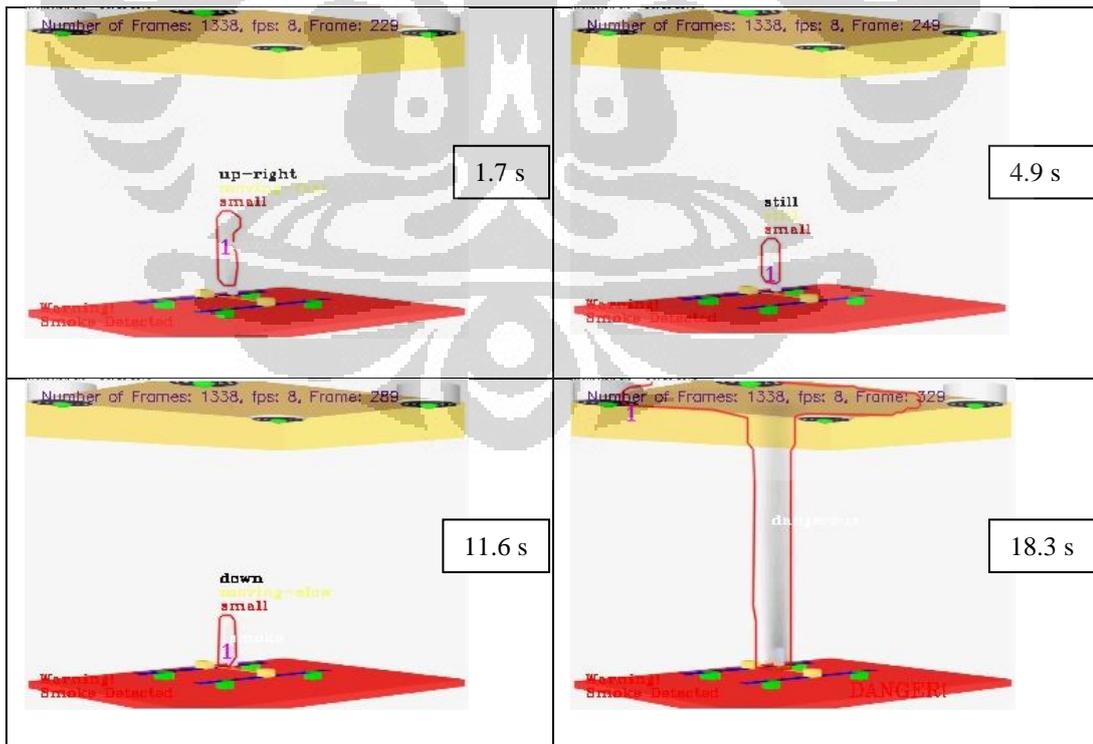
**1.2. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN KARET PADA EVALUASI CITRA *SMOKEDETECTION* OPEN CV**

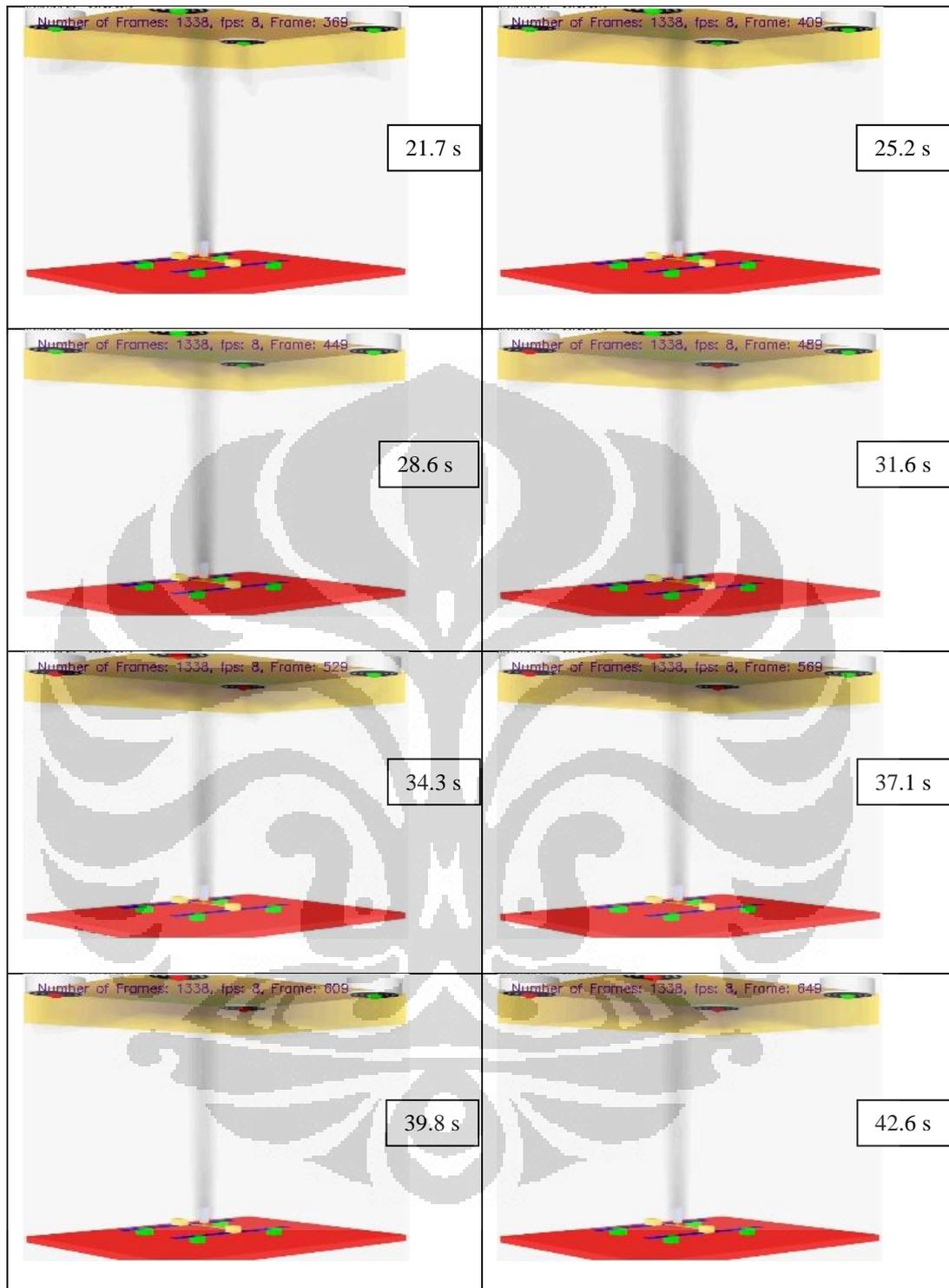


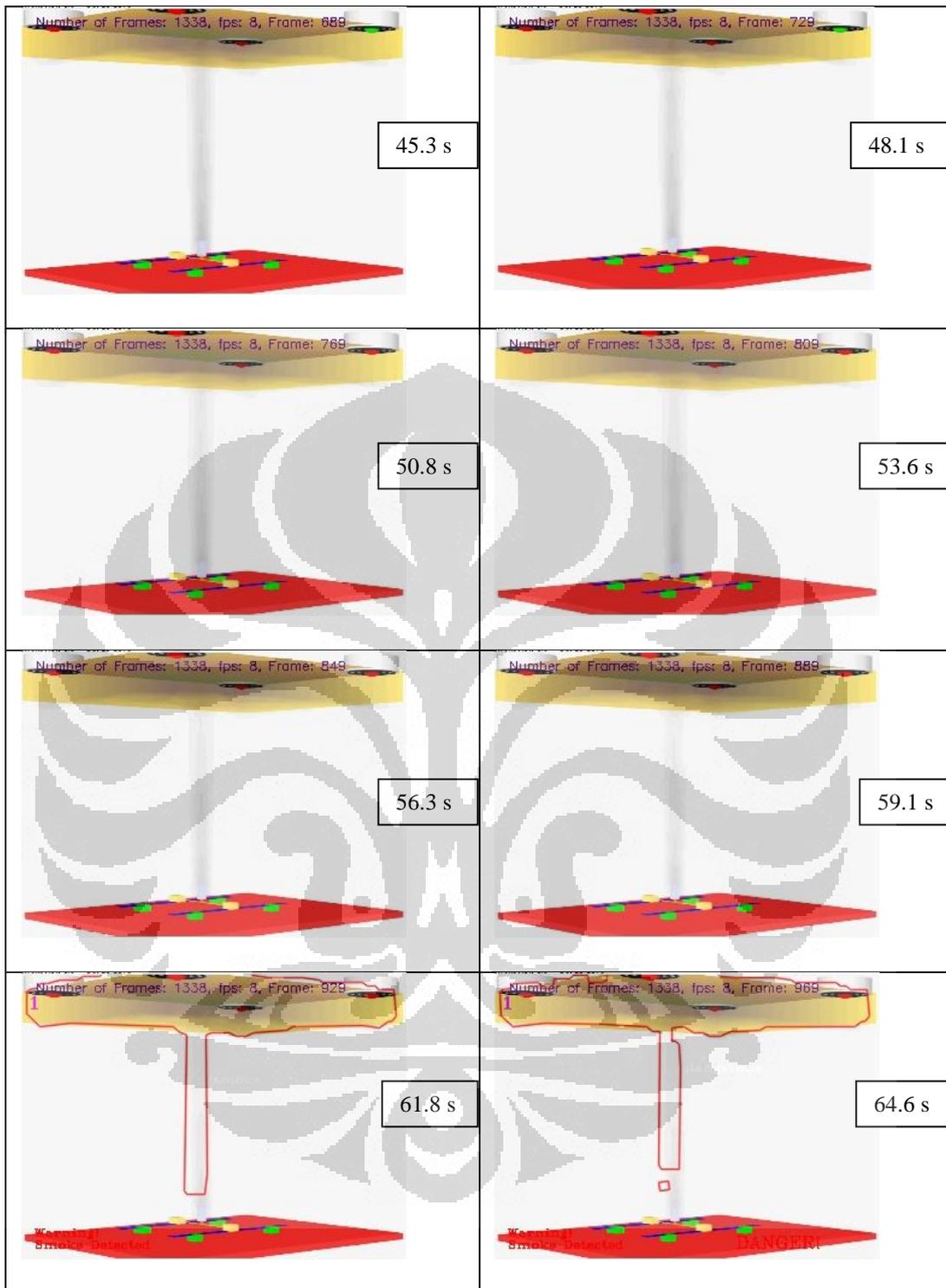


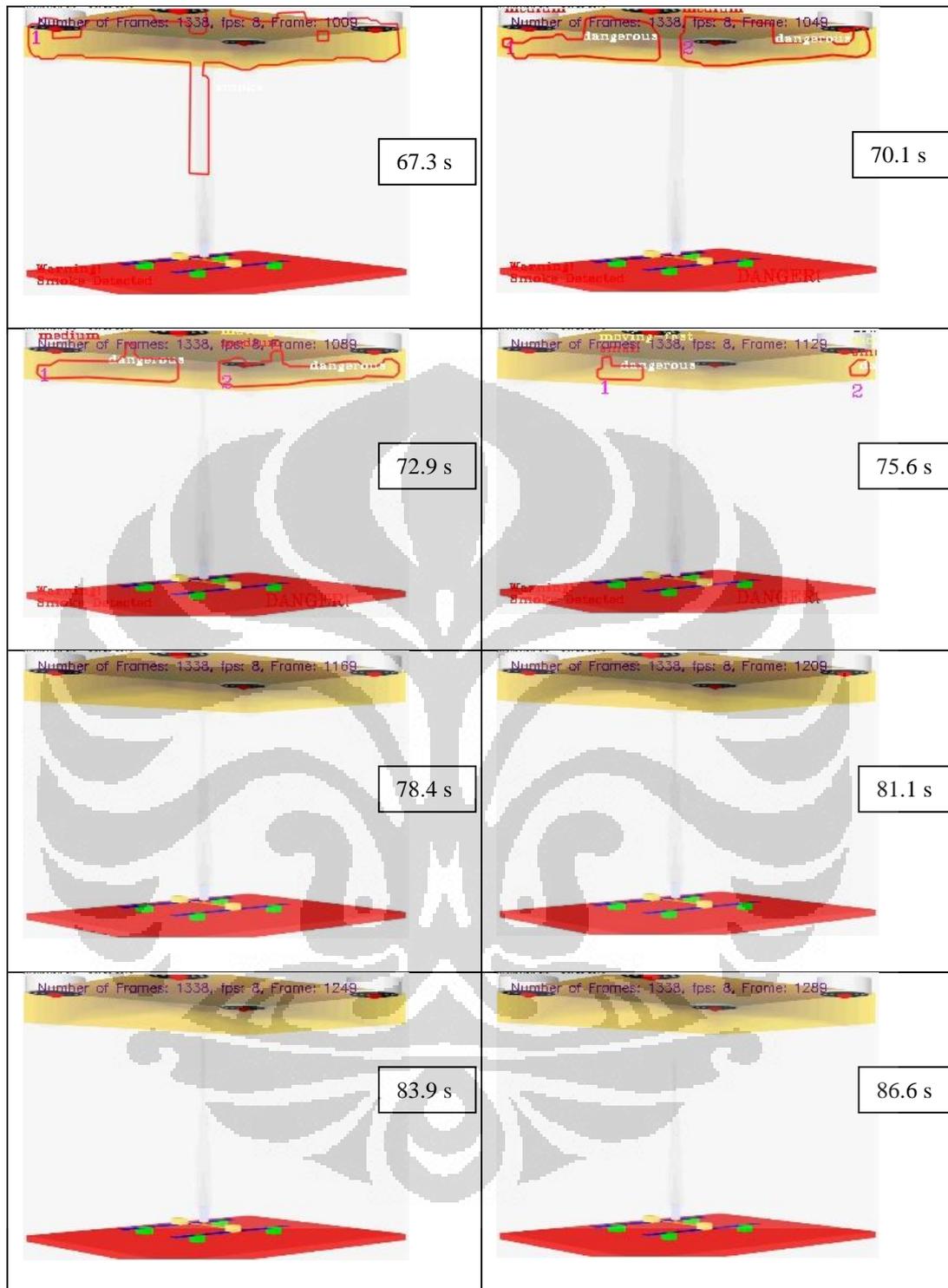


**1.3. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN PVC PADA EVALUASI CITRA SMOKEDETECTION OPEN CV**

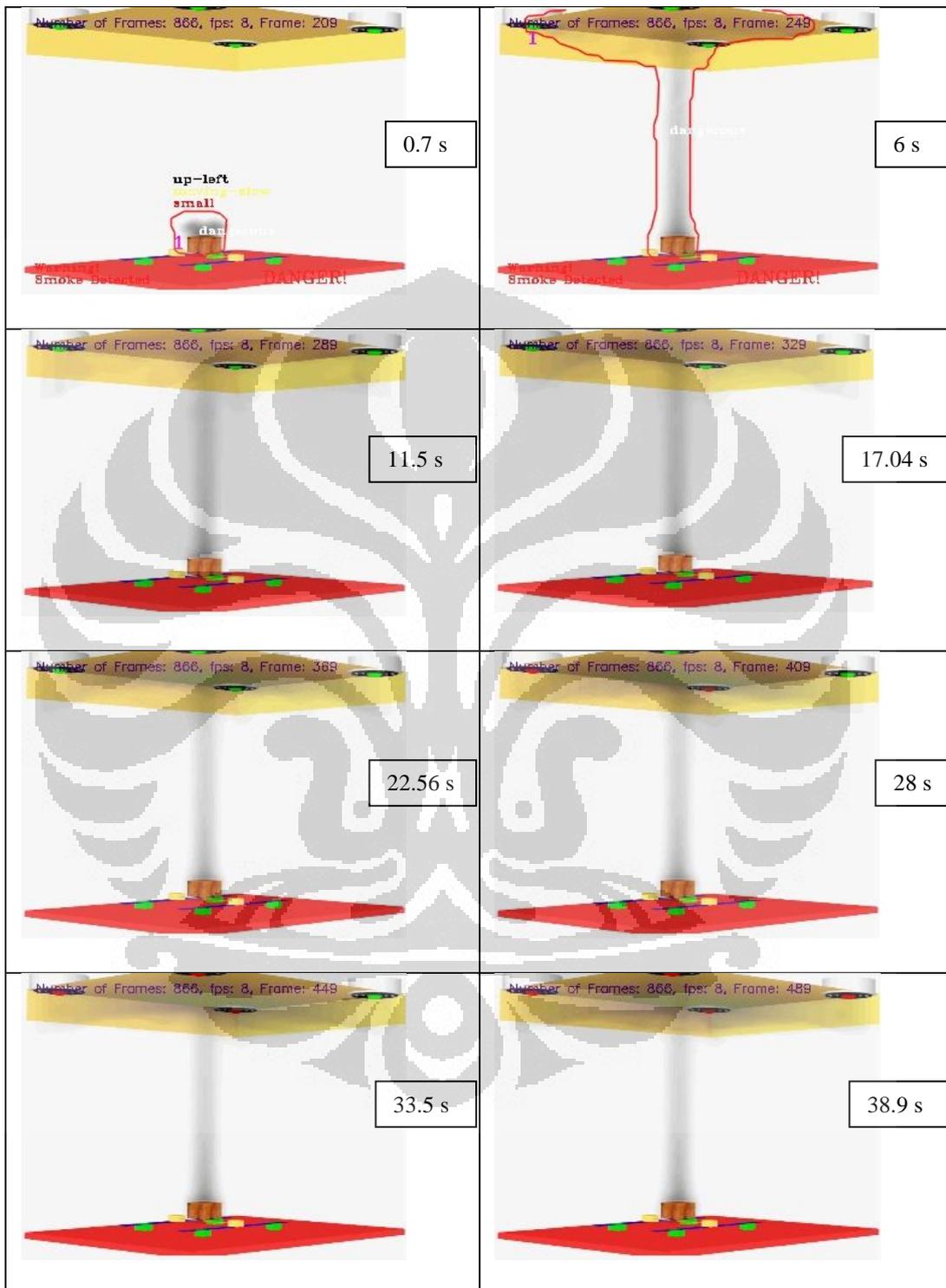


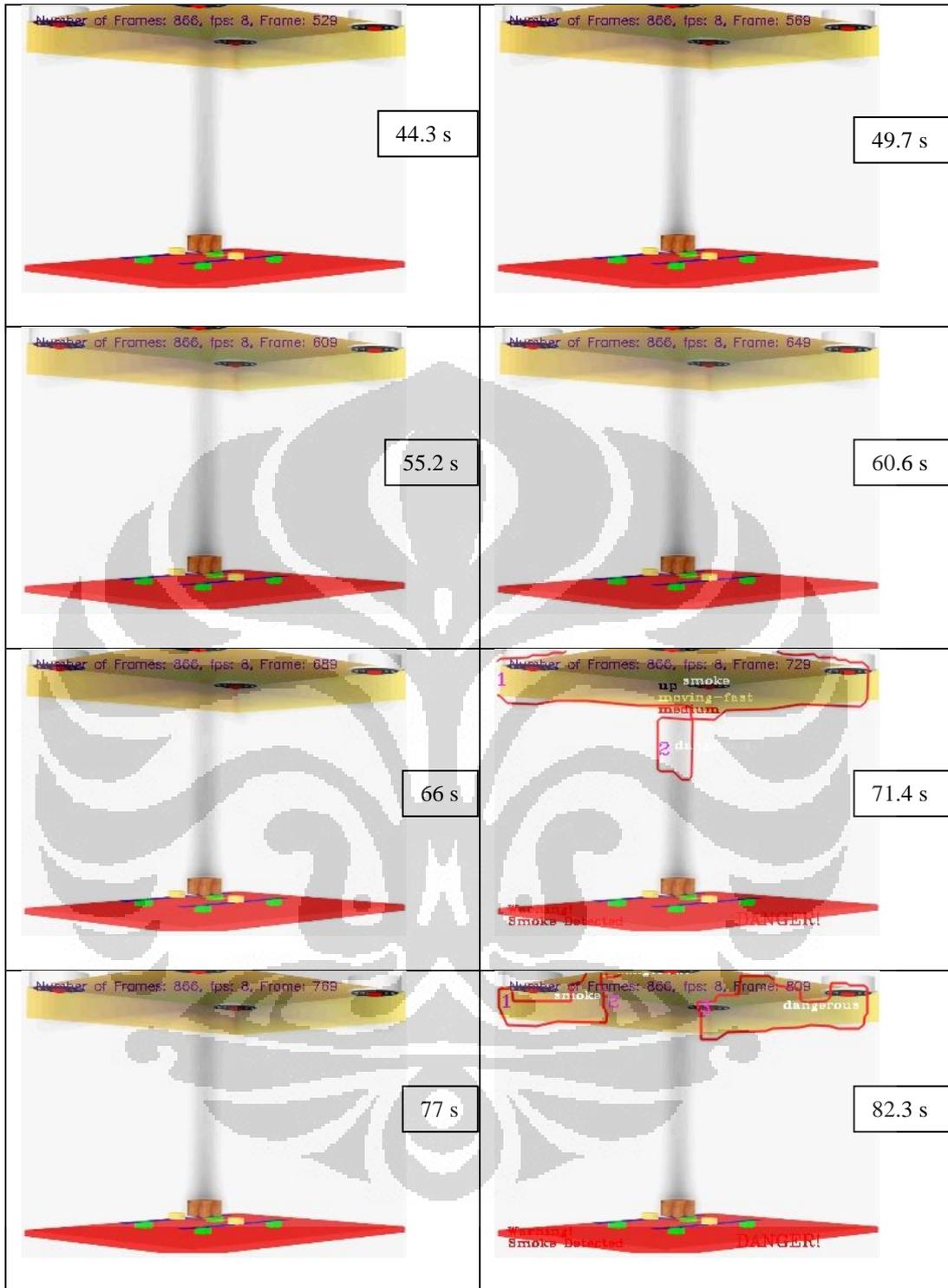


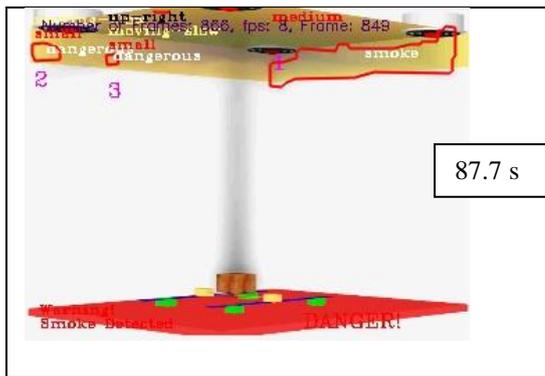




#### 1.4. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN KAYU PADA EVALUASI CITRA SMOKEDETECTION OPEN CV

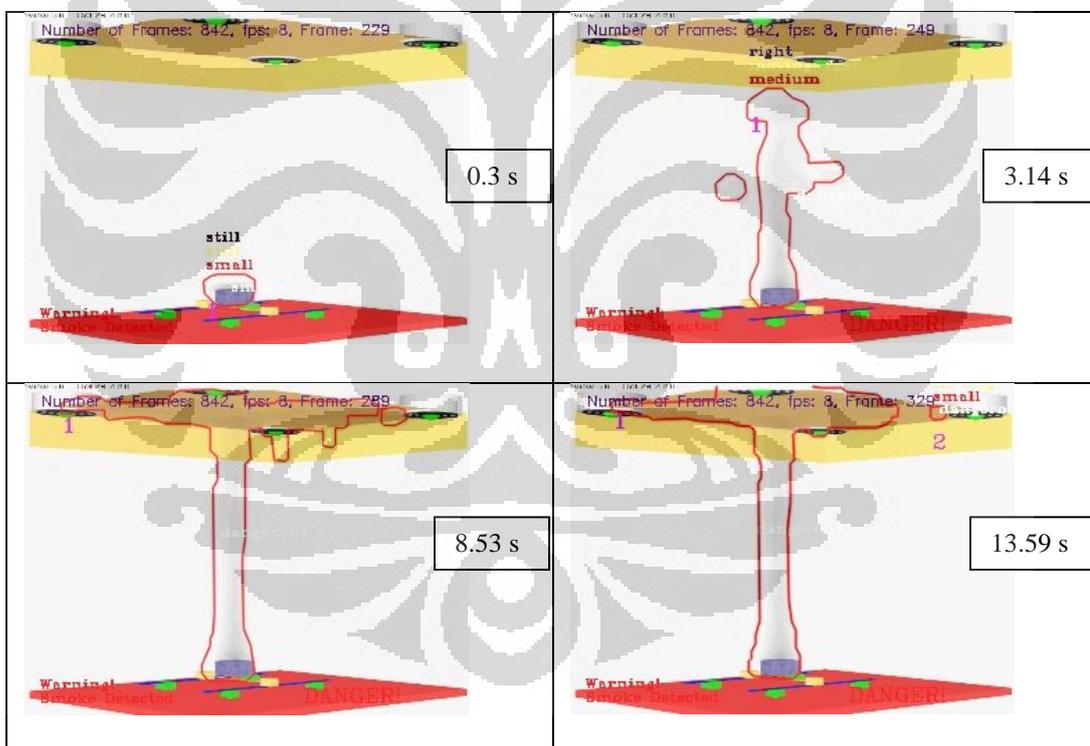


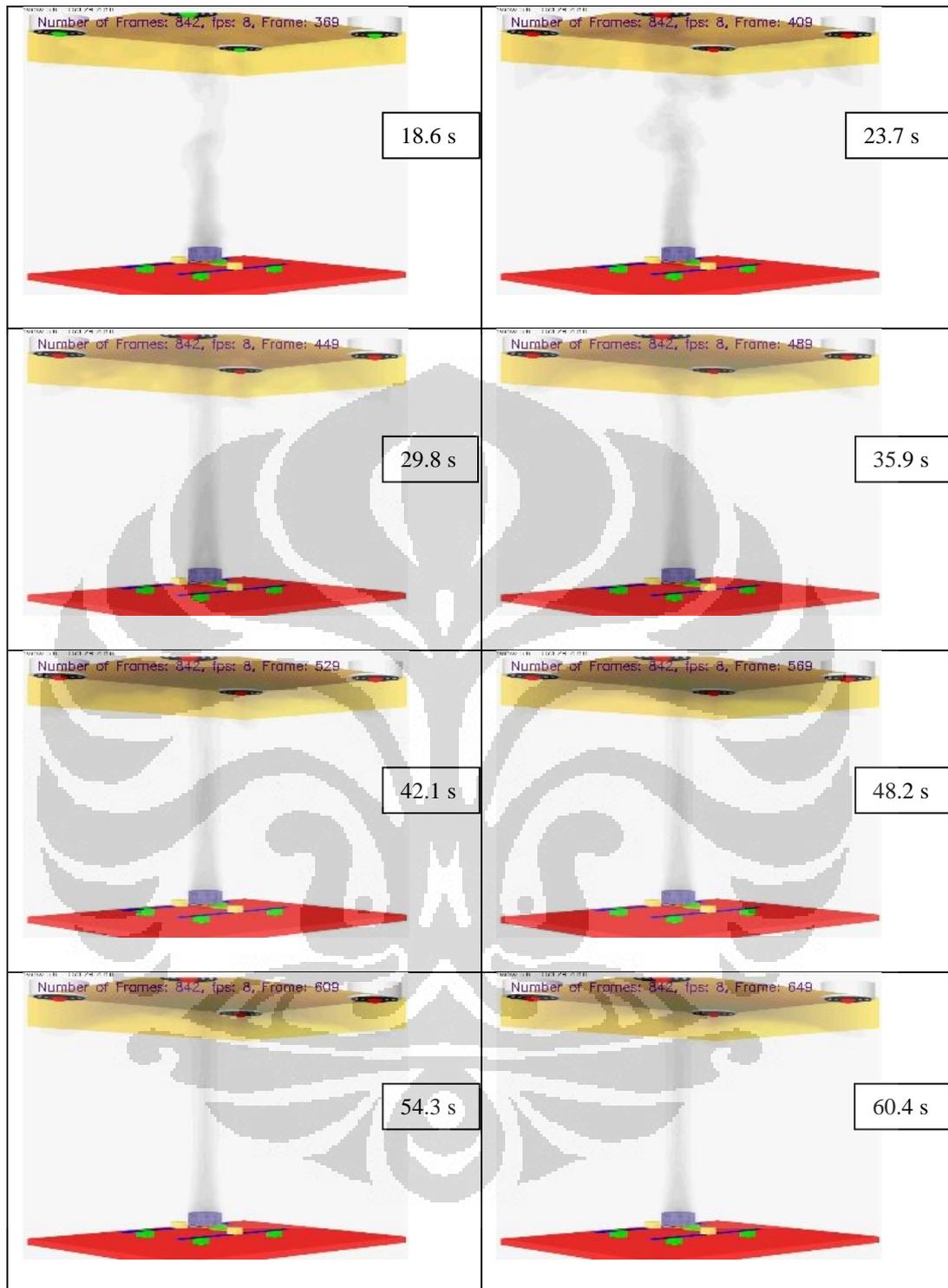


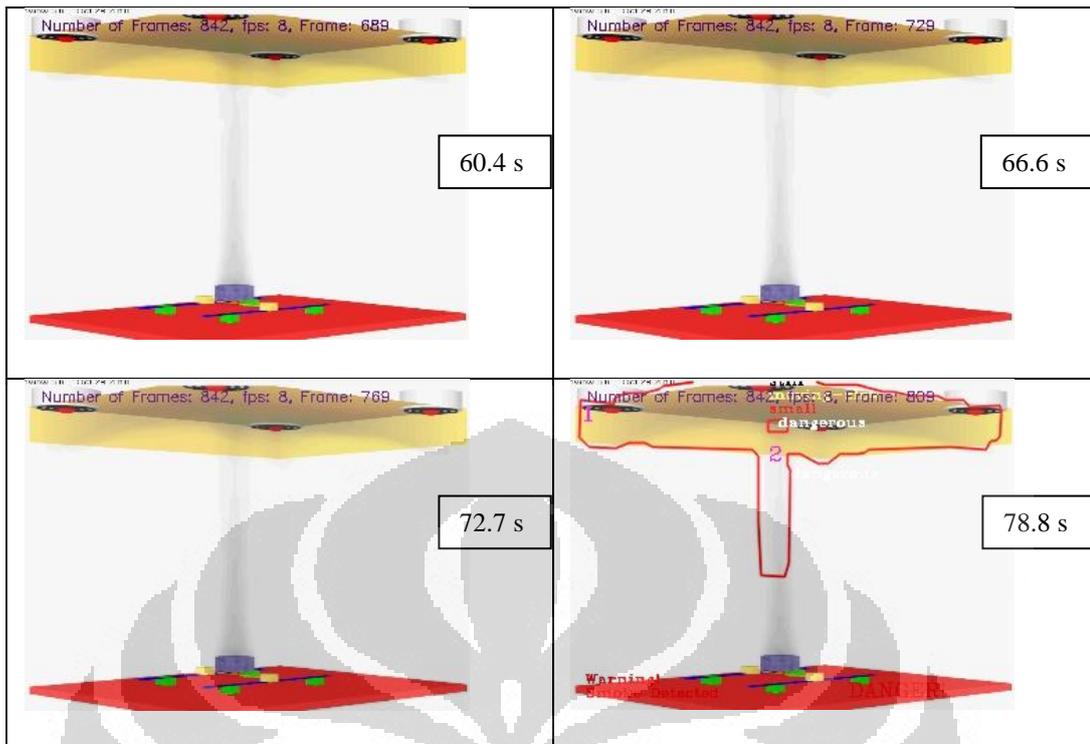


87.7 s

### 1.5. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN KERTAS PADA EVALUASI CITRA SMOKEDETECTION OPEN CV







**1.6. FRAME SIMULASI FDS PEMANASAN SIGARET PADA EVALUASI CITRA *SMOKEDETECTION OPEN CV***

