

**PENGARUH WAKTU AKTIVASI SISTEM SPRINKLER
OTOMATIS TERHADAP LAJU PERAMBATAN API
BERBASIS FDS (*FIRE DYNAMIC SIMULATOR*) PADA
BANGUNAN RUMAH SUSUN CIRACAS**

SKRIPSI



Di Susun oleh :

FAJAR SEPTIAN

5315137163

Skripsi Ini Ditulis Sebagai Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Pendidikan Di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Universitas Negeri Jakarta

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Dr. Riza Wirawan (Dosen Pembimbing I)
Triyono, ST., M Eng. (Dosen Pembimbing II)

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

- (Ketua Penguji)
- (Sekretaris)
- (Dosen Ahli)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa :

Nama : Fajar Septian

No. Registrasi : 5315137163

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 7 Mei 1988

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi yang berjudul “**Pengaruh Waktu aktivasi Sistem Sprinkler Otomatis Terhadap Laju Perambatan Api Berbasis FDS (*Fire Dynamic Simulator*) Pada bangunan Rumah susun Ciracas**”.
2. Karya tulis ilmiah ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ilmiah ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis tercantum sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang.

Demikian lembar pernyataan ini, dibuat dengan sesungguhnya. Apabila kemudian ditemukan bukti kuat bahwa skripsi ini tidak asli seperti pernyataan diatas, maka penulis bersedia menerima hukuman yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Agustus 2017
Yang Membuat Pernyataan

Fajar Septian
No. Registrasi : 5315137163

ABSTRAK

Fajar Septian, 2017. **“Pengaruh Waktu aktivasi Sistem Sprinkler Otomatis Terhadap Laju Perambatan Api Berbasis FDS (*Fire Dynamic Simulator*) Pada bangunan Rumah susun Ciracas”**.

Meningkatnya peristiwa kebakaran yang terjadi pada gedung bertingkat dan sulit nya penanggulangan kebakaran karena jalur akses yang tidak memungkinkan mobil pemadam kebakaran untuk menuju ke lokasi kebakaran, dan sistem proteksi kebakaran pada gedung bertingkat yang tidak berfungsi atau bahkan tidak ada. Mengakibatkan penjaralan api kebakaran semakin meluas dan tidak terkendali.

Untuk itu, sistem proteksi kebakaran pada gedung baik proteksi kebakaran aktif maupun pasif sangat penting untuk pencegahan dan penanggulangan saat terjadi kebakaran serta penyelamatan, sehingga memberikan rasa aman bagi penghuni yang tinggal. Banyak korban jiwa maupun harta benda yang ditimbulkan akibat musibah kebakaran karena sistem proteksi kebakaran yang tidak berfungsi, khususnya sistem sprinkler otomatis yang dapat memadamkan api awal kebakaran sehingga kebakaran yang terjadi dapat di padamkan sebelum kebakaran membesar atau meluas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu keterlambatan aktivasi Sistem Sprinkler Otomatis saat terjadi kebakaran pada gedung rumah susun ciracas, dengan pemodelan komputer menggunakan software PYROSIM 2012 pengembangan dari (FDS) dengan memasukan data gedung rumah susun ciracas. Pemodelan komputer sendiri menjadi suatu pendekatan untuk studi kelayakan bangunan terhadap keamanan sistem proteksi kebakaran aktif yaitu sistem sprinkler otomatis yang saat ini tidak ada pada bangunan rumah susun ciracas serta meneliti faktor-faktor yang akan timbul pada saat terjadi kebakaran. Input pemodelan komputer yang dimasukan adalah informasi geometri gedung atau denah, konstruksi bangunan, isi bangunan seperti sofa, meja, kasur, lemari dan density kepadatan gedung.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa keterlambatan waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar serta korban jiwa. Walaupun api padam butuh waktu lama agar asap hasil kebakaran hilang, karena asap hasil kebakaran dapat mengancam keselamatan penghuni yang tinggal. Sangat disarankan untuk perbaikan sistem proteksi kebakaran serta perawatan dan perbaikan secara berkala agar dapat berfungsi secara optimal sehingga memberikan rasa aman dan kenyamanan bagi penghuni gedung.

Kata Kunci : Aktivasi sprinkler, FDS, Jarak pandang, temperatur, konsentrasi oksigen, konsentrasi karbon dioksida.

ABSTRACT

Fajar Septian, 2017. **“Influence of Automatic Sprinkler Activation Time against the rate of fire propagation FDS-Based (Fire Dynamic Simulator) In the ciracas apartment building”**.

Increased fire incidents occurring in high rise buildings and its difficult fire prevention due to access points that do not allow fire trucks to get to the location of fire, and fire protection systems in non-functioning or even non-existent buildings. Resulting in the spread of fire of fire is increasingly widespread and uncontrollable.

For that, fire protection system in the building either active or passive fire protection is very important for prevention and action in the event of fire and rescue, thus providing a sense of security for residents who live. Many casualties and property caused by the fire accident due to fire protection system that does not work, especially automatic sprinkler systems that can extinguish the initial fire, so that fires can be extinguished before the fire gets larger or wider.

This study aims to determine the effect of time delay activation Automatic Sprinkler System in the event of fire in the ciracas apartment building, with computer modeling using PYROSIM 2012 software development from (FDS) by entering data of ciracas the apartment building. Computer modeling itself becomes an approach for building feasibility study on the security of active fire protection system that is automatic sprinkler system that is not currently available in the ciracas apartment building and examines the factors that will arise in the event of a fire. Input of computer modeling included is information of building geometry or floor plan, building construction, building contents such as sofa, table, mattress, cabinet and density of building density.

From the results of the study can be concluded that the delay in activation of automatic sprinkler system can cause huge losses and casualties. Although the fire goes out, it takes a long time for the smoke from the fire to disappear, as smoke from the fire can threaten the safety of the inhabitants. It is advisable to improve the fire protection system as well as maintenance and repair periodically in order to function optimally so as to provide a sense of security and comfort for residents of the building.

Keywords: Activation of sprinkler, FDS, visibility, temperature, oxygen concentration, carbon dioxide concentration.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim, segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam hanya kepadamu kami menyembah dan hanya kepadamu kami meminta pertolongan. Tuhanmu tidak akan meninggalkanmu dan tidak pula membencimu. Sesungguhnya yang kemudian itu lebih baik bagimu daripada yang permulaan dan kelak Tuhanmu pasti akan memberikan karunia-Nya kepadamu sehingga kamu menjadi puas. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad Shalallahu alaihi wa sallam, semoga kita dapat bertemu dan mendapatkan syafaat nanti di akhirat. Aamiinn.

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayahnya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Waktu aktivasi Sistem Sprinkler Otomatis Terhadap Laju Perambatan Api Berbasis FDS (*Fire Dynamic Simulator*) Pada bangunan Rumah susun Ciracas”**. Yang merupakan persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata Satu Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.

Penulis Menyadari Sepenuhnya tanpa bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, khususnya dari Dosen Pembimbing yang telah memotivasi penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. ALLAH SWT yang telah memberikan hidayah serta nikmat iman islam, kesehatan sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua saya, yang telah mendidik penulis sampai akhirnya bisa meraih gelar Sarjana Pendidikan. Dan juga atas doa dan dukungannya kepada penulis yang tidak pernah berhenti.
3. Ahmad Kholil, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

4. Ja'far Amiruddin, S.T., M.T, selaku Penasehat Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan selama menempuh perkuliahan di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
5. Dr. Riza Wirawan, selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan dan saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
6. Triyono, ST., M Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan, dukungan dan saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
7. Segenap dosen dan staff jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta yang telah mengajar dan membantu Penulis dan juga selama kuliah.
8. Teman- teman seperjuangan, khususnya anak fire angkatan 2013 yang selalu memberi dukungannya kepada Penulis.
9. Annida Lutfia Mardhotillah, Spd seseorang yang sangat berarti dalam hidup penulis, pujaan hati dan penyemangat hati. Anaa uhibbuki fillah.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan ini. Oleh karena itu, saran serta kritik yang membangun sangat kami harapkan demi tercapainya laporan yang lebih baik pada masa yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah kekayaan ilmu pengetahuan bidang teknik mesin yang membacanya. Aamiin.

Jakarta, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Pernyataan Keaslian Skripsi	ii
Abstrak	iii
Abstract	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Lampiran	x
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Grafik	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah	5
1.4. Rumusan Masalah	6
1.5. Tujuan Penelitian.....	6
1.6. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II KAJIAN TEORI	
2.1. Definisi Api dan Kebakaran.....	8
2.2. Teori Terjadinya Api	8
2.2.1 Segi Tiga Api (<i>Triangle of Fire</i>)	10
2.2.2 Empat Bidang Api (<i>Tetrahedron of Fire</i>)	11
2.2.3 Penyebaran panas (<i>fire spread</i>)	12
2.2.4 Tahapan kebakaran di dalam ruangan.....	14
2.3 Prinsip Pemadaman Kebakaran	18
2.4 Klasifikasi Kelas kebakaran	19
2.5 Klasifikasi sifat hunian	21

2.6	Sistem Sprinkler otomatis	23
2.6.1	Prinsip kerja Sistem Sprinkler Otomatis	24
2.6.2	Kegagalan dalam Sistem Sprinkler otomatis	25
2.6.3	Metode operasi kepala sprinkler	27
2.6.4	Tingkatan temperatur kerja sprinkler	29
2.6.5	Jenis kepala Sprinkler (<i>Sprinkler Head</i>)	30
2.6.6	Instalasi sistem sprinkler otomatis	31
2.7	Fire Modeling	34
2.8	Simulasi Komputer <i>Fire Dynamic Simulator</i> (FDS)	34
2.8.1	Komponen utama <i>software Fire Dynamic Simulator</i> (FDS).....	35
2.8.2	Keterbatasan <i>fire modeling Fire Dynamic Simulator</i> (FDS).....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2	Metode Pengumpulan Data.....	40
3.3	Alur dalam Proses Penelitian.....	41
3.3.1	Tahap Pendahuluan.....	43
3.3.2	Identifikasi dan perumusan masalah.....	43
3.3.3	Studi Pustaka.....	44
3.3.4	Pengumpulan Data.....	44
3.3.5	Pembuatan desain simulasi kebakaran menggunakan PyroSim 2012	44
3.3.5.1	Input data dan penentuan parameter	45
3.3.5.2	Penentuan batas ruang dan waktu atau domain	45
3.3.5.3	Pembuatan Model	46
3.3.5.4	Awal munculnya api dan besar laju pelepasan panas (HRRPUA)...	47
3.3.5.5	Ventilasi ruangan atau bukaan.....	47
3.3.5.6	Skenario simulasi kebakaran	49
3.3.6	Tahapan dalam simulasi	50
3.3.7	Desain Sistem sprinkler otomatis pada rumah susun ciracas.....	51
3.3.7.1	Perancangan dan penentuan jumlah kepala sprinkler	52
3.3.8	Parameter pengukuran untuk simulasi	57

3.3.8.1 Batas aman manusia terhadap peristiwa kebakaran	57
3.3.8.2 Batas temperatur aman	57
3.3.8.3 Produksi Asap kebakaran	58
3.3.8.4 Hipoksia rendah oksigen	59
3.3.8.5 Jarak pandang	60
3.3.8.6 Batas aman parameter pengukuran	61

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi bangunan rumah susun ciracas.....	63
4.2. Analisa hasil simulasi kebakaran	66
4.2.1 Hasil skenario simulasi kebakaran 1.....	66
4.2.2 Hasil tampilan visual skenario simulasi kebakaran 2	68
4.2.2.1 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.1	68
4.2.2.2 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.2	73
4.2.2.3 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.3	76
4.2.2.4 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.4	79
4.2.3 Analisa hasil parameter pengukuran	84
4.2.3.1 Lokasi parameter pengukuran	86
4.2.3.2 Parameter jarak pandang (<i>Soot visibility</i>)	87
4.2.3.3 Parameter temperatur	90
4.2.3.4 Konsentrasi oksigen	93
4.2.3.5 Konsentrasi Karbon dioksida	95

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan.....	97
5.3.Saran	98

DAFTAR PUSTAKA	99
----------------------	----

Lampiran	101
----------------	-----

Daftar Riwayat Hidup	127
----------------------------	-----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Input File FDS Skenario Kebakaran 1	101
Lampiran 2 Data Hasil Simulasi Skenario Kebakaran 1.....	106
Lampiran 3 Input File FDS Skenario Kebakaran 2	108
Lampiran 4 Data Hasil Simulasi Skenario Kebakaran 2	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkatan temperatur kerja sprinkler.....	29
Tabel 3.1 Ukuran dan jumlah ventilasi ruangan atau bukaan.....	48
Tabel 3.2 Material Properties.....	48
Tabel 3.3 Jenis barang atau furnitur yang digunakan.....	49
Tabel 3.4 Skenario Simulasi Kebakaran terhadap ventilasi ruangan.....	49
Tabel 3.5 Skenario Simulasi Kebakaran terhadap aktivasi sistem <i>sprinkler</i> Otomatis	50
Tabel 3.6 Tingkat keparahan akibat paparan panas.....	58
Tabel 3.7 Tingkat keparahan akibat paparan asap kebakaran.....	59
Tabel 3.8 Hubungan Persentasi dan Efek Kekurangan Oksigen	59
Tabel 3.9 Hubungan Persentasi dan Efek peningkatan karbon dioksida.....	60
Tabel 3.10 Batas aman jarak pandang terhadap asap kebakaran.....	61
Tabel 3.11 Parameter batas aman manusia terhadap peristiwa kebakaran.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Segi Tiga Api	10
Gambar 2.2	Empat Bidang Api	11
Gambar 2.3	Radiasi panas kebakaran.....	12
Gambar 2.4	Konduksi panas Kebakaran.....	13
Gambar 2.5	Konveksi panas kebakaran	14
Gambar 2.6	Api awal pada kebakaran di dalam ruangan.....	15
Gambar 2.7	Aliran gas dan udara panas secara radial	15
Gambar 2.8	Kondisi ruangan sebelum flashover	16
Gambar 2.9	Kondisi ruangan pada saat flashover.....	17
Gambar 2.10	Kondisi ruangan setelah flashover	17
Gambar 2.11	Kepala sprinkler.....	28
Gambar 3.1	Alur dalam Proses Penelitian.....	42
Gambar 3.2	Input data menggunakan software pyrosim 2012 versi trail	45
Gambar 3.3	Tahapan waktu dan produk hasil kebakaran.....	52
Gambar 3.4	Desain kepala sprinkler pada rumah susun ciracas	54
Gambar 3.5	Peletakan kepala sprinkler untuk 1 unit rumah susun ciracas.....	55
Gambar 3.6	Desain Reservoir sistem sprinkler otomatis pada bangunan rumah susun ciracas	56
Gambar 3.7	Tingkat keparahan luka pada manusia akibat terpapar api Kebakaran	58
Gambar 4.1	Deskripsi konstruksi bangunan rumah susun ciracas	63
Gambar 4.2	Bentuk Geometri Ruang.....	64
Gambar 4.3	Area yang disimulasikan	65
Gambar 4.4	Luas area yang disimulasikan	65
Gambar 4.5	Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.1 setiap tahapan waktu	69
Gambar 4.6	Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.1 setiap tahapan waktu	70
Gambar 4.7	Tampilan visual peningkatan temperatur api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.1 setiap tahapan waktu	72

Gambar 4.8 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.2 setiap tahapan waktu	73
Gambar 4.9 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.2 setiap tahapan waktu	74
Gambar 4.10 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.2 detik ke 190 dan detik ke 800	75
Gambar 4.11 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.2 setiap tahapan waktu	76
Gambar 4.12 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.3 setiap tahapan waktu	77
Gambar 4.13 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.3 setiap tahapan waktu	78
Gambar 4.14 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.3 setiap tahapan waktu	79
Gambar 4.15 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu.....	80
Gambar 4.16 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu.....	81
Gambar 4.17 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu	82
Gambar 4.18 Tampilan visual peningkatan temperatur api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu.....	83
Gambar 4.19 Lokasi parameter pengukuran	87

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Laju pelepasan panas 1 unit rumah	66
Grafik 4.2 Laju pembakaran 1 unit rumah	67
Grafik 4.3 Laju pembakaraan tiap tahapan waktu	84
Grafik 4.4 Laju pelepasan panas tiap tahapan waktu	85
Grafik 4.5 Parameter pengukuran jarak pandang (a) titik 1 dan (b) titik 2.....	87
Grafik 4.6 Parameter pengukuran jarak pandang (a) titik 3 (b) titik 4 dan (c) titik 5.....	89
Grafik 4.7 Parameter pengukuran temperatur (a) titik 1 dan (b) titik 2	90
Grafik 4.8 Parameter pengukuran jarak pandang (a) titik 3 (b) titik 4 dan (c) titik 5.....	91
Grafik 4.9 Parameter pengukuran konsentrasi oksigen (a) titik 1 dan (b) titik 2	93
Grafik 4.10 Parameter pengukuran konsentrasi oksigen (a) titik 3, (b) titik 4 dan (c) titik 5.....	94
Grafik 4.11 Parameter pengukuran konsentrasi karbon dioksida (a) titik 1 dan (b) titik 2.....	95
Grafik 4.12 Parameter pengukuran konsentrasi karbon dioksida (a) titik 3, (b) titik 4 dan (c) titik 5	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Kebakaran merupakan peristiwa bencana yang diakibatkan karena munculnya api yang tidak diharapkan dan tidak terkendali yang dapat mengakibatkan berbagai macam kerugian, berupa kehilangan materi seperti tempat tinggal dan harta benda, timbulnya korban meninggal serta korban luka, baik luka berat maupun luka ringan serta kerugian yang mengakibatkan kehilangan tempat usaha atau pemutusan hubungan kerja. Dampak buruk akibat bencana kebakaran dapat diminimalisir atau bahkan dapat dihindari dengan adanya sistem proteksi kebakaran yang ada di dalam suatu bangunan atau gedung, baik proteksi kebakaran aktif maupun proteksi kebakaran pasif.

Menurut data dari Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan Provinsi DKI Jakarta. Terjadinya peristiwa bencana kebakaran di DKI Jakarta pada tahun 2016, terhitung mulai 1 Januari 2016 sampai dengan akhir tahun 2016. Telah terjadi 1.139 kasus bencana kebakaran yang menimbulkan korban sebanyak 3.618 KK atau 11.719 jiwa, serta menyebabkan korban jiwa sebanyak 20 orang meninggal dunia, untuk kerugian materil yang diderita akibat bencana kebakaran mencapai Rp 212 miliar. Kasus bencana kebakaran yang terbesar diakibatkan oleh konsleting listrik sebanyak 836 kasus bencana kebakaran, sedangkan objek yang terbakar paling banyak adalah bangunan perumahan sejumlah 343 bangunan.

Untuk penanggulangan bahaya kebakaran serta mencegah agar tidak terjadi bencana kebakaran khususnya pada gedung bertingkat, diperlukan sistem proteksi kebakaran aktif. Yaitu sistem *sprinkler* otomatis yang berfungsi untuk memadamkan api pada awal kebakaran dan mencegah perambatan api sehingga bencana kebakaran yang terjadi tidak menyebar. Sistem *sprinkler* otomatis telah hadir pada akhir tahun 1880-an. H.S. Pamelee yang pertama meresmikan penggunaan *sprinkler* otomatis di tahun 1874. Sampai sekarang, sistem *sprinkler* otomatis masih sangat dibutuhkan pada gedung, sebab sistem *sprinkler* otomatis terbukti paling baik dalam penanggulangan bencana kebakaran. Akan tetapi banyak konsultan gedung, atau bahkan pemilik gedung serta instansi yang terkait, berfikir bahwa sistem *sprinkler* otomatis kurang baik serta membutuhkan dana yang cukup besar, oleh karena itu mereka mengubahnya dengan sistem lain yang menurutnya paling baik.

Semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat di DKI Jakarta terhadap tempat tinggal yang layak dan aman, terutama aman dari ancaman bahaya bencana kebakaran yang dapat terjadi kapan saja dan di mana saja. Hal ini, menimbulkan masalah keterbatasan lahan. Untuk mengatasinya pemda provinsi DKI Jakarta, melalui dinas perumahan rakyat dan pihak swasta berusaha untuk mencarinya yaitu dengan membangun rumah susun layak huni yang dilengkapi dengan berbagai macam fasilitas penunjangnya dan juga apartemen yang terjangkau untuk masyarakat di DKI Jakarta.

Salah satunya dengan membangun gedung rumah susun ciracas yang merupakan pemukiman untuk para Pegawai Negeri Sipil di lingkungan Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan DKI Jakarta yang berada di wilayah

ciracas Jakarta Timur. Penelitian ini menggunakan bangunan rumah susun ciracas, berdasarkan SNI 03 3989 2000 gedung tersebut memiliki klasifikasi bangunan menengah yang terdiri dari enam lantai dengan tinggi bangunan lebih dari 20 meter dengan ancaman bahaya kebakaran sedang tingkat 1 yang diperuntukan sebagai tempat tinggal atau pemukiman. Akan tetapi sistem proteksi kebakarannya masih kurang dan tidak dilengkapi dengan sistem *sprinkler* otomatis. Jika terjadi kebakaran pada gedung tersebut dan sistem proteksi aktif yaitu sistem *sprinkler* otomatis tidak ada maka dapat membahayakan penghuni yang berada dalam gedung.

Dalam penelitian ini, akan membahas lebih dalam mengenai pengaruh waktu aktivasi sistem *sprinkler* otomatis terhadap laju perambatan api pada gedung rumah susun ciracas pada saat terjadi kebakaran. Serta mengetahui berapa waktu yang paling efektif untuk aktivasi sistem *sprinkler* otomatis terhadap api kebakaran yang terjadi serta perambatan panasnya serta pergerakan asap dengan beberapa parameter pengukuran dalam simulasi kebakaran, dan juga peran sistem *sprinkler* otomatis dalam memadamkan api kebakaran dengan menggunakan simulasi kebakaran yaitu software *Fire Dynamic Simulator (FDS)*. Kondisi *real* saat ini, pada gedung rumah susun ciracas tidak dilengkapi dengan sistem *sprinkler* otomatis.

Di kota DKI Jakarta banyak gedung bertingkat yang telah dilengkapi dengan sistem *sprinkler* otomatis, akan tetapi kurangnya perawatan dan perbaikan serta kesalahan dalam pengoperasian mengakibatkan keterlambatan waktu aktivasi. Sehingga api telah merambat ke sekeliling ruangan dan dapat menimbulkan korban jiwa. Untuk pengoperasian sistem *sprinkler* otomatis, pompa kebakaran harus

dalam keadaan siap 1 x 24 jam penuh, karena kebakaran dapat terjadi kapan saja dan di mana saja. Pada kenyataannya pompa untuk menyalurkan air ke kepala sprinkler disetting dalam keadaan off atau on manual dengan berbagai alasan, yang seharusnya dalam posisi standby atau pompa otomatis hidup saat kepala sprinkler pecah atau alarm kebakaran aktif.

Jika terjadi kebakaran maka seseorang harus mengaktifkan pompa kebakaran di ruang pompa gedung yang jaraknya cukup jauh kadang dalam keadaan terkunci dan akses jalan sempit sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk itu, pada penelitian ini ditentukan juga skenario simulasi kebakaran dengan keterlambatan waktu aktivasi sistem *sprinkler* otomatis selama 7 menit dan 10 menit untuk mengetahui pengaruh yang terjadi saat *sprinkler* terlambat aktif.

1.2 Identifikasi Masalah

Berbagai masalah yang muncul dari pembahasan judul di atas diantaranya:

1. Apakah Sistem proteksi kebakaran pada gedung rumah susun ciracas sudah sesuai dengan standar ?
2. Berapakah waktu efektif aktivasi sistem *sprinkler* otomatis untuk memadamkan api kebakaran yang terjadi pada gedung rumah rumah susun ciracas ?
3. Bagaimanakah tingkat bahaya kebakaran apabila terjadi kebakaran pada gedung rumah susun ciracas ?
4. Bagaimana perkembangan api dan *Heat Release Rate* (HRR) dari simulasi skenario kebakaran pada gedung rumah susun ciracas menggunakan *software Fire Dynamic Simulator* (FDS) ?

5. Bagaimana pengaruh penggunaan sistem *sprinkler* otomatis pada gedung rumah susun ciracas saat terjadi kebakaran menggunakan *software Fire Dynamic Simulator (FDS)*?
6. Bagaimana penyebaran asap hasil pembakaran yang terjadi pada gedung rumah susun ciracas saat terjadi kebakaran menggunakan *software Fire Dynamic Simulator (FDS)* ?

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan ruang lingkup masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan pada salah satu gedung rumah susun milik Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan DKI Jakarta yang berada di wilayah kecamatan ciracas Jakarta Timur.
2. Penelitian ini menggunakan *software fire modeling* yaitu *Fire Dynamic Simulator (FDS)* versi 5 dengan permodelan simulasi kebakaran pada gedung rumah susun ciracas.
3. Permodelan simulasi kebakaran dilakukan hanya menggambarkan proses perambatan api dan pemadaman menggunakan sistem *sprinkler* otomatis pada gedung rumah susun ciracas.
4. Simulasi pada penelitian ini merupakan simulasi *trail* yaitu hanya pada satu lantai gedung yang disimulasikan.
5. Waktu aktivasi sistem *sprinkler* otomatis pada skenario simulasi kebakaran ditentukan saat temperatur 68 °C sesuai dengan standar, keterlambatan waktu

aktivasi 7 menit dan 10 menit serta tanpa dilengkapi dengan sistem *sprinkler* otomatis.

6. Parameter pengukuran pada penelitian ini yaitu berupa laju pembakaran, laju pelepasan panas, temperatur, jarak pandang yang terhalang asap kebakaran, konsentrasi gas karbon dioksida (CO_2) dan oksigen (O_2) yang diletakkan pada lima titik koridor jalan di sekitar area yang terbakar.
7. Letak titik awal sumber kebakaran pada simulasi berada pada ruang tamu salah satu unit rumah susun dengan nilai laju pelepasan panas per area atau *Heat Release Rate Per Unit Area* (HRRPUA), sumber penyalaan sebesar 200 kw/m^2 dengan ukuran $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$.

1.4 Perumusan Masalah

Masalah yang dirumuskan dari pembatasan ruang lingkup masalah ini adalah:

1. Berapakah waktu efektif aktivasi sistem *sprinkler* otomatis untuk memadamkan api kebakaran yang terjadi pada gedung rumah susun ciracas ?
2. Apakah sistem proteksi kebakaran yang berada pada gedung rumah susun ciracas sudah sesuai dengan standar yang berlaku.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh keterlambatan waktu aktivasi sistem *sprinkler* otomatis terhadap keselamatan penghuni gedung saat terjadi kebakaran dengan dampak peningkatan temperatur dan asap kebakaran pada gedung rumah susun ciracas.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sistem *sprinkler* otomatis pada saat terjadi kebakaran pada gedung rumah susun ciracas yang sesuai standar serta:

1. Memberikan tambahan pengetahuan tentang penggunaan *software Fire Dynamic Simulator (FDS)* yang dapat menggambarkan simulasi kebakaran yang terjadi pada bangunan gedung.
2. Hasil penelitian ini dapat menambah pengetahuan peneliti mengenai pengaruh keterlambatan waktu aktivasi sistem *sprinkler* otomatis terhadap penyebaran api dan pemadamannya.
3. Sebagai bahan masukan pada gedung tersebut mengenai potensi bahaya kebakaran yang dapat terjadi, sehingga dapat diantisipasi dengan baik.
4. Penelitian ini dapat diterapkan untuk perbaikan sistem proteksi kebakaran yaitu pada penggunaan sistem *sprinkler* otomatis pada gedung tinggi khususnya yang berada wilayah Jakarta Timur.
5. Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana Pendidikan Teknik Mesin.

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1. Definisi Api dan Kebakaran

Ketika Anda melihat api muncul dari korek api yang menyala, maka apa yang anda lihat itu bukan sebuah objek atau benda, tetapi hal itu merupakan sebuah proses dari reaksi kimia. Reaksi kimia yang serupa terjadi ketika potongan apel yang tersisa di meja berubah warna menjadi coklat, dan ketika paku besi berkarat. Proses tersebut merupakan proses oksidasi yaitu reaksi pencampuran oksigen dengan zat lain. Api adalah " sebuah proses oksidasi cepat, yang merupakan reaksi kimia serta mengakibatkan evolusi cahaya dan panas di berbagai intensitas." (NFPA 921)

Api ialah suatu proses pembakaran yang mengakibatkan terjadinya reaksi kimia kompleks dari bahan bakar, udara dan panas. Sedangkan pembakaran merupakan reaksi kimia dari bahan bakar dan bahan pengoksidasi, yang mengakibatkan pelepasan energi panas yang besar. (Mastorakos, 2003). Kebakaran adalah suatu fenomena yang terjadi ketika suatu bahan mencapai temperatur kritis dan bereaksi secara kimia dengan oksigen yang menghasilkan panas, nyala api, cahaya, asap, uap air, karbon monoksida, karbon dioksida, atau produk dan efek lainnya. (SNI 03-3985-2000).

2.2 Teori Terjadinya Api

Api tidak dapat terjadi tanpa ada nya faktor atau unsur penyebabnya, serta unsur tersebut harus mencapai konsentrasi tertentu sehingga api dapat terjadi. Unsur tersebut diantaranya.

A. Bahan Bakar (*Fuel*)

Bahan Bakar merupakan semua zat atau bahan yang dapat melepaskan energi pada saat teroksidasi atau terbakar. Bahan yang mudah terbakar perambatan panasnya lebih cepat dan lebih sulit dalam penanggulangan kebakarannya. Dalam keadaan yang normal bahan bakar dapat berbentuk padat, cair dan gas. Bahan bakar dalam bentuk padat dan gas harus berubah bentuk menjadi fase gas karena api adalah fenomena dalam bentuk fase gas. Pada bahan bakar cair perubahan bentuk menjadi fase gas dilakukan dengan cara penguapan yaitu hasil dari pendidihan pada permukaan bahan bakar cair. Jadi pada saat terbakar yang terbakar adalah uap atau vapor dari bahan bakar cair. Sedangkan pada bahan bakar padat perubahan menjadi fase gas dengan cara pirolisis yaitu dekomposisi kimia melalui proses pemanasan dengan atau tanpa oksigen kemudian mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Proses ini terjadi pada saat mencapai temperatur tertentu pada permukaan bahan bakar padat.

B. Oksigen atau Bahan Pengoksidasi (*Oxidizing Agent*)

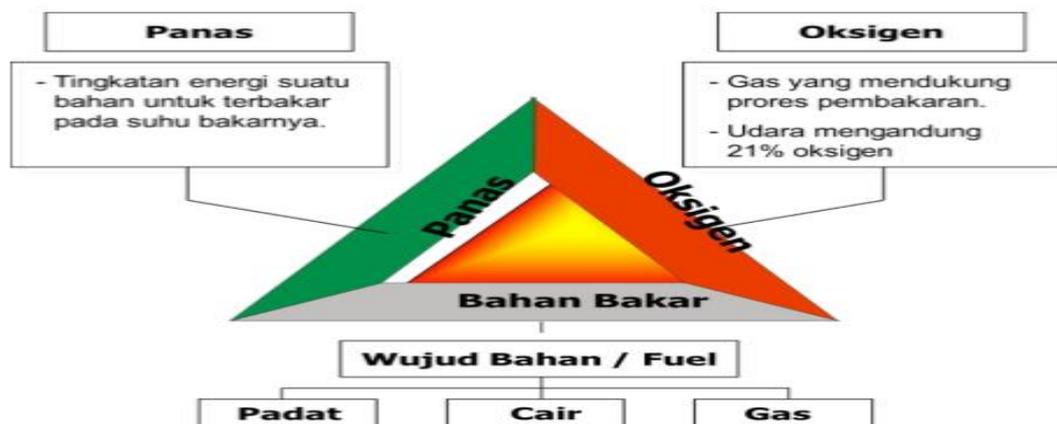
Oxidizer merupakan zat yang mengandung atau menghasilkan oksigen dan bereaksi dengan bahan bakar pada proses pembakaran. *oxidizer* ini tidak dapat terbakar tetapi mendukung terjadinya kebakaran, apabila bertemu dengan bahan bakar. Oksigen alami terkandung dalam udara bebas. Udara terdiri dari 21 % Oksigen, 79 % Nitrogen dan 1 % gas-gas lainnya. Umumnya api membutuhkan 15 – 21 % oksigen untuk menyala dan terbakar (Soedirman, 2014: 32). Bahan atau Zat *Oxidizer* selain udara antara lain : *Bromate, Bromine, Chlorate, Chlorine, Fluorine, Iodine, Nitrate, Nitric Acid, Nitrite Perchlorate, Peroxide, Permanganat.*

C. Panas (*Heat*)

Panas merupakan bentuk energi yang muncul karena gerakan -gerakan molekul bahan bakar, semakin cepat gerakan antara molekulnya maka semakin tinggi temperatur bahan bakar. Terdapat empat sumber panas yaitu energi kimia adalah panas yang terjadi akibat proses kimia berupa proses oksidasi, energi listrik berupa listrik statis serta kebocoran arus listrik, energi mekanik berupa panas akibat gesekan benda, percikan dan panas tekanan pada gas serta energi nuklir berupa panas fisi atau fusi akibat pemisahan atau penggabungan inti atom –atom bahan radio aktif.

2.2.1 Segi Tiga Api (*Triangle of Fire*)

Agar dapat terjadi api dibutuhkan 3 (tiga) unsur yaitu bahan bakar (*fuel*), udara (oksigen) dan sumber panas. Apabila ketiga unsur tersebut berada dalam suatu konsentrasi yang memenuhi syarat, maka terjadilah reaksi oksidasi atau dikenal sebagai proses pembakaran (Siswoyo, 2007; IFSTA, 1993).



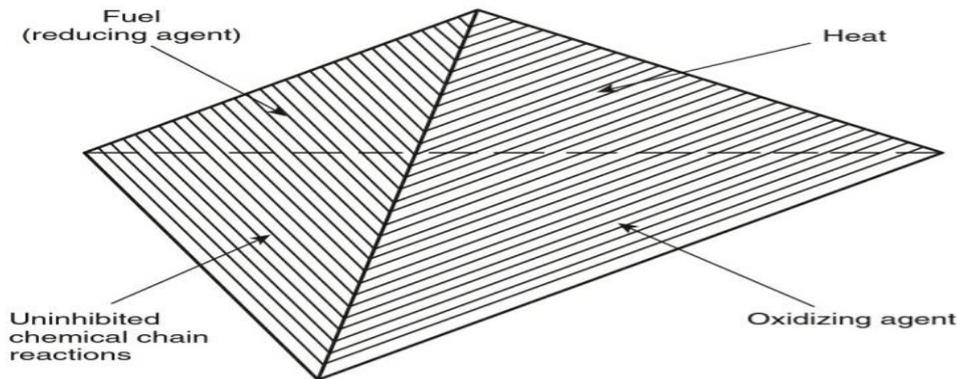
Gambar 2.1 Segi Tiga Api (*Triangle of Fire* : S. Ramli,2010)

Dari teori segitiga api tersebut dapat diketahui bahwa jika terdapat tiga unsur yaitu bahan bakar, udara dan sumber panas berkumpul, maka akan terjadi penyalaan

atau api. Teori ini digunakan sebagai dasar pencegahan dan penanggulangan kebakaran yaitu dengan menghilangkan salah satu unsur agar api kebakaran dapat dikendalikan atau dipadamkan.

2.2.2 Empat Bidang Api (*Tetrahedron of Fire*)

Teori empat bidang api atau teori rantai reaksi api adalah pengembangan dari teori segitiga api. Dalam proses pembakaran diperlukan elemen keempat yaitu rantai reaksi kimia, untuk mendukung proses pembakaran serta mempengaruhi bertambah besarnya api. (Haessler, tahun 1962). Rantai reaksi kimia yang terjadi antara sumber panas, oksigen dan bahan bakar, bereaksi secara kimiawi sehingga yang dihasilkan bukan hanya pijar tetapi berupa nyala api atau peristiwa pembakaran. (P Napitupulu & B Dulbert, 2015)



Gambar 2.2 Empat Bidang Api (*Tetrahedron of Fire* : NFPA 921,2004)

Teori empat bidang api menginformasikan bahwa saat terjadi api, api membutuhkan tambahan bahan bakar dan oksigen yang ada pada lingkungan sekitarnya agar api dapat berlangsung lama dan api membesar, tanpa adanya rantai reaksi kimia api yang terjadi tidak akan berlangsung lama dan akan padam dengan sendirinya. Teori ini dipakai sebagai dasar pemadaman api menggunakan Alat

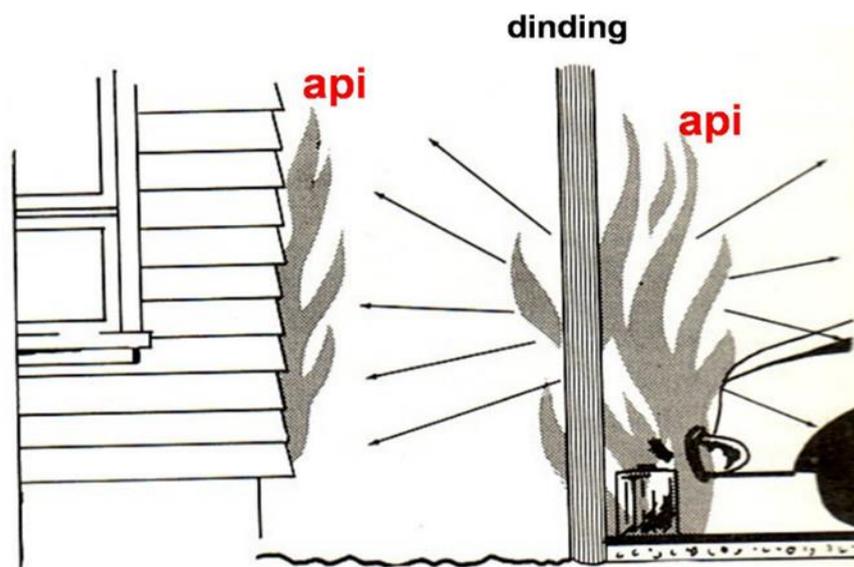
Pemadam Api Ringan (APAR) yang di dalamnya terdapat chemical powder dan nitrogen yang berfungsi untuk memutuskan rantai reaksi antara udara dan sumber api.

2.2.3 Penyebaran panas (*fire spread*)

Api yang menyebabkan bencana kebakaran pada mulanya berasal dari api yang kecil kemudian membesar karena adanya perpindahan panas yang menyebar ke sekeliling daerah yang terbakar, menyebabkan benda atau barang yang mudah terbakar ikut terbakar contohnya kayu, kain, kertas dan lainnya. Perpindahan panas dapat terjadi dengan cara radiasi, konduksi dan konveksi.

A. Radiasi

Penyebaran panas dengan cara radiasi menggunakan media yang berupa pancaran cahaya dan melalui transmisi gelombang elektromagnetik yang berasal dari api. contoh radiasi panas yaitu matahari yang menyinari permukaan bumi sehingga panasnya terasa menyengat pada kulit.

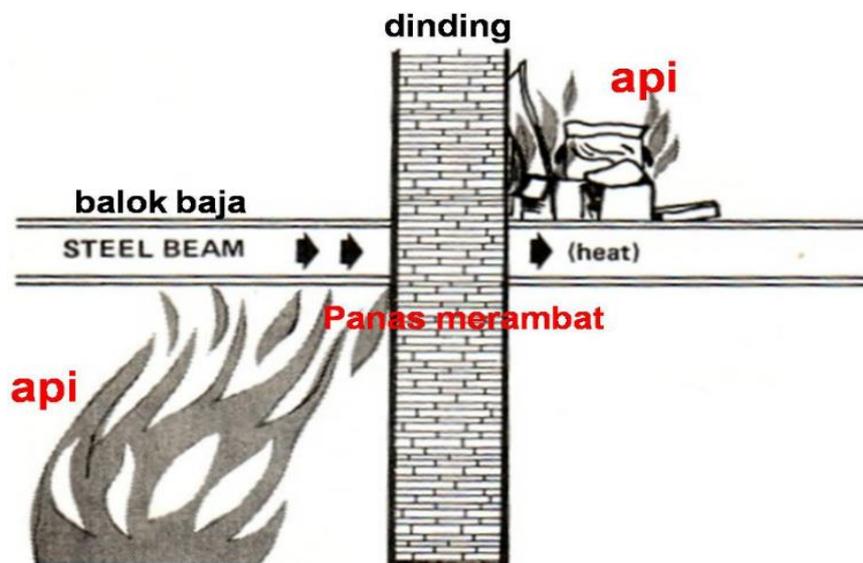


Gambar 2.3 Radiasi panas kebakaran (Slide materi bahan ajar Heny Triasbudi, IR., MSC, 2016)

Radiasi dapat menyebabkan perpindahan panas (*heat transfer*) dari suatu bangunan yang terbakar sehingga kebakaran dapat menyebar ke bangunan lain yang berada di sekitarnya walaupun jaraknya cukup jauh.

B. Konduksi

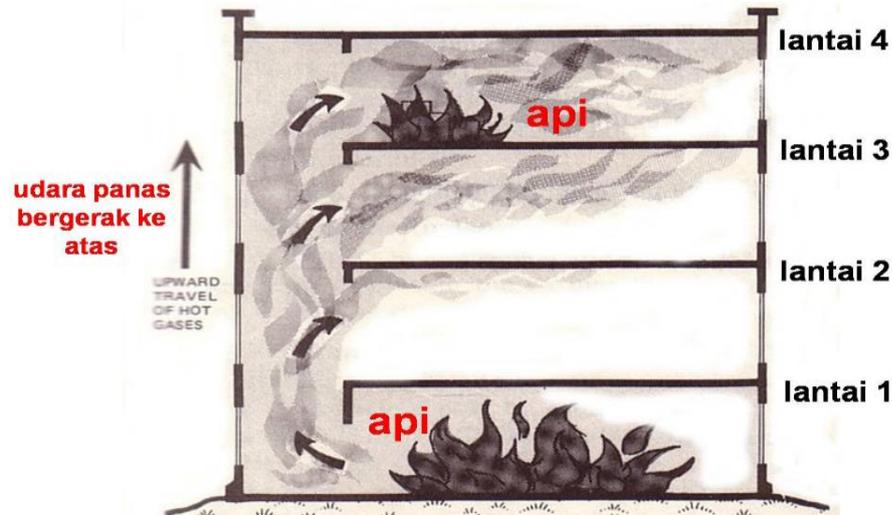
Penyebaran panas dengan cara konduksi menggunakan media benda padat seperti pipa besi, dinding, beton, kayu, dan lainnya. Ketika terjadi kebakaran di dalam ruangan maka panas yang dihasilkan akan menyebar dengan cepat melalui dinding ke ruangan yang berada di sekitarnya.



Gambar 2.4 Konduksi panas Kebakaran (Slide materi bahan ajar Heny Triasbudi, IR., MSC, 2016)

C. Konveksi

Penyebaran panas dengan cara konveksi menggunakan media fluida yaitu angin, udara, gas, cairan, dan asap. Kebakaran yang terjadi pada lantai satu sebuah gedung bertingkat akan menyebar ke lantai yang berada di atasnya karena panas akibat kebakaran akan menyebar melalui udara panas dan asap kebakaran. Udara panas dan asap kebakaran cenderung bergerak ke atas karena berat jenisnya lebih ringan dari pada udara bersuhu normal atau rendah.



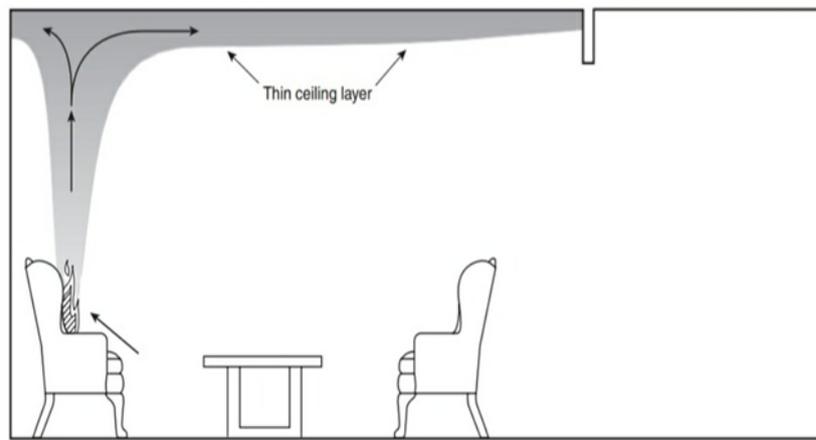
Gambar 2.5 Konveksi panas kebakaran (Slide materi bahan ajar Heny Triasbudi, IR., MSC, 2016)

2.2.4 Tahapan kebakaran di dalam ruangan

Perilaku api kebakaran pada tahapan *pre flashover* sangat penting dalam mendesain keselamatan gedung dalam menghadapi kebakaran. Menurut Buchanan (2002: 57) kebakaran dalam sebuah ruangan terjadi dengan tiga tahapan yaitu pre flashover fires, flashover dan post flashover.

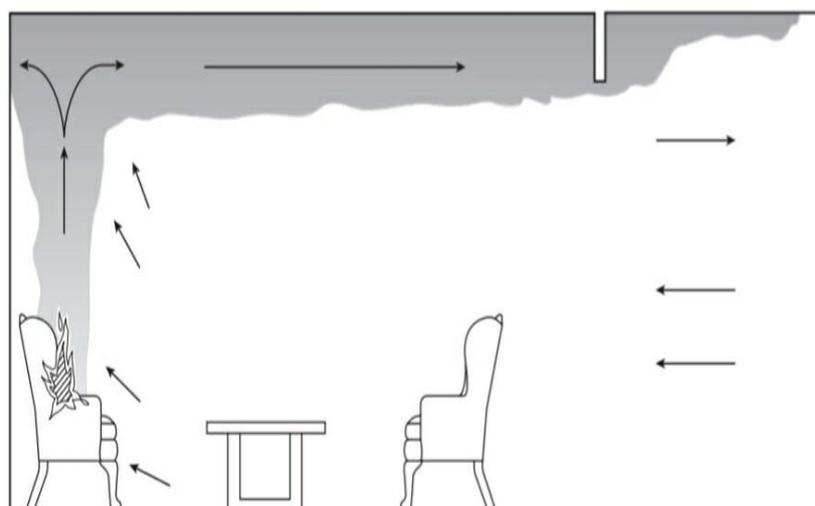
A. Pre Flashover Fires

Api kebakaran muncul dari material yang terbakar, reaksi kebakaran yang terjadi membutuhkan suplay oksigen yang pada awalnya diperoleh dari udara yang berada di dalam ruangan, karena jumlah oksigen yang ada terbatas maka kekurangan oksigen diambil dari luar ruangan melalui bukaan yaitu pintu dan jendela di sekitar ruangan. Energi panas yang dihasilkan oleh kebakaran akan menarik udara dingin dari luar ruangan ke dalam bunga api (*fire plume*) dan mendorong produk kebakaran ke luar melalui bagian atas pintu. Bunga api (*fire plume*) melepaskan panas, gas dan partikel asap ke atas ruangan sehingga membentur langit-langit yang pada akhirnya membentuk lapisan atas panas.



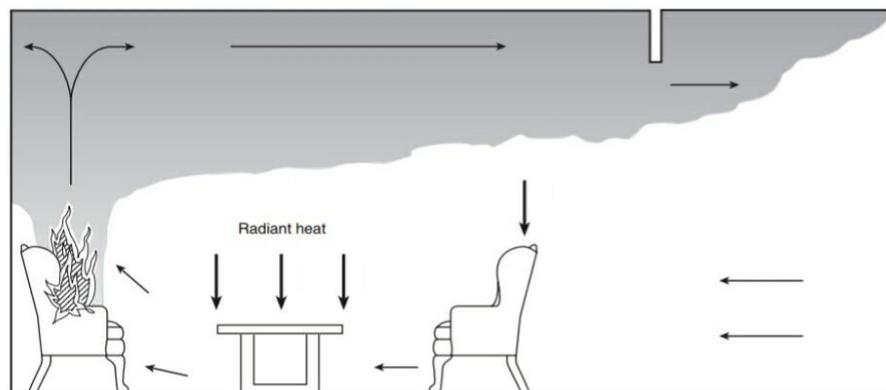
Gambar 2.6 api awal pada kebakaran di dalam ruangan (NFPA 921,2004)

Ketebalan dan temperatur lapisan atas panas akan semakin bertambah sesuai dengan pertumbuhan api kebakaran. Temperature Lapisan bawah yang dingin akan semakin bertambah suhunya karena dipanasi oleh percampuran dan radiasi panas dari lapisan atas panas dan sumber api kebakaran. Temperatur ruangan akan turun jika ventilasinya terbatas, karena dapat menghambat suplay oksigen dari luar ruangan. Pada saat fire plume mencapai langit-langit terjadi aliran gas panas secara radial yang disebut ceiling jet. Arah ceiling jet tergantung dari bentuk permukaan langit-langit.



Gambar 2.7 Aliran gas dan udara panas secara radial (NFPA 921,2004)

Volume asap dan gas panas pada lapisan atas panas semakin menebal, sehingga partikel asap dan gas hasil kebakaran mengalir keluar melalui bagian atas pintu. Tebal lapisan panas atas tergantung dari ukuran, durasi kebakaran dan ukuran pintu atau jendela. Bahan pelapis dinding, lantai dan langit-langit secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan api.

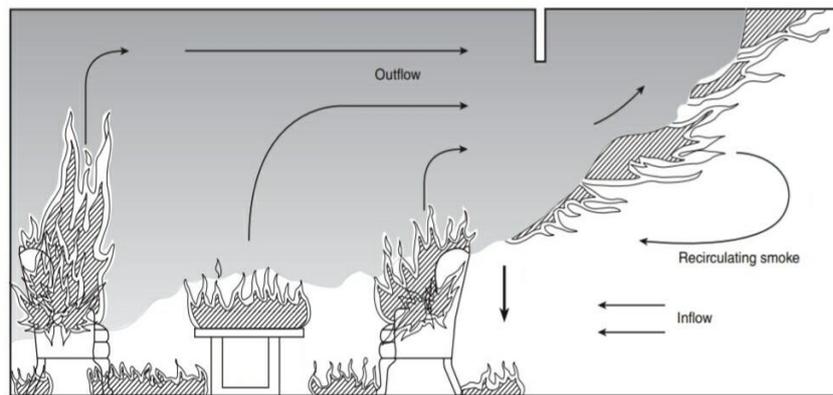


Gambar 2.8 Kondisi ruangan sebelum *Flashover* (NFPA 921,2004)

Pada tahapan ini kebakaran yang terjadi tidak diketahui karena api yang ditimbulkan masih kecil dan temperatur nya tidak lebih dari 250°C , tidak ada yang dapat mengetahui terjadinya kebakaran pada tahap ini, hanya sistem deteksi alarm kebakaran yang dapat menginformasikan adanya kebakaran.

B. *Flashover Fire*

Tahapan kebakaran transisi antara *pre flashover* dengan *post flashover* disebut *flashover*. *Flashover* tidak mungkin terjadi pada lingkungan udara terbuka, hanya terjadi dalam ruangan. *Flashover* akan terjadi bila panas dari kebakaran mencapai nilai kritis yang terkait dengan ukuran dari bukaan ventilasi (pintu, jendela). Meningkatnya temperatur ruangan pada lapisan atas panas yang mencapai 250°C dan panas radiasi akan semakin tinggi menyebar ke seluruh benda yang ada dalam ruangan.

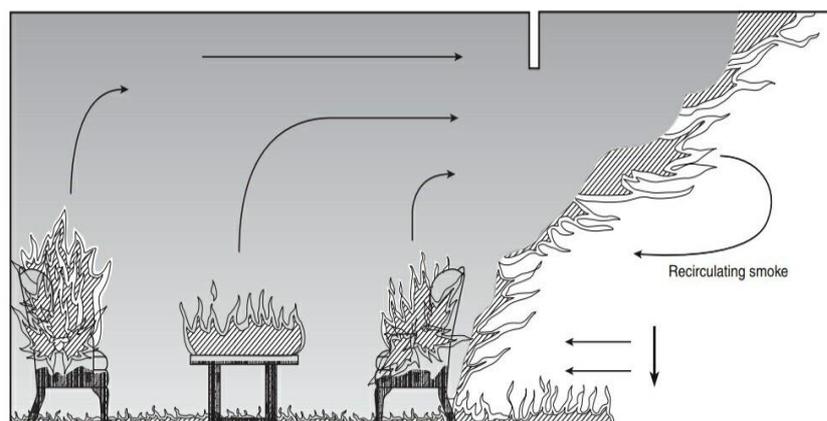


Gambar 2.9 kondisi ruangan pada saat *flashover* (NFPA 921,2004)

Pada level kritis panas radiasi, seluruh benda yang dapat terbakar dalam ruangan akan terbakar, kemudian meningkat dengan cepat laju pelepasan panas dan temperatur meningkat hingga 600°C. Temperatur ruangan makin meningkat tinggi (*fully developed fire*) sekitar 1.000°C sehingga tercapai keadaan mantap.

C. *Post flashover*

Setelah tahapan *flashover*, perilaku api berubah secara drastis. Aliran udara dan gas hasil kebakaran menjadi sangat turbulen. Temperatur ruangan yang sangat tinggi dan radiasi panas dalam ruangan menyebabkan seluruh permukaan benda padat yang dapat terbakar mengeluarkan sejumlah besar gas yang dapat terbakar serta masih terdapat oksigen yang cukup.



Gambar 2.10 kondisi ruangan setelah *flashover* (NFPA 921,2004)

Kebakaran *post flashover* dikendalikan oleh ventilasi yang terdapat di sekitar ruangan, laju pembakaran tergantung pada ukuran dan bentuk bukaan ventilasi yang dibatasi oleh udara dingin yang masuk dan udara panas yang keluar dari ruangan. Tanpa adanya suplai oksigen yang masuk material yang terbakar akan padam dengan sendirinya.

2.3 Prinsip Pemadaman Kebakaran

Pada saat terjadi kebakaran sumber api harus segera dipadamkan agar kebakaran yang terjadi tidak meluas dan meminimalisir kerugian yang ditimbulkan. Untuk sebagian orang penanggulangan kebakaran sulit dilakukan karena keadaan panik, takut tersengat api serta kurang mengerti teknik yang baik dalam pemadaman kebakaran. Menurut Ramli S (2010), dalam penanggulangan kebakaran dapat menggunakan beberapa teknik diantaranya

A. Pemadaman Kebakaran dengan Pendinginan (*cooling*)

Memadamkan api kebakaran yang terjadi dengan mengurangi temperatur bahan bakar atau nyala serta uap atau gas yang terbakar sampai di bawah temperature nyalanya. Seperti yang dilakukan petugas pemadam kebakaran dengan menyemprotkan air ke titik api kebakaran sehingga api padam. Air yang disemprotkan ke sumber api akan mendinginkan udara sekitar api. Panas api kebakaran akan diserap air dan uap air yang mendinginkan api.

B. Pemadaman Kebakaran dengan membatasi suplai oksigen (*smothering*)

Api kebakaran yang terjadi membutuhkan oksigen yang cukup, contohnya kayu akan terbakar apabila kadar oksigen 4-5%, acetylene membutuhkan oksigen di bawah 5%, sedangkan gas dan uap hidrokarbon tidak terbakar apabila kadar

oksigen di bawah 15%. Kebakaran akan padam dengan menghilangkan atau mengurangi suplai oksigen sebagai contoh pemadaman api kebakaran dengan menggunakan Alat Pemadam Api Ringan APAR yang berisi serbuk kimia kering, ketika disemprotkan serbuk akan menghalangi atau membatasi suplay oksigen yang masuk ke dalam sumber api maka api akan padam.

C. Pemadaman Kebakaran dengan Memisahkan bahan bakar dari nyala api (*starvation*)

Api kebakaran yang terjadi akan padam dengan sendirinya jika bahan yang terbakar (*fuel*) telah habis. Oleh karena itu, api akan padam jika bahan bakar yang telah terbakar atau belum terbakar dihilangkan atau dikurangi. Sebagai contoh membatasi api kebakaran dengan menyemprotkan busa ke sekeliling bahan bakar yang belum terbakar dengan busa sehingga suplai bahan bakar untuk kelangsungan kebakaran terhenti atau berkurang sehingga api akan padam. Teknik ini juga dapat dilakukan dengan menjauhkan bahan yang terbakar ke tempat yang aman.

D. Pemadaman Kebakaran dengan Memutuskan rantai reaksi kebakaran

Cara terakhir untuk memadamkan api kebakaran dengan mencegah terjadinya reaksi berantai dalam proses pembakaran. Beberapa zat kimia mempunyai sifat memecah sehingga terjadi reaksi berantai oleh atom – atom yang dibutuhkan oleh nyala api untuk tetap terbakar. Dengan tidak terjadinya reaksi atom ini, maka nyala api akan padam. $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + E$

2.4 Klasifikasi Kelas kebakaran

Pengklasifikasian kelas kebakaran digunakan untuk menentukan jenis media pemadaman kebakaran yang paling efektif pada saat memadamkan api kebakaran,

berdasarkan bahan yang terbakar. Menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), kebakaran memiliki beberapa kelas menurut jenis material yang terbakar.

- A. Kebakaran Kelas A merupakan kebakaran yang terjadi pada bahan bakar padat, diantaranya: kain, kapuk, kertas, kayu, plastik, karet, dan lainnya. Media yang digunakan untuk pemadamannya adalah air, foam atau busa, karung goni atau handuk yang telah basah, dan Alat Pemadam Api Ringan (APAR).
- B. Kebakaran Kelas B merupakan kebakaran yang terjadi pada bahan bakar cair, seperti: avtur, bensin, solar, spirtus, minyak tanah. Media pemadamannya yang paling efektif adalah Alat Pemadam Api Ringan (APAR) jenis powder maupun foam atau busa. Jangan menggunakan air untuk memadamkan api kebakarannya karena berat jenis air lebih berat dari pada berat jenis bahan bakar cair sehingga air akan turun ke bawah permukaan bahan bakar cair yang mengakibatkan kebakaran akan semakin membesar.
- C. Kebakaran Kelas C merupakan kebakaran yang terjadi pada peralatan atau benda yang masih beraliran listrik. Seperti kebakaran pada panel listrik, kabel listrik, dan peralatan listrik lainnya. Media pemadamannya menggunakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR). Tidak disarankan menggunakan air, foam atau busa serta media cair lainnya untuk memadamkan api kebakaran, karena media tersebut sangat baik untuk menghantarkan arus listrik yang akan mengakibatkan tersengat arus listrik.
- D. Kebakaran Kelas D merupakan kebakaran yang terjadi pada material logam atau bahan yang mengandung metal diantaranya: uranium, potassium, serbuk zodium, magnesium, titanium, alumunium dan lainnya. Media pemadamannya menggunakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) jenis khusus. Pada kebakaran

logam, logam yang terbakar akan menghasilkan oksigen sehingga tidak membutuhkan oksigen dari udara pada lingkungan sekitarnya. Sehingga tidak semua jenis APAR dapat memadamkan api kelas D.

- E. Kebakaran Kelas K merupakan kebakaran yang terjadi pada minyak goreng bekas atau lemak sisa hasil memasak yang ada di dapur. Kebakaran Kelas K termasuk bagian dari Kebakaran Kelas B akan tetapi karakteristik kebakarannya sedikit berbeda untuk itu perlu perlakuan khusus untuk pemadamannya. Media pemadamannya menggunakan Alat Pemadam Api Ringan (APAR).

2.5 Klasifikasi sifat hunian.

Menurut SNI 03 3989 2000, klasifikasi sifat hunian adalah klasifikasi tingkat risiko bahaya kebakaran berdasarkan struktur dari bahan bangunan, banyaknya bahan yang tersimpan, serta sifat mudah terbakarnya bahan atau barang yang ada di dalam gedung , juga ditentukan oleh jumlah dan sifat penghuninya.

- I. Karakteristik hunian dengan bahaya kebakaran ringan merupakan jenis hunian yang mempunyai jumlah serta kemudahan terbakar rendah dan jika terjadi bencana kebakaran melepaskan atau perpindahan panasnya rendah, sehingga perambatan api kebakarannya lambat. Bangunan yang memiliki sifat hunian dengan bahaya kebakaran ringan diantaranya : perumahan, perkantoran, tempat pendidikan dan lainnya.
- II. Karakteristik hunian dengan bahaya kebakaran sedang tingkat I merupakan jenis hunian yang mempunyai jumlah dan kemudahan terbakar sedang, penempatan bahan yang mudah terbakar dengan tinggi tidak lebih dari 2,5 m dan apabila terjadi bencana kebakaran melepaskan energi panasnya

sedang, sehingga perambatan api kebakarannya sedang. Bangunan yang memiliki sifat hunian dengan bahaya kebakaran sedang tingkat I diantaranya: tempat penjualan dan penampungan susu, pabrik kaca atau cermin, tempat pembuatan perhiasan dan lainnya.

- III. Karakteristik hunian dengan bahaya kebakaran sedang tingkat II merupakan jenis hunian yang mempunyai jumlah dan kemudahan terbakar sedang, penempatan bahan yang mudah terbakar dengan tinggi tidak lebih dari 4 m dan apabila terjadi bencana kebakaran melepaskan energi panas sedang, sehingga perambatan api kebakarannya sedang. Bangunan yang memiliki sifat hunian dengan bahaya kebakaran sedang tingkat II diantaranya: pabrik permen, pabrik destilasi, pabrik roti dan lainnya.
- IV. Karakteristik hunian dengan bahaya kebakaran sedang tingkat III merupakan jenis hunian yang mempunyai jumlah dan kemudahan terbakar cukup tinggi dan apabila terjadi kebakaran melepaskan energi panas cukup tinggi, sehingga perambatan api kebakarannya cukup cepat. Bangunan yang memiliki sifat hunian dengan bahaya kebakaran sedang tingkat III diantaranya: pabrik peleburan metal, pabrik karung dan lainnya.
- V. Karakteristik hunian dengan bahaya kebakaran berat merupakan jenis hunian yang mempunyai jumlah dan kemudahan terbakar yang lebih tinggi dan apabila terjadi kebakaran melepaskan energi panas yang lebih tinggi, penyimpanan cairan yang mudah terbakar, sampah, serat, atau bahan lain yang apabila terbakar apinya cepat menjadi besar dengan melepaskan panas lebih tinggi sehingga perambatan api kebakarannya lebih cepat. Bangunan yang memiliki sifat hunian dengan bahaya kebakaran berat diantaranya:

hangar pesawat terbang, pabrik foam dan karet, pabrik yang menggunakan bahan baku yang mempunyai titik nyala 37,9°C (100°F) dan lainnya.

- VI. Karakteristik hunian khusus merupakan jenis hunian yang mempunyai jumlah dan kemudahan terbakar yang sangat tinggi dan apabila terjadi kebakaran melepaskan energi panas yang sangat tinggi, untuk hunian khusus seperti penyimpanan atau tempat dimana penggunaan cairan yang mempunyai kemudahan terbakar sangat tinggi dapat digunakan sistem pancaran serentak. Bangunan yang memiliki sifat hunian khusus diantaranya: pabrik selulosa nitrat, pabrik yang menggunakan dan atau menyimpan bahan berbahaya dengan penjalaran api yang sangat cepat. Karena keadaan yang menguntungkan, beberapa macam hunian dapat memperoleh keringanan satu kelas lebih rendah dengan persetujuan instansi yang berwenang.

2.6 Sistem *Sprinkler* otomatis

Sprinkler adalah alat pemancar air untuk pemadaman kebakaran yang memiliki tudung berbentuk deflektor pada ujung mulut pancarannya, sehingga air dapat menyebar ke semua arah secara merata (Soewarno, 2011). *Sprinkler* otomatis adalah sebuah peralatan atau prangkat kontrol untuk pemadaman kebakaran yang terjadi di dalam gedung yang beroperasi secara otomatis ketika elemen panas atau bulb pecah karena panas dari api kebakaran sehingga air keluar dari kepala sprinkler (NFPA 13). *Sprinkler* adalah alat pemancar air untuk pemadaman kebakaran yang mempunyai tudung berbentuk deflektor pada mulut pancarnya, sehingga dapat memancar ke semua arah secara merata (PERMENPU No : 26/PRT/M/2008).

Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa Sistem sprinkler otomatis merupakan sebuah sistem yang bekerja dengan cara otomatis, yang memancarkan air bertekanan dari sistem pasokan air ke segala arah melalui kepala sprinkler untuk memadamkan api kebakaran yang terjadi atau mencegah meluasnya kebakaran. Kepala *sprinkler* mempunyai tudung berbentuk deflector pada ujung mulut pancaran nya, sehingga air dapat memancar kesemua arah secara merata. Instalasi sprinkler pada umumnya dipasang secara tetap atau permanen di dalam suatu bangunan yang dapat memadamkan kebakaran secara otomatis dengan menyembrotkan air pada sumber api atau tempat awal terjadinya kebakaran.

Berdasarkan staistik dari penelitian yang dilakukan di Australia dan New Zealand pada tahun 1886 sampai tahun 1986. Statistik tersebut menunjukkan bahwa kebakaran yang berhasil dipadamkan dengan menggunakan satu kepala *sprinkler* sebesar 65%, dengan menggunakan 1 sampai 5 kepala *sprinkler* sebesar 92%, dengan menggunakan 1 sampai 10 kepala *sprinkler* sebesar 96,3% dan hanya 3,7 % menggunakan lebih dari 10 kepala *sprinkler* untuk memadamkan api kebakaran. Menurut jurnal *National Fire Protection Association* (NFPA), sebagian besar peristiwa kebakaran yang terjadi dapat dipadamkan oleh Sistem *Sprinkler* otomatis sebelum petugas pemadam kebakaran datang ke lokasi kebakaran.

2.6.1 Prinsip kerja Sistem *Sprinkler* Otomatis

Dengan menggunakan teori kebakaran dalam ruangan tertutup dari buku ‘SFPE /*Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd Edition, 2002’ dapat diketahui prinsip kerja sistem *sprinkler* otomatis. Kebakaran yang terjadi pada ruangan tertutup di lantai ruangan akan mengakibatkan asap dan udara panas di dalam

ruangan mengapung ke atas karena berat jenisnya lebih ringan dari pada udara normal proses ini disebut *plume*. Pada saat *plume* membentur ke langit-langit ruangan, akan membuat aliran udara panas bergerak secara radial pada atau dekat dengan langit-langit ruangan. Aliran udara panas yang terjadi disebut *ceiling jet*. Proses ini terjadi dengan ketebalan maksimum asap 30 cm dari langit-langit ruangan.

Pada saat *ceiling jet* menyentuh kepala *sprinkler* kemudian terjadi perpindahan kalor dengan cara konvektif dari *ceiling jet* mengarah ke elemen sensor panas pada kepala *sprinkler* (*fusible link* atau *glass bulb*) yang menyebabkan temperaturnya meningkat dengan cepat melebihi temperatur ruangan. Elemen sensor panas pada *sprinkler* memiliki temperatur kerja nominal yang berbeda – beda mulai dari 57°C sampai 343°C, ditentukan sesuai Karakteristik hunian dengan tingkat bahaya kebakarannya.

Kemudian elemen sensor panas pada kepala *sprinkler* akan bereaksi karena telah mencapai temperatur kerja, dengan pecahnya *fusible link* atau *glass bulb* yang akan mengakibatkan keluarnya pancaran air dari kepala *sprinkler* yang dapat memadamkan api kebakaran.

2.6.2 Kegagalan dalam Sistem *Sprinkler* otomatis

Agar Sistem *Sprinkler* otomatis dapat berfungsi dengan maksimal pada saat terjadi kebakaran di dalam gedung, sistem harus selalu dilakukan perawatan dan perbaikan secara berkala. Berdasarkan penelusuran laporan peristiwa kebakaran oleh Pusat Penelitian Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Departemen

Pemukiman Prasarana Wilayah terdapat beberapa faktor penyebab kegagalan sistem *sprinkler* otomatis pada saat beroperasi diantaranya :

1. Kesalahan pada penggunaan fungsi bangunan terhadap rancangan Sistem *Sprinkler* otomatis

Desain atau perancangan Sistem *sprinkler* harus sesuai dengan Karakteristik hunian dan tingkat resiko bahaya kebakaran bangunannya. Sebagai contoh, bangunan untuk perkantoran atau tempat pendidikan yang merupakan hunian dengan bahaya kebakaran ringan tidak boleh digunakan atau beralih fungsinya sebagai tempat penyimpanan atau gudang. Karena gudang termasuk ke dalam klasifikasi hunian dengan bahaya kebakaran berat yang jarak antara kepala *sprinkler* nya lebih rapat. Apabila salah satu ruangan yang berfungsi sebagai ruang kelas kemudian digunakan sebagai gudang atau tempat penyimpanan bahan yang mudah terbakar, kemudian terjadi kebakaran maka sistem *sprinkler* otomatis tidak dapat efektif memadamkan api.

2. Tidak ada jadwal pemeriksaan secara berkala dan perbaikan Sistem *Sprinkler* otomatis

Pemeriksaan serta perbaikan pada instalasi sistem *sprinkler* otomatis harus selalu dilaksanakan secara berkala minimal satu tahun sekali, sesuai dengan standar (NFPA 25), agar terhindar dari kegagalan pada saat sistem beroperasi apabila terjadi peristiwa kebakaran.

3. Perubahan fisik dan fungsi dari bangunan

Pada awal pembangunan gedung sistem *sprinkler* otomatis sudah di desain sesuai dengan peruntukan dan kebutuhannya, namun seiring berjalannya waktu terdapat penambahan dinding atau sekat pada ruangan yang tidak memperhitungkan

keamanan dari sistem proteksi kebakaran khususnya proteksi kebakaran aktif yaitu sistem sprinkler sehingga menutupi atau menghalangi pancaran air dari kepala sprinkler akibatnya, jika terjadi kebakaran di area tersebut api tidak dapat di padamkan dengan sistem sprinkler otomatis.

4. Kesalahan dalam pengoperasian

Sistem sprinkler otomatis harus selalu dalam keadaan siap, setiap saat 1 x 24 jam penuh dan bekerja secara otomatis karena bahaya kebakaran mengancam setiap saat. Namun pada kenyataannya di beberapa bangunan sistem sprinkler otomatis tidak diaktifkan secara otomatis dan tidak standby. Akibatnya pada saat terjadi kebakaran seseorang harus mengaktifkan secara manual pompa kebakaran yang ada di ruangan pompa kebakaran gedung yang jaraknya cukup jauh, serta membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengaktifkan pompa kebakaran kemudian mengaktifkan sistem sprinkler otomatis dan hydran gedung sedangkan api kebakaran yang terjadi membesar dengan sangat cepat. Sehingga sistem sprinkler otomatis tidak mampu lagi memadamkan api kebakaran yang terjadi.

5. Masa pakai peralatan telah habis

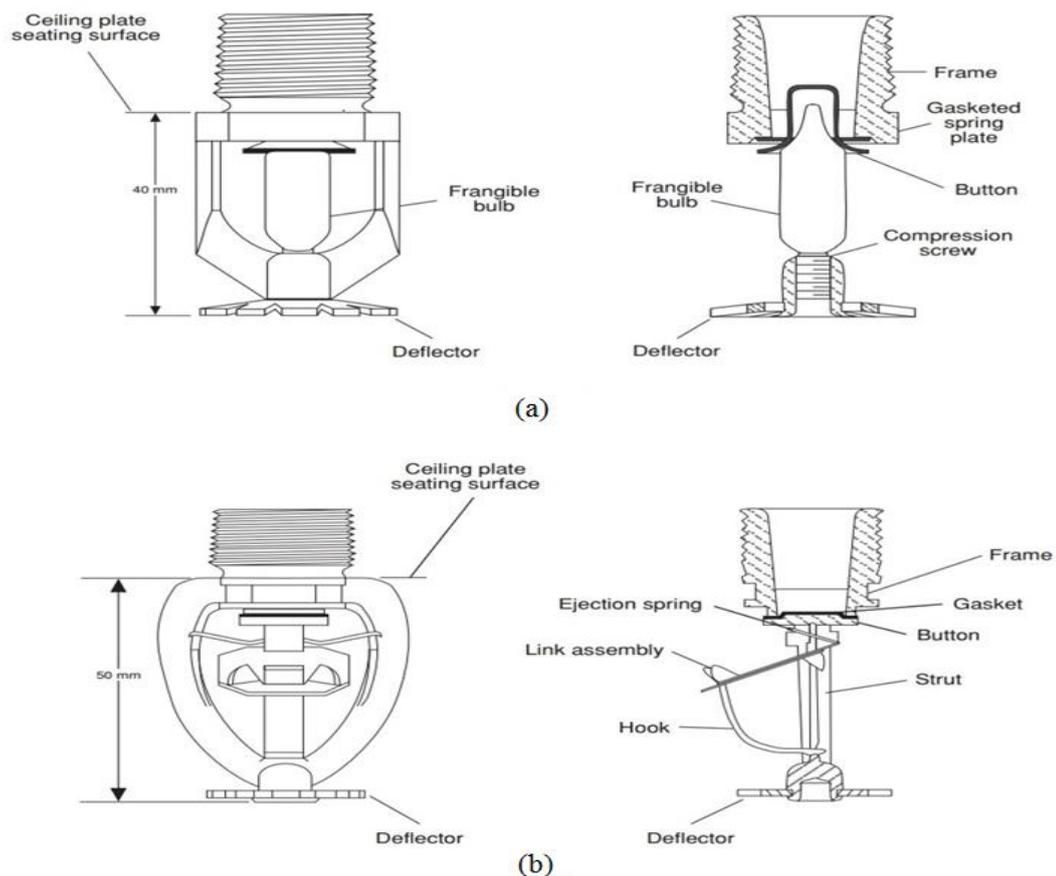
Terdapat beberapa peralatan sistem sprinkler otomatis yang memiliki masa pakai (Life Time) sehingga peralatan tersebut harus segera diganti atau diperbaiki.

2.6.3 Metode operasi kepala *sprinkler*

Kepala *Sprinkler* merupakan bagian dari sistem *sprinkler* otomatis yang dipasang pada ujung jaringan pemipaan. Apabila temperatur sekelilingnya

mencapai temperatur kerjanya karena api kebakaran yang terjadi elemen sensor kepala *sprinkler* akan pecah dan memancarkan air ke segala arah.

Menurut Buchanan (2001: 105) terdapat dua tipe dasar dari elemen sensor panas pada kepala *sprinkler* yaitu *glass bulb* dan *fusible link* seperti gambar 2.11. *Glass bulb* atau bola kaca adalah elemen sensor panas yang berupa bola kaca dan berisi cairan di dalamnya, ketika temperatur pada bola kaca meningkat cairan yang ada di dalam akan mengembang kemudian bola kaca akan pecah karena tekanan dari cairan yang mengembang kemudian *orifice* atau lubang pada kepala *sprinkler* akan terbuka dan air akan keluar. Deflektor pada kepala *sprinkler* akan memancarkan air ke segala arah.



Gambar 2.11 kepala *sprinkler* (a) tipe *glass bulb* dan (b) tipe *fusible link*

(Buchnan, 2001)

fusible link atau logam eutektik merupakan elemen sensor panas yang akan meleleh atau melengkung pada temperatur tertentu kemudian akan terlepas dari posisinya yang menutup orifice kepala sprinkler, akibatnya air akan keluar dan deflektor pada kepala sprinkler akan memancarkan air tersebut ke segala arah.

2.6.4 Tingkatan temperatur kerja *sprinkler*

Kepala sprinkler dirancang untuk beroperasi pada temperatur mulai dari 57°C sampai dengan 329°C. Temperatur kepala sprinkler harus di atas temperatur ruangan normal yaitu sebesar 30°C. Tingkatan temperatur kerja sprinkler adalah identifikasi kode warna untuk kepala sprinkler dengan tipe glass bulb dibedakan menurut warna cairan pada bola kaca sedangkan untuk tipe fusible link dibedakan menurut label warna pada frame.

Tabel 2.1 Tingkatan temperatur kerja sprinkler

Maximum Ceiling Temperature		Temperatue Rating		Temperature Classification	Color Coding	Glass Bulb Colors
°F	°C	°F	°C			
100	38	135-170	57-77	Ordinary	Uncolored or Black	Orange or Red
150	66	175-225	79-107	Intermediate	White	Yellow or Green
225	107	250-300	121-149	High	Blue	Blue
300	149	325-375	163-191	Extra High	Red	Purple
375	191	400-475	204-246	Very Extra	Green	Black
475	246	500-575	260-302	High	Orange	Black
625	329	650	343	Ultra High	Orange	Black

Sumber : NFPA 13

2.6.5 Jenis kepala *Sprinkler (Sprinkler Head)*

Kepala *sprinkler* berfungsi sebagai alat pemancar air yang aktif beroperasi karena pecahnya tabung kaca atau terlepasnya pengikat kawat pada *orifice* atau lubang kepala *sprinkler* yang disebabkan oleh panas dari api kebakaran. Menurut National Fire Protection Association NFPA 13 (2002), diacu dalam Soewarno (2011 IV-27) Jenis kepala *sprinkler* berdasarkan posisi pemasangannya yang umum dipakai pada instalasi sistem *sprinkler* otomatis pada gedung, antara lain :

Kepala *sprinkler* menghadap kebawah tipe *pendent* dan menghadap ke atas tipe *upright*

Kepala *sprinkler* tipe *pendent* dipasang menghadap kebawah pada langit-langit ruangan yang dipakai pada semua klasifikasi bahaya kebakaran dan konstruksi bangunan. Tipe ini pada umumnya dipakai pada instalasi *sprinkler* pada *Inside room* dengan *ceiling (plafond)* atau tanpa ruang *ceiling*. Sedangkan tipe *upright* dipasang menghadap keatas pada langit-langit. Tipe ini biasanya digunakan pada instalasi *sprinkler* di *Basement Parking*, dan di atas *ceiling*.

1. Kepala *sprinkler* tipe dinding (*sidewall* .)

Sprinkler dinding (*sidewall*) hanya dipasang pada gedung hunian dengan risiko bahaya kebakaran ringan dengan langit-langit yang halus dan datar. Tipe ini biasanya digunakan pada instalasi *sprinkler* pada Ruangan hotel.

2. Kepala *sprinkler* tipe *concealed*.

Kepala *sprinkler* dengan tipe *concealed* dipasang untuk ruangan bangunan yang mementingkan keindahan desain ruangan yang mewah sehingga kepala

sprinkler tidak terlihat. Tipe ini biasanya digunakan sebagai nilai estetika atau nilai keindahan desain ruangan.

3. Kepala *sprinkler* respon cepat

Kepala *sprinkler* respon cepat atau *Quick Response sprinkler* dapat digunakan untuk hunian dengan resiko bahaya tinggi dengan menggunakan metode rancangan luas densitas. Biasanya digunakan untuk pergudangan umum.

4. Kepala *sprinkler* dengan cakupan diperluas (*Extended Coverage sprinkler*)

Kepala *sprinkler* dengan cakupan diperluas digunakan terbatas untuk tipe konstruksi yang tidak terhalang, seperti pada langit-langit yang datar dan halus dengan kemiringan tidak melebihi 1:6.

5. Kepala *sprinkler* terbuka

Kepala *sprinkler* terbuka hanya boleh digunakan pada sistem banjir untuk memproteksi resiko bahaya kebakaran khusus atau yang terpapar (*exposure*) atau dalam lokasi khusus lainnya.

2.6.6 Instalasi sistem *sprinkler* otomatis

Instalasi *sprinkler* adalah suatu sistem instalasi pemadam kebakaran yang dipasang secara tetap atau permanen di dalam bangunan yang dapat memadamkan kebakaran secara otomatis dengan menyemprotkan air pada tempat awal terjadi kebakaran (SNI : 03-3989- 2000). Menurut Buchanan (2001: 108) terdapat beberapa jenis sistem *sprinkler* otomatis berdasarkan sistem Instalasi pemipanya.

I. Instalasi sistem *sprinkler* otomatis dengan tipe sistem pipa basah (*Wet Pipe System*).

Instalasi sistem *sprinkler* otomatis pada tipe ini, keseluruhan instalasi pemipaannya mulai dari sumber suplai air sampai dengan ke kepala *sprinkler* sudah terisi oleh air melalui katup kontrol (*Control valves*) secara efektif dapat memadamkan api kebakaran dengan sedikit keterlambatan. tipe sistem pipa basah dapat bekerja efektif selama suhu ambien atau temperatur lingkungannya tidak kurang dari 4°C atau melebihi 70°C secara terus menerus. Sistem pipa basah biasanya dipasang pada gedung atau hunian dimana tidak ada kemungkinan terjadinya air membeku dalam pipa. Sistem pipa harus dipasang pemanas atau sistem Anti beku apabila dipasang pada temperatur lingkungannya di bawah 4°C.

II. Instalasi sistem *sprinkler* otomatis dengan tipe sistem pipa kering (*Dry Pipe System*)

Instalasi pipa *sprinkler* tipe ini, memiliki pipa-pipa di atas katup kontrol yang berisi udara atau nitrogen yang bertekanan untuk mencegah masuknya air. Ketika kepala *sprinkler* pecah, udara yang bertekanan akan keluar dan secara otomatis katup kontrol terbuka kemudian air akan mengalir menuju ke sumber api kebakaran, ada penundaan singkat sebelum air mencapai titik api. Sistem pipa kering umumnya dipasang pada bangunan dengan kondisi temperatur lingkungan di bawah 4°C hingga air dapat membeku, seperti pada ruang pendingin atau temperatur yang dapat dijaga di atas 70° C, seperti oven pengering.

III. Instalasi sistem *sprinkler* otomatis dengan tipe sistem tindakan Awal (*Pre-Action System*)

Instalasi *sprinkler* dengan tipe sistem tindakan Awal mirip dengan sistem pipa kering (pipa yang berisi udara bertekanan) akan tetapi terdapat tambahan pipa *array* yang dilengkapi dengan alat pengindera kebakaran. Ketika detektor aktif, katup kontrol akan terbuka kemudian mengalirkan air masuk ke pipa sistem *sprinkler* utama. Kemudian Panas api kebakaran mengaktifkan kepala *sprinkler* untuk menyemburkan air ke sumber api. Detektor panas atau asap pada tipe ini akan bekerja terlebih dahulu dan membuka katub kontrol sehingga air mengalir ke pipa *sprinkler* sebelum *sprinkler* pertama bekerja. Tipe sistem tindakan Awal digunakan untuk memberikan keamanan yang lebih besar dari tipe instalasi *sprinkler* lainnya, apabila terdapat kerusakan mekanis pada kepala *sprinkler* alat pengindra kebakaran akan tetap bekerja.

IV. Instalasi sistem *sprinkler* otomatis dengan tipe curah atau banjir (*Deluge System*)

Sprinkler untuk sistem ini harus dipasang menghadap kelangit-langit, kecuali jika diizinkan untuk dipasang jenis *pendent* dan biasanya menggunakan kepala *sprinkler* terbuka dan dilengkapi dengan katup curah (*Deluge valve*). Sistem ini dikombinasikan dengan sistem alarm terpisah yang berfungsi mengaktifkan katup curah tsb. Begitu katup terbuka, air mengalir melalui kepala *sprinkler* dan menghidupkan pompa kebakaran. Sistem ini cocok untuk fasilitas yang berisi cairan yang mudah menyala dan terbakar. Juga untuk situasi dimana kerusakan akibat kebakaran dapat terjadi dalam waktu yang relatif singkat contohnya pabrik kembang api, hanggar pesawat terbang dan lainnya. Hanggar pesawat terbang umumnya dirancang sesuai dengan NFPA 409.

2.7 *Fire Modeling*

Fire modeling adalah sebuah aplikasi perangkat lunak komputer yang menyajikan simulasi kebakaran dari sebuah data kebakaran yang dimasukkan atau diinput ke dalam sebuah aplikasi komputer, *software* ini dibuat berdasarkan rumus matematika dan fisika. *Fire Modeling* digunakan sebagai permodelan pertumbuhan api kebakaran beserta tahapan perkembangannya serta untuk mempermudah proses analisis kebakaran pada sebuah bangunan.

Seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi tercipta beberapa *software fire modeling* simulasi kebakaran untuk berbagai keperluan diantaranya menentukan desain Jalur evakuasi termasuk jalur penyelamatan diri dan tangga darurat, desain *sprinkler*, manajemen asap dan kinerja struktural. *Software* tersebut diantaranya *Fire Dynamic Simulator (FDS)*, *Computerized Fire Safety Evaluation System (CFSES)*, *CFast* (Model Konsolidasi Api dan Transportasi asap), *Fire Behaviour, Complexity*, *pathfinder* dan lain nya.

2.8 Simulasi Komputer *Fire Dynamic Simulator (FDS)*

Fire Dynamic Simulator (FDS) adalah penyempurnaan dari model komputasi dinamika fluida (CFD) dari aliran fluida api dan udara. Program komputer yang menggunakan kode numerik berbentuk simulasi sebagian besar berasal dari persamaan Navier-Stokes yang digunakan untuk kecepatan rendah, aliran termal dan udara, dengan penekanan pada transportasi atau pergerakan asap dan panas pada saat terjadi kebakaran, untuk menggambarkan perubahan api kebakaran.

Fire Dynamic Simulator (FDS) merupakan perangkat lunak gratis yang dikembangkan oleh Institut Nasional Standar dan Teknologi (NIST) dari

Pemerintah Federal Amerika Serikat, bekerjasama dengan VTT *Technical Research Centre Finlandia*

Versi pertama dari FDS yang dirilis ke publik pada bulan Februari 2000. Sampai sekarang aplikasi model kebakaran telah mendesain sistem pengendalian asap dan studi aktivasi *sprinkler* atau detektor pada bangunan perumahan dan industri rekonstruksi api. Sepanjang perkembangannya, FDS bertujuan untuk mengatasi masalah kebakaran praktis dalam teknik proteksi kebakaran, sementara pada saat yang sama menyediakan alat untuk mempelajari pengetahuan dasar dinamika api dan pembakaran.

FDS adalah program Fortran yang membaca parameter masukan dari sebuah file teks, menghitung solusi numerik untuk persamaan yang mengatur, dan menulis output data yang ditentukan pengguna ke file. *Smokeview* adalah program pendamping yang membaca file output FDS dan menghasilkan animasi pada layar komputer. *Smokeview* memiliki antarmuka sederhana berbasis menu, sementara FDS tidak. Namun, ada berbagai program pihak ketiga yang telah dikembangkan untuk menghasilkan file teks yang berisi parameter input yang dibutuhkan oleh FDS *software modeling*.

2.8.1 Komponen utama *software Fire Dynamic Simulator (FDS)*

Di dalam *software Fire Dynamic Simulator (FDS)* terdapat beberapa komponen utama yang digunakan dalam memecahkan masalah kebakaran diantaranya.

I. Hidrodinamika Model

Pada permodelan Hidrodinamika menggunakan persamaan aliran Navier-Stokes yang sesuai untuk penghitungan kecepatan rendah dari temperatur aliran udara dengan penekanan pada asap dan penyebaran panas kebakaran. Dalam permodelan ini juga menggunakan persamaan konservasi dasar diantaranya persamaan gas ideal, persamaan kekekalan momentum, kekekalan energi dan kekekalan massa. Persamaan gas ideal yaitu :

$$\rho = \frac{\rho RT}{W}$$

Persamaan kekekalan momentum

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot \rho u u + \nabla \rho = \rho f + \nabla \cdot \tau_{ij}$$

Persamaan kekekalan energi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \frac{D\rho}{Dt} + q^m - \nabla \cdot q + \Phi$$

Persamaan kekekalan massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0$$

ρ = kerapatan gas

t = waktu

u = (u,v,w) vector kecepatan (kecepatan aliran fluida ke arah X Y dan Z)

p = tekanan

τ_{ij} = stress tensor (gaya per satuan luas permukaan pada fluida)

F = vector gaya luar (termasuk gravitasi)

h = koefisien perpindahan kalor

q^m = laju pelepasan panas per unit volume

Φ = energi disipasi (Energi yang hilang atau dilepaskan)

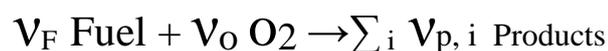
R = universal gas constan (konstanta keadaan gas ideal)

M = berat molekul dari gas

T = temperatur

II. Model Pembakaran

Di dalam aplikasi FDS model pembakaran memakai konsep *mixture fraction* akibatnya tidak ada perbedaan jenis pembakaran *smoldering* dan *flaming*. *mixture fraction* merupakan konservasi kuantitas scalar yaitu fraksi gas pada titik tertentu dalam suatu aliran atau bahan bakar. Terdapat beberapa skema rancangan dalam memperkirakan luas permukaan suatu pembakaran pada ruang yang memiliki ventilasi. *mixture fraction* berasal dari semua fraksi massa molekul reaktan dan produk yang dapat diartikan sebagai ekspresi bentuk model yaitu hubungan keadaan atau (*state relation*) dari penggabungan penyederhanaan analisa dan pengukuran. Persamaan untuk reaksi pembakaran yaitu



Untuk mendapatkan laju konsumsi bahan bakar dan oksidator yaitu persamaan stokiometrik.

$$\frac{\dot{m}_F^m}{v_{FMF}} = \frac{\dot{m}_O^m}{v_{OMo}}$$

III. Model penyebaran panas radiasi

Salah satu fungsi *Fire Dynamic Simulator* (FDS) adalah untuk mengetahui laju perpindahan panas radiasi dengan persamaan radiasi *non_scattering gray gas* dan

wide band model yang menggunakan teknik *Finite Volume Method* (FVM). Perpindahan panas konveksi mengalami keterbatasan pada model, untuk perhitungan *smoke laden gas* atau komposisi gas dan *absorption coefficient* atau koefisien penyerapan panas dari temperatur gas pada simulasi FDS, karena penyederhanaan model pembakaran, komposisi kimia dari asap simulasi kebakaran. Distribusi panas radiasi tidak merata karena penyebaran panas tergantung dari banyaknya sudut pada permukaan benda. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan jumlah *grid* atau batasan penghitungan simulasi agar lebih rapat namun akan menambah waktu penghitungan simulasi.

2.8.2 Keterbatasan fire modeling *Fire Dynamic Simulator* (FDS)

Dalam melakukan sebuah simulasi kebakaran menggunakan fire modeling (FDS) ada beberapa keterbatasan diantaranya

I. Simulasi kebakaran dengan laju aliran kecepatan rendah (*Low Speed Flow*)

Di dalam suatu simulasi kebakaran FDS memiliki keterbatasan untuk kecepatan rendah dengan penekanan pada asap dan penyebaran panas pada bilangan Mach yang lebih kecil dari 0,3. Artinya FDS tidak mampu melakukan simulasi pada tingkat kecepatan aliran yang tinggi seperti kecepatan suara, kecepatan ledakan, kecepatan aliran pada *nozzle*.

II. Geometri bujur sangkar atau lurus (*Rectilinear Geometry*)

FDS hanya dapat membuat geometri benda yang lurus oleh karena itu untuk bentuk geometri yang melengkung atau *elips* pada simulasi tidak dapat dibuat dengan sempurna karena akan terdapat gerigi pada permukaan benda yang melingkar

III. Pertumbuhan dan penyebaran api (*Fire Growth and Spread*)

Laju perpindahan panas atau *heat release rate* (HRR) pada simulasi hanya dapat diketahui apabila besar api kebakarannya sudah ditentukan. Memprediksi kecepatan aliran dan temperatur dengan keakuratan mencapai 10% sampai 20% dari pengukuran eksperimental, tergantung pada resolusi dari *grid numerik*.

Penentuan besar api kebakaran pada simulasi sangat berpengaruh karena sifat dari bahan bakar nyata tidak diketahui atau sulit didapatkan, proses fisik pembakaran, radiasi panas dan perpindahan panas pada fase padat yang lebih rumit dari pada representasi matematika pada FDS, serta hasil perhitungan sensitif untuk parameter numerik dan fisik.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini menggunakan bangunan rumah susun milik pemda provinsi DKI Jakarta untuk para Pegawai Negeri Sipil di lingkungan Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan DKI Jakarta yang terletak di Jl Raya Poncol Kec Ciracas Jakarta Timur. Waktu yang digunakan untuk penelitian ini mulai dari bulan maret sampai dengan juli 2017.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Peneliti menggunakan metodologi penelitian analisis kualitatif yaitu tampilan berupa kata-kata lisan atau tertulis yang dicermati oleh peneliti serta benda-benda yang diamati sampai detailnya agar dapat ditangkap maknanya yang tersirat dalam dokumen atau bendanya. (Sugiono, 2009 diacu dalam fulky, 2016) Dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan skripsi, penulis menggunakan beberapa metode untuk mencari dan mengumpulkan data –data yang dibutuhkan baik data teknis maupun data non teknis. Metode –metode tersebut diantaranya :

1. Wawancara

Penulis melakukan tanya jawab langsung ke bagian yang berkaitan dengan data bangunan rumah susun ciracas yaitu pengelola gedung yang bertujuan untuk mendapatkan informasi dari data -data sebelum melakukan observasi atau pengamatan mengenai sistem proteksi kebakaran yang ada pada gedung khususnya sistem proteksi aktif.

2. Observasi

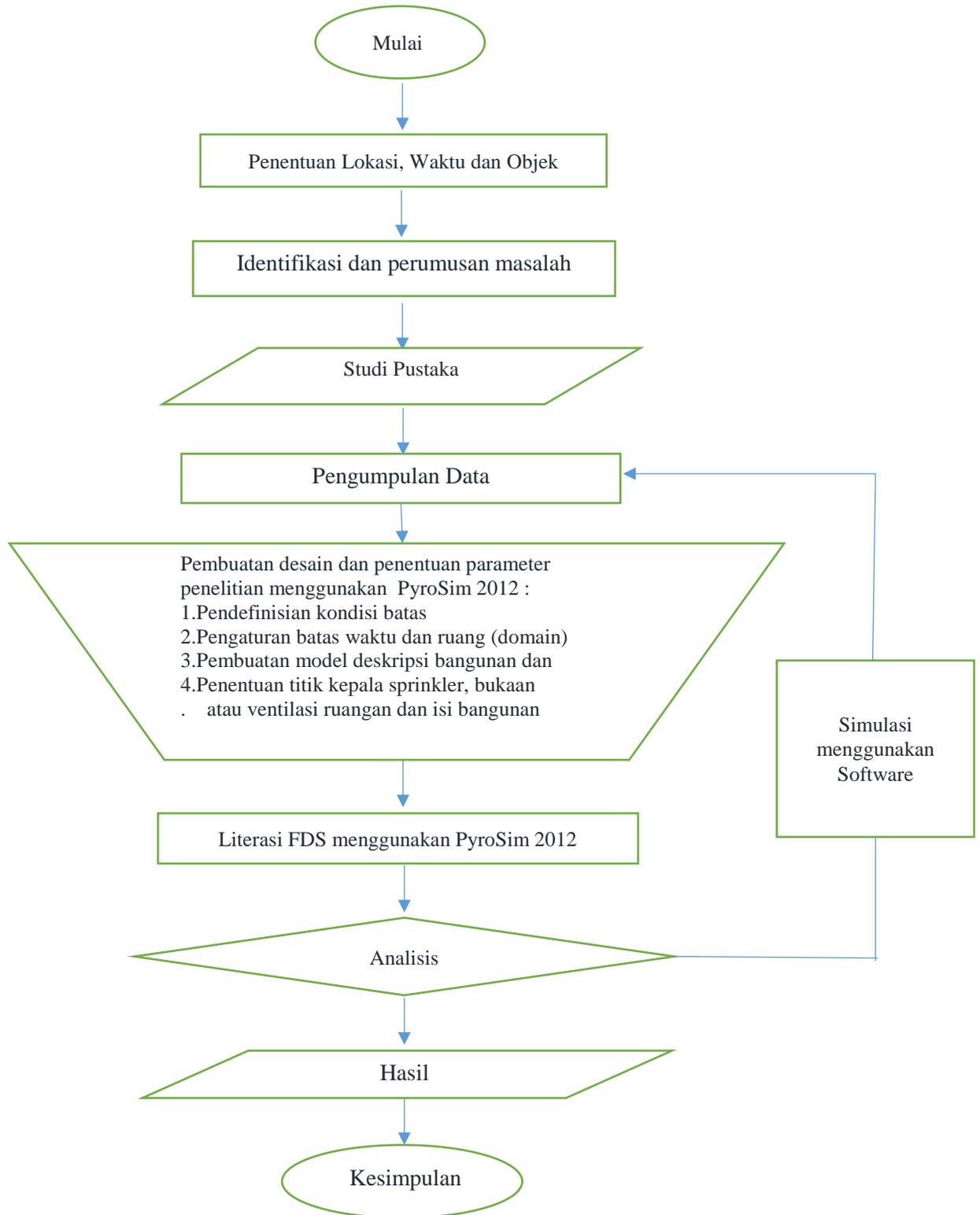
Merupakan metode pengumpulan data dengan pengamatan secara langsung pada gedung dan menggunakan instrumen berupa lembar observasi, alat ukur meteran serta camera digital untuk mendokumentasikan hasil pengamatan. Peneliti melakukan pengamatan secara langsung bagaimana kondisi gedung terkait sistem proteksi kebakaran khususnya proteksi kebakaran aktif untuk mendapatkan keakuratan data pada bangunan gedung rumah susun ciracas.

3. Simulasi

Simulasi adalah sebuah metode pelatihan dengan memperagakan sesuatu dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan yang sesungguhnya, simulasi dapat penggambaran suatu sistem atau proses dengan peragaan menggunakan model statistik atau pemeran (Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional, 2005). Peneliti menggunakan *software* PyroSim 2012 yaitu pengembangan dari *Fire Dynamic Simulator* (FDS) Versi 5 untuk melakukan simulasi kebakaran pada bangunan gedung rumah susun ciracas, untuk mengetahui pengaruh waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis terhadap laju perambatan panas serta asap yang dapat membahayakan penghuni gedung dan memperlambat saat evakuasi. Pada simulasi ditentukan tanpa sistem sprinkler otomatis, pada temperatur 68 °C sesuai SNI, keterlambatan 7 menit atau 420 detik, dan keterlambatan 10 menit atau 600 detik.

3.3 Alur dalam Proses Penelitian

Alur dalam Proses Penelitian merupakan salah satu bagian penelitian yang berbentuk diagram penelitian, di dalam nya terdapat tahapan yang dilakukan pada saat penelitian.



Gambar 3.1 Alur dalam Proses Penelitian

Dengan menggunakan data yang telah dikumpulkan, penulis akan melakukan analisis data kemudian mengevaluasi sistem proteksi kebakaran aktif yang ada di dalam gedung dan melakukan simulasi kebakaran menggunakan *software fire modeling* PyroSim 2012 versi trail yaitu pengembangan dari *Fire Dynamic Simulator* (FDS) Versi 5 untuk mengetahui pengaruh sistem *sprinkler* otomatis pada saat bangunan gedung rumah susun ciracas terbakar. Saat ini bangunan tersebut tidak memiliki instalasi sistem *sprinkler* otomatis.

3.3.1 Tahap Pendahuluan

Merupakan bagian awal proses penelitian yang dilatar belakangi oleh berbagai masalah yang muncul serta menjadi dasar penelitian. Serta menentukan Lokasi, waktu dan objek penelitian dilaksanakan pada tahap ini. Penelitian menggunakan bangunan gedung Rumah Susun ciracas dengan melakukan observasi langsung dan wawancara dengan penghuni gedung yang tinggal.

3.3.2 Identifikasi dan perumusan masalah

Setelah wawancara dengan penghuni gedung dan observasi langsung selesai dilaksanakan, kemudian ditemukan berbagai permasalahan yang ada di rumah susun ciracas Jakarta Timur. Permasalahan tersebut kemudian diidentifikasi dan dianalisa untuk ditentukan penyebab dan mencari solusi yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

3.3.3 Studi Pustaka

Penulis mempelajari literatur dari berbagai sumber yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan serta menambah wawasan dan pengetahuan terkait permasalahan yang akan dibahas serta menentukan metode apa yang paling tepat untuk menyelesaikan permasalahan yang muncul. Studi Literature didapatkan dari beberapa sumber yang berupa buku, pencarian informasi dari internet, jurnal, serta hasil penelitian orang lain yaitu skripsi dan tesis.

3.3.4 Pengumpulan Data

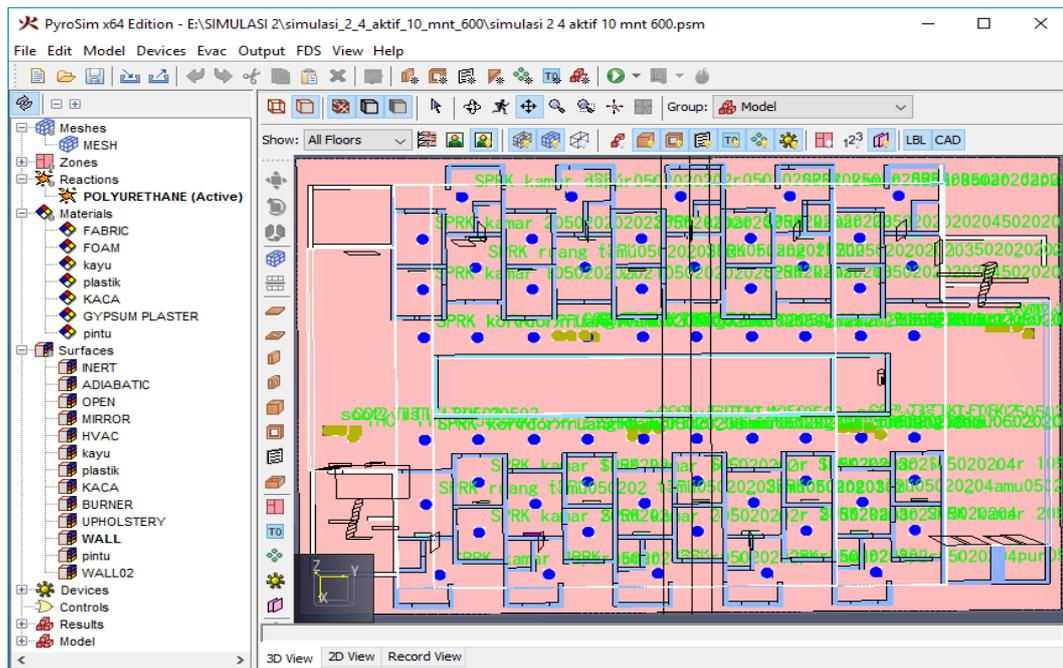
Setelah penulis mempelajari berbagai literatur tahap selanjutnya yaitu mengumpulkan data – data yang dibutuhkan untuk proses penelitian serta mendukung dalam menyelesaikan permasalahan yang muncul. Data – data tersebut diperoleh dari hasil observasi langsung dan wawancara dengan penghuni gedung yang tinggal.

3.3.5 Pembuatan desain simulasi kebakaran menggunakan PyroSim 2012

Pada penelitian ini, akan dilakukan simulasi kebakaran menggunakan software pyrosim 2012 yaitu pengembangan FDS untuk mengetahui pengaruh waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis pada saat terjadi kebakaran terhadap laju perambatan panas serta produksi asap yang dapat menghambat penghuni gedung yang tinggal untuk menyelamatkan diri serta dapat menimbulkan korban jiwa.

3.3.5.1 Input data dan penentuan parameter

Untuk memudahkan dalam memasukkan data gedung ke dalam *fire modeling* FDS, penulis menggunakan software pyrosim 2012 versi trail. Input data yang dimasukkan yaitu Geometri gedung rumah susun ciracas, isi bangunan, struktur bangunan, bukaan pintu dan jendela dan kepala sprinkler yang diletakan sesuai dengan SNI.



Gambar 3.2 Input data menggunakan software pyrosim 2012 versi trail

3.3.5.2 Penentuan batas ruang dan waktu atau domain

Sebelum melakukan simulasi ditentukan namelist dari simulasi sesuai dengan skenario kebakaran yang akan disimulasikan seperti :

```
&HEAD CHID='simulasi_2_1_spk_tidak_aktif', TITLE='200kw tanpa spk/'
```

```
&TIME T_END=1800.0, RESTRICT_TIME_STEP=.FALSE./
```

```
&MISC TMPA=32.0, SURF_DEFAULT='WALL/'
```

```
&MESH ID='MESH', IJK=96,138,12, XB=0.0,29.0,0.0,42.0,7.2,10.7/
```

Setiap perintah dalam file FDS diawali dengan (&) dan diakhiri dengan garis miring (/) serta perintah ditulis tanpa spasi dan diberi tanda strip di atas pada awal dan akhir perintah ('perintah'). HEAD CHID merupakan nama dari simulasi sesuai skenario yang diinginkan 'simulasi_2_1_spk_tidak_aktif'. TIME T_END adalah waktu simulasi yaitu 1800 detik atau 30 menit. MISC TMPA yaitu temperatur lingkungan sekitar ditentukan 32 °C. MESH ID yaitu batas perhitungan dari simulasi FDS terdiri dari jerat – jerat, pada penelitian ditentukan ukuran mesh atau batas ruang pada simulasi dengan panjang 42 m luas 29 m dan tinggi 3,5 m serta jumlah *cell* atau jerat IJK atau jumlah jerat pada kordinat X = 96 jerat, Y = 138 jerat dan Z = 12 jerat total keseluruhan jerat dalam mesh atau batas ruang 158 976 jerat.

3.3.5.3 Pembuatan Model

Dalam pembuatan model benda pada simulasi dinamakan OBST atau *obstruction* yang mempunyai titik kordinat yaitu

```
&OBST XB=0.0,1.6,0.0,1,0.0,0.4, COLOR='GREEN', SURF_ID='UPHOLSTERY'/ kasur busa
```

Sebuah benda yang mempunyai dimensi 1,6 m (0.0,1.6) pada sumbu X, 1 m (0.0,1) pada sumbu Y, dan 0.0,0.4 pada sumbu Z. Berwarna hijau serta permukaan benda tersebut terbuat dari Busa.

```
&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN', / Vent
&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN', / Vent
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent
```

Menyatakan bahwa pada permukaan mesh terbuka sehingga asap dapat keluar dari mesh atau batas ruang. &VENT berarti terdapat ventilasi atau bukaan.

3.3.5.4 Awal munculnya api dan besar laju pelepasan panas (HRRPUA)

Penentuan lokasi titik awal api kebakaran akan berpengaruh terhadap membesarnya api yang diikuti penyebaran asap sehingga dapat menyulitkan penghuni gedung untuk menyelamatkan diri. Pada simulasi ditentukan api awal terjadi di ruang tamu salah satu unit rumah yang berada di tengah rumah unit lainnya sehingga memungkinkan api dan asap kebakaran menyebar. Besarnya nilai *Heat Release Rate Per Area* yaitu laju pelepasan panas per luas area dengan satuan kw/m^2 (HRRPUA) dari sumber api juga dapat mempercepat perkembangan api kebakaran yang terjadi karena tersedia bahan yang mudah terbakar. Sama seperti dalam tesis Bapak Adhi Saputra yang menggunakan laju pelepasan panas dari sumber api tidak besar namun konstan agar perambatan perlahan – lahan, pada skenario simulasi kebakaran ditentukan besarnya laju pelepasan panas sumber api sebesar 200 kw/m^2 dengan ukuran sumber api $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$ yang diletakan pada sebuah sofa yang berada di ruang tamu.

3.3.5.5 Ventilasi ruangan atau bukaan

Kebakaran yang terjadi di dalam ruangan dapat dipengaruhi oleh besarnya ukuran ventilasi atau bukaan pada ruangan yang terbakar, karena api kebakaran membutuhkan oksigen yang cukup untuk berkembang. Pada awal kebakaran, api membutuhkan suplai oksigen yang cukup yang diambil dari dalam dan luar ruangan. Oleh karena itu sebelum melakukan simulasi utama, penulis membuat

beberapa skenario simulasi untuk mencari pengaruh terbesar ventilasi saat api awal kebakaran yang mengakibatkan api membesar dengan cepat. Terdapat beberapa bukaan berupa pintu dan jendela dalam satu unit rumah susun seperti terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ukuran dan jumlah ventilasi ruangan atau bukaan

No	Ventilasi ruangan atau bukaan	Jumlah	Bahan	Ukuran
1	Pintu	4 buah	Kayu	1 m x 2 m
2	Jendela kamar belakang dan dapur	2 buah	Kaca	1 m x 1,75 m
3	Jendela belakang	1 buah	Kaca	1,5 m x 2,75 m
4	Jendela ruang tamu	1 buah	Kaca	1 m x 1,25 m
5	Jendela kamar depan	2 buah	Kaca	1 m x 1 m

1. Sifat Material

Pada simulasi dimasukkan beberapa sifat material yaitu menggunakan material yang umum terdapat dalam sebuah rumah dan material tersebut mudah terbakar seperti material kayu, plastik dan foam. Sifat material yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.2 Material Properties

No.	Nama	Densitas (kg/m ³)	Kalor jenis (kj/kg.k)	Konduktivitas thermal (W/m.k)	Heat of reaction (KJ/kg)	Heat of combustion (kj/kg)
1	plastik	1500	1,5	0,2	3000	25000
2	Kayu	700	1,25	0,17	430	16090
3	Foam	40	1,0	0,05	1500	30000
4	Water	1000	4,19	0,6	2260	-
5	Kaca	2800	0,8	1,05	487	1775

Sumber : FDS (versi 5) Technical Reference Guide, 2007.

2. Isi bangunan

Pada simulasi kebakaran dimasukkan beberapa jenis barang atau furnitur yang ada di dalam ruangan yaitu:

Tabel 3.3 Jenis barang atau furnitur yang digunakan

No.	Nama	matrial	jumlah	Ukuran m3	Posisi
1	Sofa besar	Foam	1	2,25 m x 1 m x 1 m dan 1 m x 1 m x 1 m	Ruang tamu
2	Kursi kecil	Kayu	3	0,5 m x 0,5 x 1 m	Ruang tamu dan kamar
3	Meja	Kayu	4	0,5 m x 1 m x 0,85 m	Ruang tamu dan kamar
4	lemari	Kayu	2	0,7 m x 0,5 m x 2 m	Kamar
5	Kasur	Foam	2	2 m x 1,2 m x 0,5 m	Kamar
6	lemari	Kayu	2	0,8 m x 0,5 m x 2 m	Kamar

3.3.5.6 Skenario simulasi kebakaran

Untuk menentukan pengaruh terbesar Ventilasi yang menyebabkan api membesar dengan cepat perlu dilakukan simulasi awal sebelum melakukan simulasi utama menggunakan *Fire Dynamic Simulator* (FDS) dengan memperhitungkan waktu proses simulasi yang lambat maka simulasi dilakukan pada satu unit rumah dengan bukaan atau ventilasi yang berbeda.

Tabel 3.4 Skenario Simulasi Kebakaran terhadap ventilasi ruangan

1.	Skenario 1. A	Hanya terdapat ventilasi bukaan lubang udara di atas pintu dan jendela pada ruang tamu
2.	Skenario 1. B	Terdapat ventilasi bukaan lubang udara di setiap ruangan
3.	Skenario 1. C	Terdapat ventilasi bukaan lubang udara di setiap ruangan dan 1 pintu posisi terbuka

Pemasangan instalasi sistem *sprinkler* otomatis pada suatu gedung terutama pada gedung yang memiliki lebih dari empat lantai sangat penting. Pada saat terjadi kebakaran, tanpa adanya sistem *sprinkler* otomatis api kebakaran akan cepat membesar dan menyebar ke sekeliling ruangan dan seluruh benda yang ada di dalam akan ikut terbakar karena temperatur ruangan melebihi titik nyala material benda yaitu dapat mencapai 600°C dalam waktu kurang dari delapan menit (*flashover*), sehingga penghuni gedung tidak sempat menyelamatkan diri. Untuk itu, dalam simulasi kebakaran akan dimasukkan sistem *sprinkler* otomatis. Dalam simulasi akan dibuat beberapa skenario kebakaran diantaranya:

Tabel 3.5 Skenario Simulasi Kebakaran terhadap aktivasi sistem *sprinkler* otomatis

1.	Skenario 2.1	Simulasi kebakaran tanpa <i>sprinkler</i> otomatis
2.	Skenario 2.2	Simulasi kebakaran dengan <i>sprinkler</i> otomatis aktif pada temperatur 68°C
3.	Skenario 2.3	Simulasi kebakaran dengan keterlambatan waktu aktivasi <i>sprinkler</i> otomatis 7 menit atau 420 detik
4.	Skenario 2.4	Simulasi kebakaran dengan keterlambatan waktu aktivasi <i>sprinkler</i> otomatis 10 menit atau 600 detik

3.3.6 Tahapan dalam simulasi

Proses simulasi pada *software Fire Dynamic Simulator* (FDS) dibagi menjadi tiga tahapan yaitu tahap *preprocessor*, tahap *processor* dan tahap *preprocessor*.

1. Tahap *preprocessor*

Preprocessor pada tahap ini data struktur bangunan dimasukkan ke dalam *software fire modeling* PyroSim 2012 yaitu pengembangan dari *Fire Dynamic Simulator* (FDS). PyroSim digunakan untuk memudahkan dalam memasukan data

gedung yang berupa struktur bangunan, jalur evakuasi, tangga, isi bangunan dan dan parameter output yang diinginkan.

2. Tahap *processor*

Tahap *processor* merupakan tahap penghitungan data masukan dari sebuah skenario yang dibuat yaitu model, *sprinkler* dan parameter *output* menggunakan persamaan yang telah dimasukkan ke dalam program FDS. Hasil perhitungan tiap detiknya terus berlanjut hingga batas waktu perhitungan yang telah dibuat.

3. Tahap *post processor*

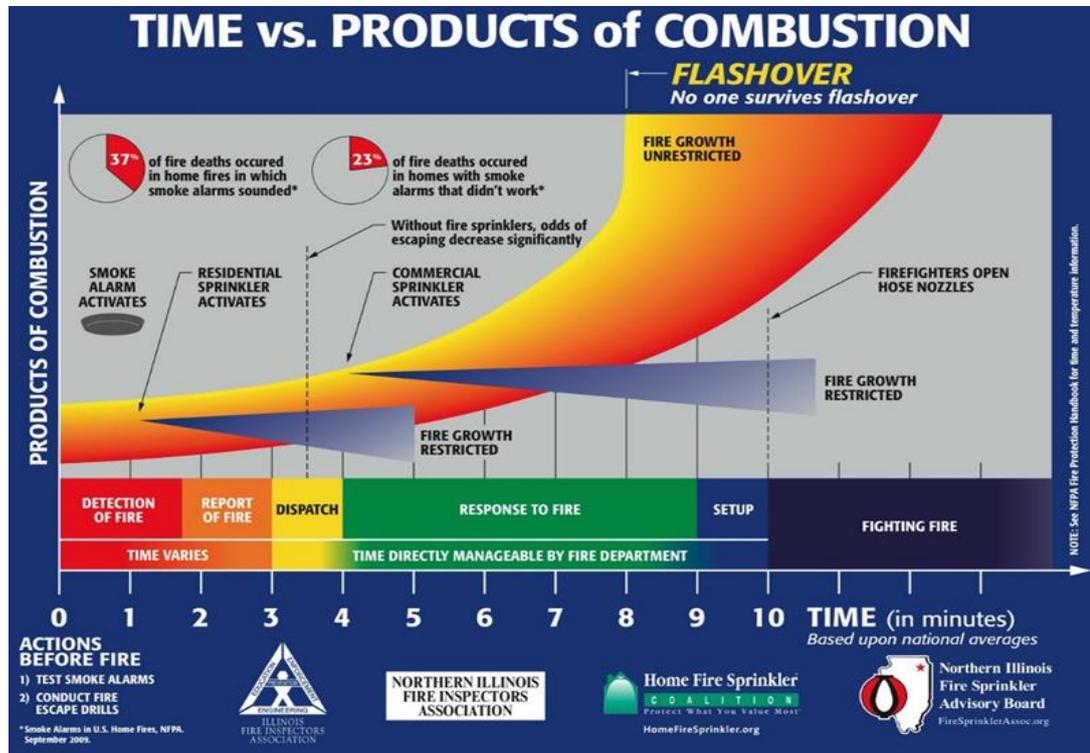
Tahap akhir dari skenario simulasi kebakaran FDS atau *post processor* setelah penghitungan selesai dilakukan akan muncul hasil perhitungan berupa tabel, grafik atau pun animasi. Animasi dari simulasi akan terlihat melalui *companion program* yaitu program pendamping disebut juga *smokeview*.

Untuk mempercepat waktu literasi atau *computing time* karena simulasi untuk keseluruhan gedung akan memerlukan waktu lebih dari 10 hari untuk satu skenario kebakaran, maka dalam simulasi dilakukan pada satu lantai bangunan rumah susun sebagai objek yaitu lantai dua untuk rumah tinggal karena lebih rawan terjadi kebakaran dengan mempertimbangkan isi dari unit rumah.

3.3.7 Desain Sistem *sprinkler* otomatis pada rumah susun ciracas

Selain berfungsi untuk memadamkan api kebakaran, sistem *sprinkler* otomatis dapat menurunkan temperatur ruangan, menghambat penyebaran api dan membatasi suplai oksigen masuk ke dalam sumber api karena terhalang oleh air dari kepala *sprinkler* yang menyebar ke sekeliling ruangan serta dapat mengurangi

timbulnya asap. Asap kebakaran yang dihasilkan akan menyulitkan penghuni gedung untuk melakukan evakuasi.



Gambar 3.3 Tahapan waktu dan produk hasil kebakaran (US Experience With smoke alarm and other fire alarm, NFPA, September 2001 diacu dalam maple valley fire and life safety 2010)

3.3.7.1 Perancangan dan penentuan jumlah kepala sprinkler

Untuk merancang sistem sprinkler otomatis terlebih dahulu melakukan perencanaan, termasuk dalam penentuan kategori klasifikasi tingkat risiko bahaya kebakaran pada sebuah gedung, yang diklasifikasikan menurut struktur bahan bangunan yang digunakan, isi bangunan atau benda – benda yang ada di dalamnya dan sifat dari kemudahan terbakar benda tersebut. Berdasarkan SNI 03-3989-2000 tentang Tata cara perencanaan dan pemasangan sistem sprinkler otomatis untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung, dapat ditentukan desain sistem sprinkler otomatis pada rumah susun ciracas yang sesuai dengan standar meliputi beberapa hal :

1. Arah pancaran ke bawah pada ruangan unit rumah dan ke atas pada basement.
2. Kepekaan terhadap suhu kepala sprinkler jenis glass bulb atau tabung kaca 68°C berwarna merah. Hal ini ditentukan karena asumsi suhu lingkungan 32°C dengan temperatur maksimum langit- langit ruangan 38°C.
3. Ukuran nominal lubang kepala sprinkler 15 mm ($\frac{3}{4}$ inch) dengan kapasitas 80 liter / menit untuk bahaya kebakaran sedang.
4. Jarak maksimum antara titik kepala sprinkler 4 meter untuk bahaya kebakaran sedang.
5. Jarak maksimum titik kepala sprinkler dari dinding tembok 1,7 meter untuk bahaya kebakaran sedang.
6. Daerah yang dilindungi oleh pancaran air dari kepala sprinkler adalah semua ruangan kecuali kamar mandi, toilet, tangga darurat yang diperkirakan tidak mempunyai potensi terjadinya bahaya kebakaran.
7. Sprinkler over lapping $\frac{1}{4}$ bagian.
8. Luas lantai yang direncanakan adalah 1400 m² (luas total) – 168 m² (luas toilet dan tangga) = 1232 m² untuk 1 lantai gedung
9. Untuk satu unit kepala sprinkler dapat mencakup area perlindungan sebesar 4 m x 4 m untuk bahaya kebakaran sedang.
10. Antara satu kepala sprinkler dengan kepala sprinkler lain terjadi over lapping sebesar $\frac{1}{4}$ area jangkauan, sehingga tidak ada area yang tidak terkena pancaran air dari kepala sprinkler . Maka area jangkauan kepala sprinkler dapat dihitung sebagai berikut : X = 4 m – ($\frac{1}{4}$ x 4 m)

$$= 4 \text{ m} - 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

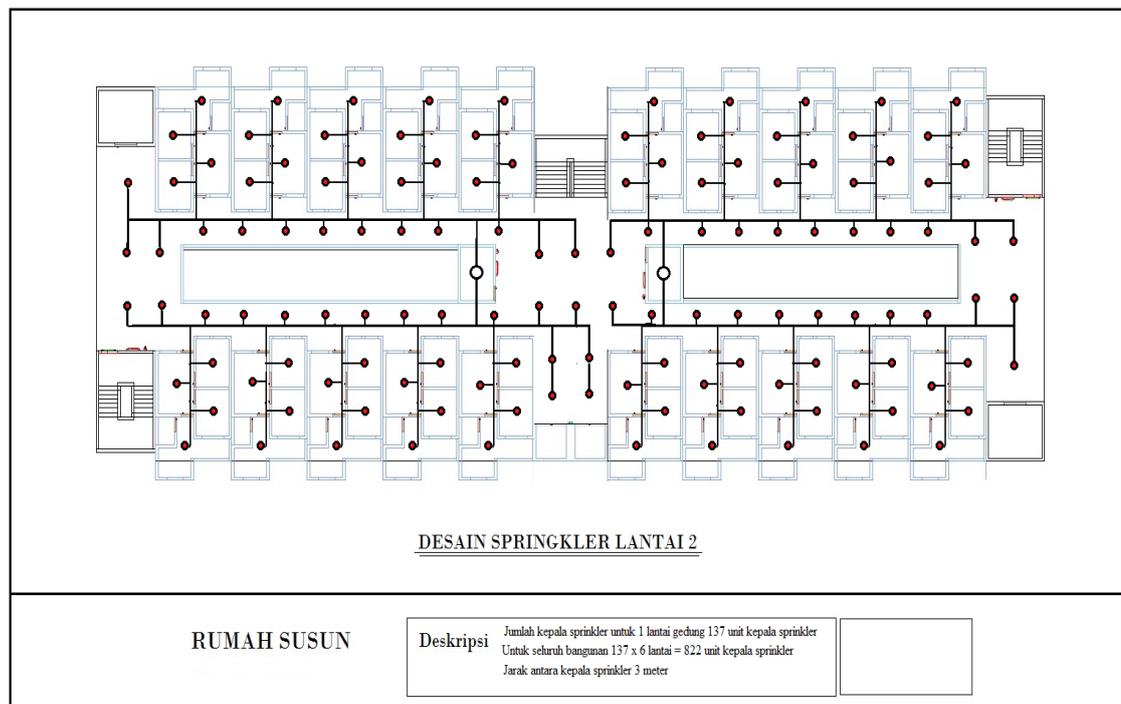
$$\text{Maka ,L} = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 9 \text{ m}^2$$

Jadi jumlah Sprinkler yang dibutuhkan

$$= 1232 \text{ m}^2 / 9 \text{ m}^2$$

$$= 136,89 = 137 \text{ unit kepala sprinkler untuk 1 lantai rumah susun}$$

Untuk seluruh bangunan 137 x 6 lantai = 822 unit kepala sprinkler



Gambar 3.4 Desain kepala sprinkler pada rumah susun ciracas

11. Perhitungan tekanan air unit kepala sprinkler untuk bahaya kebakaran sedang kelompok 1

- Daerah kerja maksimum 72 m²
- Tekanan air pada kepala sprinkler 1 kg / cm² (1 bar) => p
- Konstanta untuk ukuran nominal lubang kepala sprinkler 15 mm (3/4 inch)

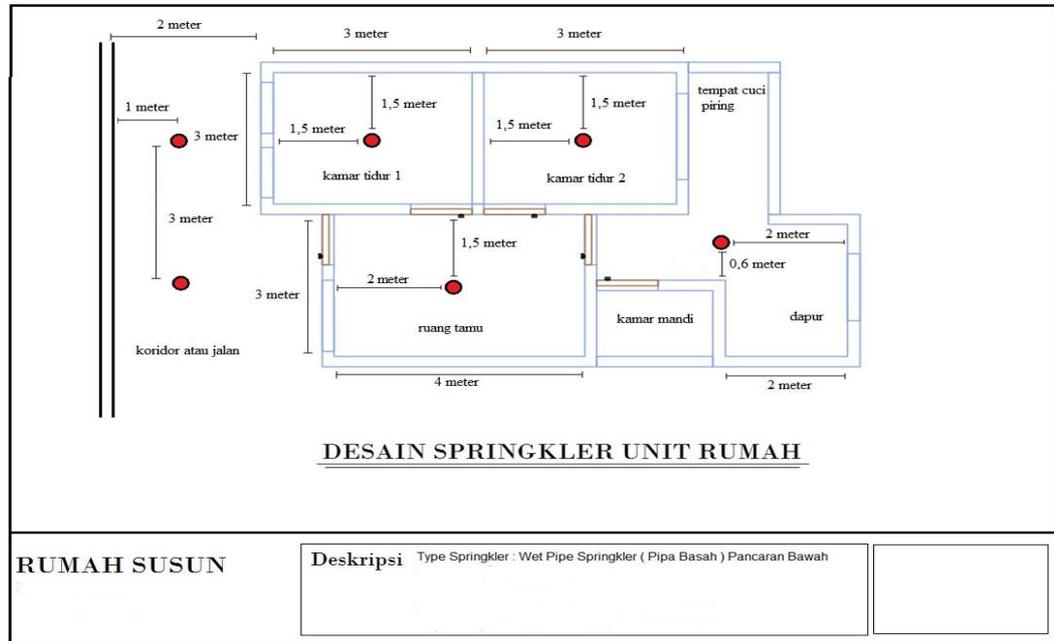
$$k = 80$$

$$Q = k \cdot \sqrt{p} = 80 \times \sqrt{1} = 80 \text{ liter / menit}$$

Keterangan :

Q = kapasitas pancaran tiap kepala sprinkler.(liter / menit)

k = konstanta yang ditentukan oleh ukuran nominal lubang kepala sprinkler
 p = tekanan air pada kepala sprinkler. (kg/cm^2)



Gambar 3.5 Peletakan kepala sprinkler untuk 1 unit rumah susun ciracas

12. Volume persediaan air untuk kebutuhan sistem sprinkler otomatis pada gedung rumah susun ciracas.

Asumsi jumlah kepala sprinkler pecah adalah 18 kepala sprinkler

$$V = Q \times T$$

Keterangan

V = Volume kebutuhan air (m^3)

T = Waktu operasi sistem minimal 60 menit untuk bahaya kebakaran sedang

Q = Kapasitas air ($\text{dm}^3 / \text{menit}$) atau (liter / menit)

$Q = Q$ tiap kepala sprinkler X jumlah kepala sprinkler yang pecah

$Q = 80 \text{ dm}^3 / \text{menit} \times 18$ kepala sprinkler

$= 1.440 \text{ dm}^3 / \text{menit}$

$$\begin{aligned}
 V \text{ kebutuhan air} &= Q \times T \\
 &= 1.440 \text{ dm}^3 / \text{menit} \times 60 \text{ menit} \\
 &= 86.400 \text{ dm}^3 = 86,4 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

13. Desain reservoir untuk penampungan kebutuhan air sistem sprinkler otomatis pada rumah susun ciracas

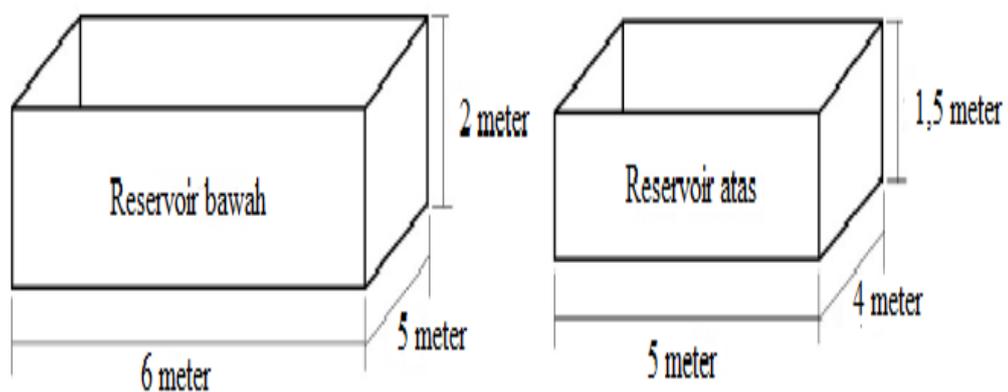
untuk reservoir atas $26,4 \text{ m}^3$ dan reservoir bawah 60 m^3

$$\begin{aligned}
 \text{Volume reservoir bawah} &= 6 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 60 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume reservoir atas} &= 5 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \\
 &= 30 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat 1 liter air} = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ kg}$$

$$\text{Berat air untuk reservoir atas} = 26.400 \text{ kg atau } 26.4 \text{ ton}$$



Gambar 3.6 Desain Reservoir sistem sprinkler otomatis pada bangunan rumah susun ciracas

3.3.8 Parameter pengukuran untuk simulasi

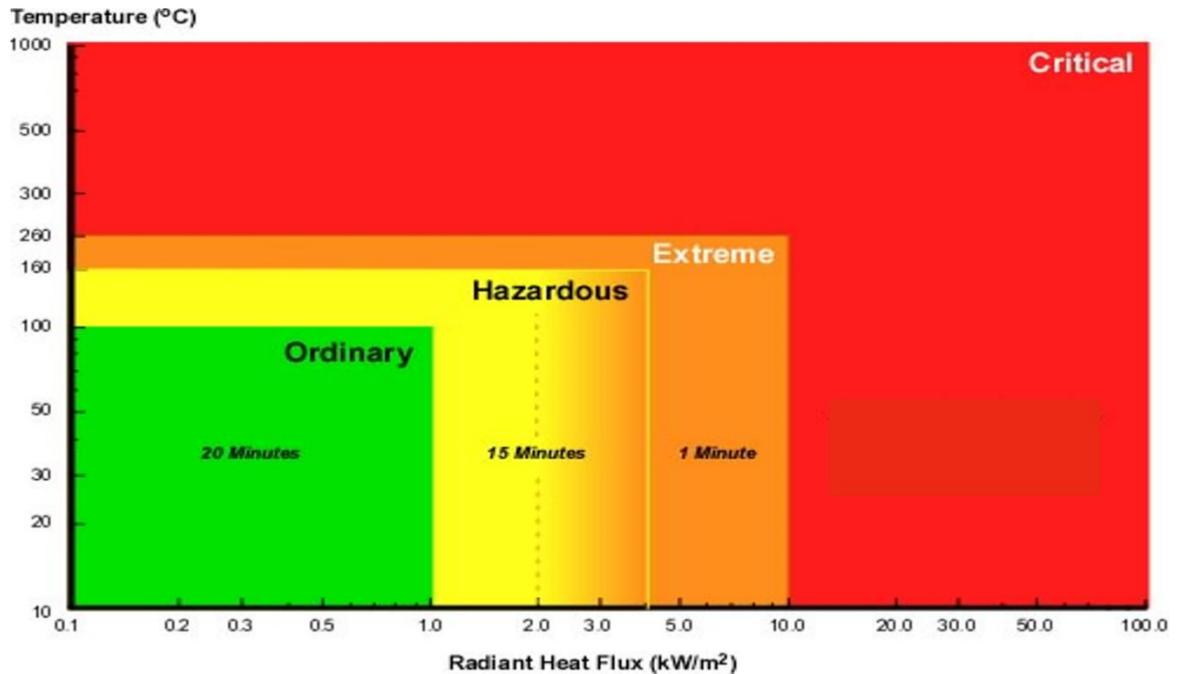
Hasil dari simulasi kebakaran akan menghasilkan output sesuai dengan data parameter yang dimasukkan. Pada penelitian ini akan dimasukkan beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisa dampak yang ditimbulkan dari api kebakaran serta mengetahui pengaruh penggunaan sistem *sprinkler* otomatis pada bangunan rumah susun ciracas. Input parameter yang dimasukkan seperti laju pelepasan panas, temperature, konsentrasi gas berupa CO, CO², ketebalan asap, oksigen droplet atau penurunan kadar oksigen dan sistem *sprinkler* otomatis.

3.3.8.1 Batas aman manusia terhadap peristiwa kebakaran

Fungsi penting dari sistem proteksi kebakaran selain didesain untuk meminimalisir kerugian akibat kebakaran juga untuk melindungi keselamatan dari penghuni gedung yang tinggal. Untuk melakukan evakuasi penghuni memerlukan waktu yang cukup agar tidak ada korban jiwa. Berikut parameter yang digunakan sebagai acuan batas aman dari berbagai literatur.

3.3.8.2 Batas temperatur aman

Radiasi panas akibat kebakaran dapat menimbulkan bahaya terhadap manusia, Bila seseorang terkena paparan panas dalam jangka waktu tertentu dapat menimbulkan luka bakar pada permukaan kulit mulai dari luka ringan sampai luka bakar yang merusak seluruh lapisan kulit, jaringan daging sampai tulang hingga menyebabkan kematian.



Gambar 3.7 Tingkat keparahan luka pada manusia akibat terpapar api kebakaran (slide materi ajar Heny Triasbudi,IR MSC. 2015)

Tabel 3.6 Tingkat keparahan akibat paparan panas

Mode of Heat Transfer	Symptom	Exposure Level
Radiation	Severe skin pain	2.5 (kw / m ²)
Conduction	Skin burns 1 s of contact (metal)	60 °C
Convection	Skin / lungs affected by hot gas in > 60 s	120 °C
Convection	Skin / lungs affected by hot gas in < 60 s	190 °C

Sumber : Jurnal of Fire Protection Engineering 1998; 9; 12 diacu dalam edi wahono, 2008

3.3.8.3 Produksi Asap kebakaran

Dalam keadaan normal kandungan oksigen di udara 21 % , saat terjadi kebakaran kandungan oksigen akan berkurang karena produksi asap hasil pembakaran. Hal ini akan memperlambat akses untuk evakuasi. Parameter aman suatu ruangan untuk menyelamatkan diri berkaitan dengan tingkat konsentrasi

karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hydrogen sianida (HCN), dan penurunan kandungan oksigen (O₂) dapat dilihat pada tabel.

Tabel 3.7 Tingkat keparahan akibat paparan asap kebakaran

Chemical Products	5 Minutes Exposure		30 Minutes Exposure	
	Incapacitation	Death	Incapacitation	Death
Carbon Monoxide	6000 ppm	12000 ppm	1400 ppm	2500 ppm
Low Oxygen	< 13 %	< 5 %	< 12 %	< 7 %
Carbon Dioxide	> 7 %	> 10 %	> 6 %	> 9 %

Sumber: Sumber : Jurnal of Fire Protection Engineering 1998; 9; 12 diacu dalam edi wahono, 2008

3.3.8.4 Hipoksia rendah oksigen.

Efek hipoksia adalah efek yang diakibatkan kekurangan oksigen karena rusaknya saluran pernafasan, oksigen rendah ditimbulkan sebagian oleh konsentrasi dan sebagian oleh dosis atau prosentase kandungan oksigen dengan zat lain di udara. Efek yang timbul dapat dilihat pada tabel 3.8

Tabel 3.8 Hubungan Persentasi dan Efek Kekurangan Oksigen.

Persentasi volume di udara (%)	Pengaruh (Efek) kekurangan O ₂
20.9 – 14.4	Tidak ada efek signifikan, sedikit kehilangan toleransi
14.4 – 11.8	Efek ringan pada ingatan, mengurangi toleransi
11.8 – 9.6	Pusing – pusing, pernafasan makin cepat, Inkapasitasi berat.
9.6 – 7	Pingsan , tidak sadar
5	Konsentrasi minimum untuk dapat hidup
2 – 3	Kematian dalam beberapa menit

Sumber : Suprpto (1992), Perkembangan Sistem Pengamanan terhadap bahaya kebakaran kaitannya dengan sistem tata udara pada bangunan, Bandung, seminar tata udara dan refrigerasi.

Tabel 3.9 Hubungan Persentasi dan Efek peningkatan karbon dioksida.

Persentasi (%)	Pengaruh (Efek) CO ₂
2	Pernafasan 30 % lebih cepat
3	Gangguan pernafasan
4	mulai terasa mual
4,5 – 5	Pernafasan cepat sekali dan mual
6	Gangguan pernafasan parah
7 – 9	Batas toleransi, pingsan
10 – 11	Pingsan, tidak sadar dalam 10 menit
15 – 20	Gejala iritasi bertambah
25– 30	Sesak nafas, tekanan darah turun, kematian setelah beberapa saat

Sumber : Suprpto (1992), Perkembangan Sistem Pengamanan terhadap bahaya kebakaran kaitannya dengan sistem tata udara pada bangunan, bandung, seminar tata udara dan refrigerasi.

3.3.8.5 Jarak pandang

Produksi asap hasil kebakaran dapat menghalangi pandangan saat melakukan evakuasi. Terbatasnya jarak pandang akan mempengaruhi keselamatan seseorang asap yang tebal akan menutupi penglihatan sehingga kehilangan arah dan tidak melihat petunjuk arah tanda keluar menuju lokasi yang lebih aman melalui tangga darurat. Keadaan berkurangnya kemampuan indra penglihatan seseorang saat melakukan evakuasi akan memperlambat pergerakan sehingga membutuhkan waktu yang cukup. Untuk itu dalam simulasi akan diketahui pengaruh waktu aktivasi sprinkler dengan berapa lama waktu untuk evakuasi yang aman.

Tabel 3.10 Batas aman jarak pandang terhadap asap kebakaran

Location	Minimum Visibility within Room
In a small room	2 m
Other rooms	10 m

Sumber : Sumber : Jurnal of Fire Protection Engineering 1998; 9; 12 diacu dalam edi wahono, 2008

Tabel 3.11 Parameter batas aman manusia terhadap peristiwa kebakaran

Tenability Type	Tenability Limit
Convective Heat	Temperature of the gas layer < 65 C (time to incapacitation for 30 minute exposure)
Smoke obscuration	Visibility in the relevant layer should not fall bellow 2 m (optical density 0.5 m^{-1})
Toxicity	CO < 1400 ppm (small children incapacitated in half the time) HCN < 80 ppm, O ₂ > 12 %, CO ₂ < 5 % (the above critical values leading to incapacitation in approximately 30 minute)
Radiant Heat	Radiant flux from upper layer < 2.5 kw/m ² (this corresponds to an upper gas layer temperature of approximately 200 C, above this the tolerance time < 20 s)

Sumber : Sumber : Jurnal of Fire Protection Engineering 1998; 9; 12 diacu dalam edi wahono, 2008

3.3.8.6 Batas aman parameter pengukuran

Dari berbagai literatur didapatkan batas aman terhadap parameter pengukuran untuk batas aman temperatur, jarak pandang, konsentrasi oksigen dan konsentrasi karbon dioksida yang dapat membahayakan penghuni yang tinggal yaitu :

1. Temperatur aman untuk evakuasi apabila paparan panas radiasi api kebakaran 60 C dalam jangka waktu terpapar 30 menit.
2. Batas jarak pandang aman dari asap hasil kebakaran yang menghalangi pandangan untuk memudahkan evakuasi yaitu 10 meter.

3. Satuan pengukuran konsentrasi gas yang digunakan dalam simulasi kebakaran FDS adalah mol yaitu satuan yang menyatakan jumlah partikel yang terkandung dalam sejumlah zat. 1 % konsentrasi sama dengan 0,1 mol. Batas konsentrasi gas yang aman untuk pernafasan. Batas aman Konsentrasi karbon dioksida untuk pernafasan yaitu konsentrasi lebih dari 4 % ($\text{CO}_2 < 5\% = 4\% = 0.04 \text{ mol}$).
4. Batas aman Konsentrasi penurunan oksigen untuk pernafasan yaitu konsentrasi kurang dari 13 % ($\text{O}_2 > 12\% = 13\% = 0,13 \text{ mol}$).

$$1\% = 0,1 \text{ mol}$$

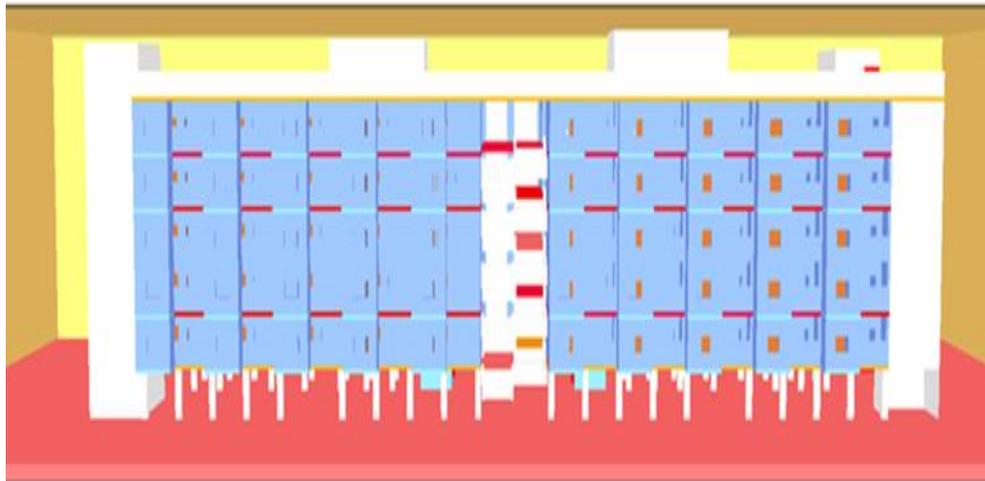
Pengukuran parameter pada simulasi kebakaran dilakukan untuk menentukan waktu tertentu selama paparan di mana korban potensial diprediksi keracunan, dan korban tidak mampu untuk melakukan evakuasi serta menentukan suatu saat di mana racun akibat asap kebakaran cukup untuk menyebabkan kematian selama kebakaran berlangsung atau karena terkena paparan panas api kebakaran yang dapat menyebabkan luka bakar.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi bangunan rumah susun ciracas

Rumah susun ciracas selesai dibangun pada tahun 2011 dan merupakan pemukiman untuk para Pegawai Negeri Sipil di lingkungan Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan DKI Jakarta yang berada di wilayah ciracas Jakarta Timur. Bangunan rumah susun tersebut milik pemda DKI yang dibangun oleh dinas perumahan rakyat.



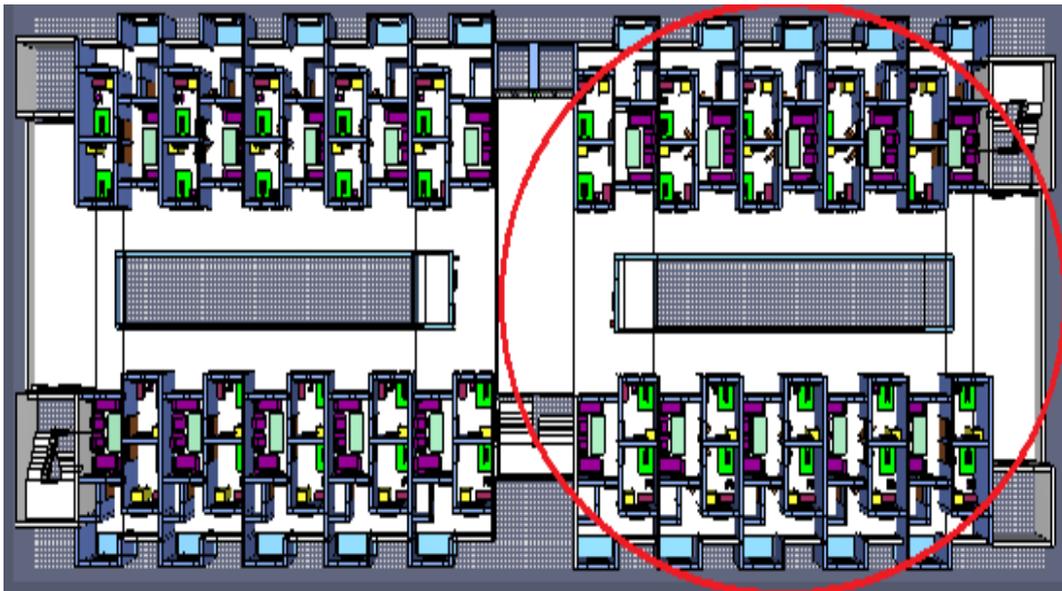
Gambar 4.1 Deskripsi konstruksi bangunan rumah susun ciracas

Terdapat dua tower bangunan, setiap bangunan memiliki lebar 20 meter panjang 70 meter dengan luas 1400m² dan tinggi 25 meter. Dengan jumlah 200 unit rumah untuk masing – masing tower. Satu tower bangunan rumah rumah susun terdiri dari:

1. Terdapat enam lantai rumah susun, satu lantai basemant sebagai ruang parkir dan lima lantai untuk rumah tinggal.
2. Setiap lantai rumah tinggal terdapat 20 unit rumah.

3. Setiap unit rumah memiliki panjang 6 meter lebar 6 meter dengan luas 36 meter.
4. Terdapat 1 tangga umum dan 2 tangga darurat untuk evakuasi
5. Pada gedung rumah susun terdapat sistem hidran yang dioperasikan secara manual dan sistem deteksi kebakaran. Pada penelitian ini kedua sistem ini tidak dibahas.
6. Pada bagian tengah tower terdapat atrium atau *hole* yang memungkinkan asap dapat menyebar ke seluruh lantai gedung.

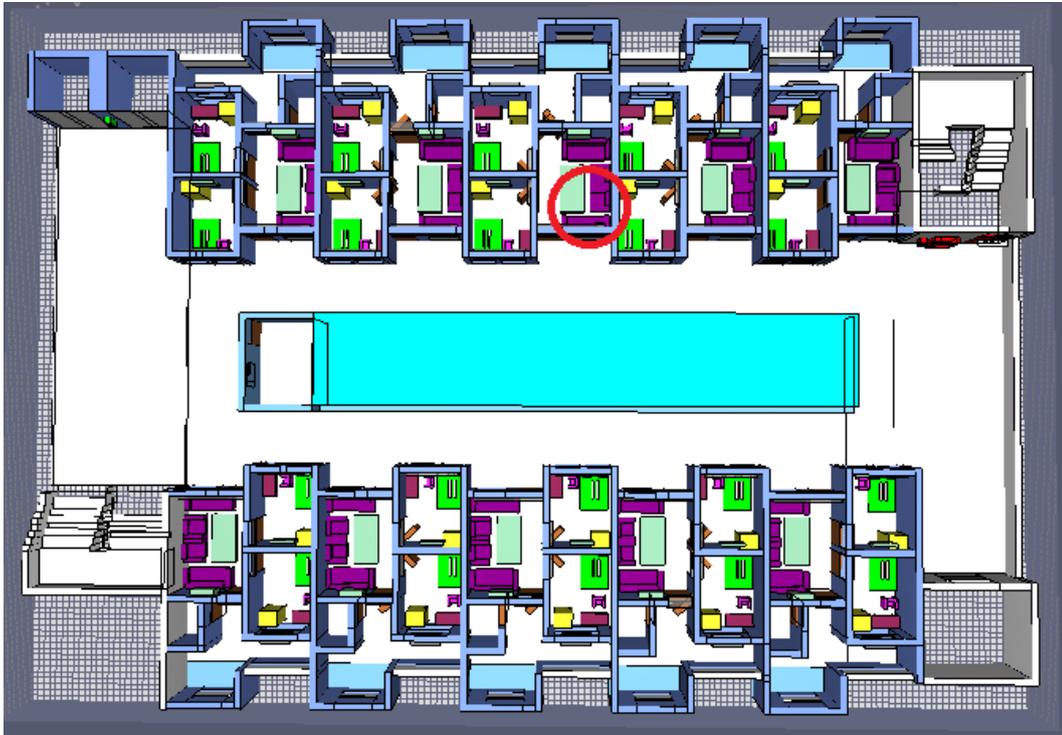
Dengan menggunakan data geometri dan koordinat dari material serta bentuk fisik rumah susun ciracas dapat dimasukkan sebagai data input *Fire Dynamic Simulator (FDS)*



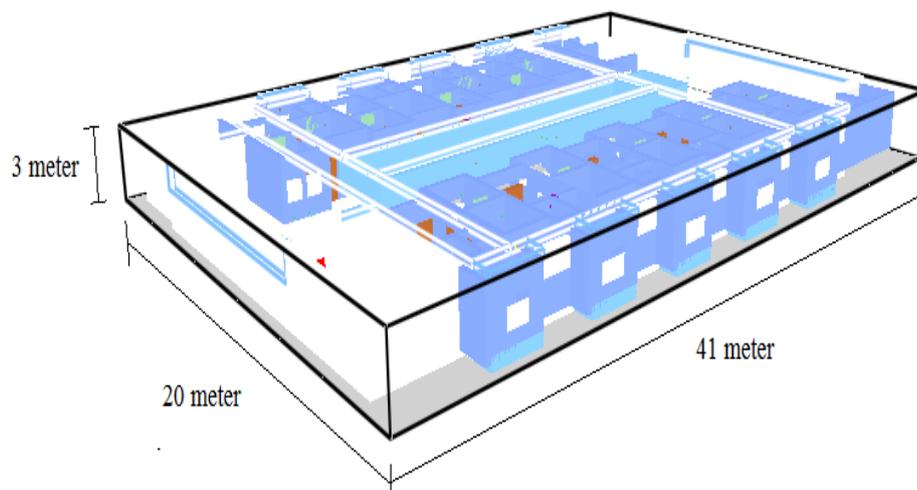
Gambar 4.2 Bentuk Geometri Ruang

Simulasi kebakaran ditentukan pada salah satu lantai gedung rumah susun sebagai objek, dengan mempertimbangkan pada semua lantai memiliki risiko yang sama pada saat terjadinya kebakaran. Untuk satu skenario kebakaran dengan satu lantai gedung serta waktu simulasi kebakaran 30 menit atau 1800 detik dibutuhkan waktu literasi lebih dari 10 hari. Maka diambil separuh lantai gedung agar lebih

fokus pada ruangan yang terbakar dan mempertimbangkan waktu literasi yang lambat.



Gambar 4.3 Area yang disimulasikan



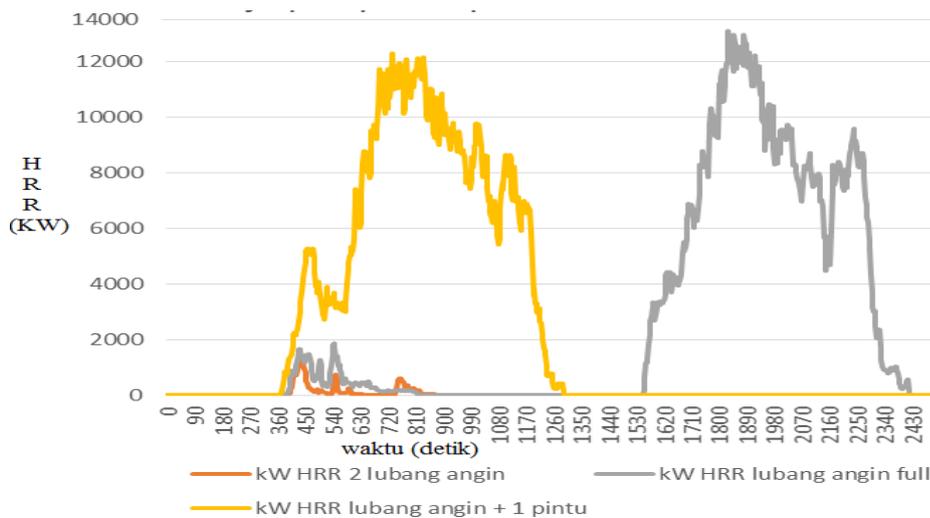
Gambar 4.4 Luas area yang disimulasikan

Area yang disimulasikan berukuran panjang 41 meter, lebar 20 meter dan tinggi 3 meter.

4.2 Analisa hasil simulasi kebakaran

4.2.1 Hasil skenario simulasi kebakaran 1

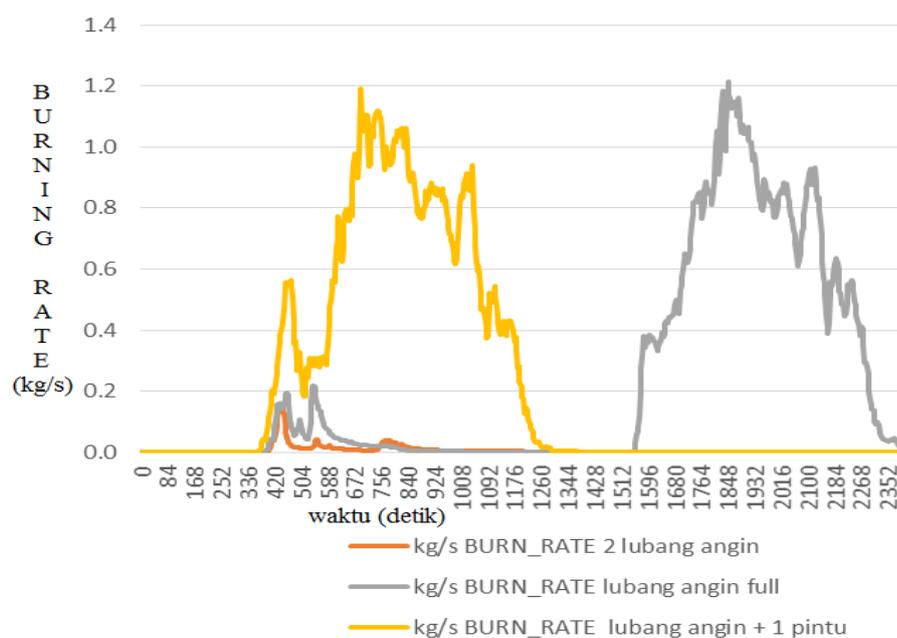
Sebelum melakukan simulasi utama terhadap pengaruh waktu aktivasi sprinkler perlu dilakukan skenario simulasi untuk menentukan kondisi ruangan yang mendukung proses perkembangan api awal kebakaran. Pada kebakaran dalam ruangan oksigen untuk pertumbuhan api awal yang ada sangat terbatas. Untuk itu api sangat dikendalikan oleh suplai oksigen dari luar ruangan. Skenario simulasi terhadap pengaruh bukaan atau ventilasi untuk 1 unit rumah menghasilkan parameter pertumbuhan api saat awal kebakaran yang berupa laju pelepasan panas dan laju pembakaran seperti pada grafik 4.1 dan 4.2



Grafik 4.1 Laju pelepasan panas 1 unit rumah

Dari grafik 4.1 dan 4.2 terlihat peningkatan laju pelepasan panas dan laju pembakaran untuk skenario kebakaran 1 C dengan ventilasi lubang angin setiap ruangan dan 1 pintu dalam keadaan terbuka meningkat lebih cepat, mulai dari api awal kebakaran muncul. Hal ini diakibatkan oleh oksigen yang ada cukup untuk perkembangan api dan didukung suplai oksigen dari luar ruangan melalui bukaan

ventilasi sedangkan untuk skenario kebakaran 1 B dengan ventilasi lubang angin setiap ruangan tanpa adanya bukaan lain, pada awal kebakaran api berkembang secara perlahan kemudian padam karena oksigen yang ada tidak cukup dan suplai oksigen dari luar ruangan terbatas karena ruangan dipenuhi oleh asap akan tetapi temperatur pada titik api masih tinggi. Asap yang ada di dalam ruangan secara perlahan keluar sehingga oksigen dari luar dapat masuk ke dalam ruangan dalam waktu beberapa lama api kembali menyala dan membesar karena temperatur ruangan meningkat dan suplai oksigen dari luar ruangan cukup untuk perkembangan api.



Grafik 4.2 Laju pembakaran 1 unit rumah

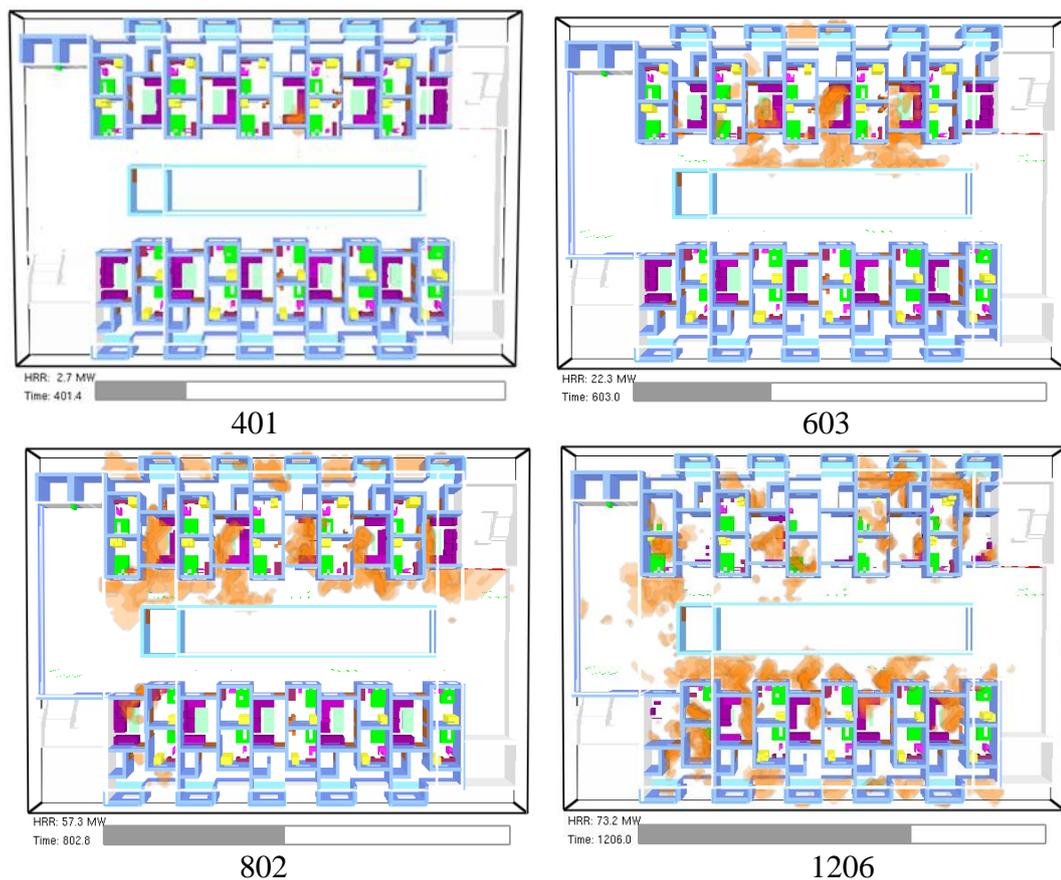
Untuk skenario kebakaran 1 A dengan ventilasi lubang angin hanya pada ruang tamu pada awal kebakaran api berkembang akan tetapi api padam karena tidak didukung oleh suplai oksigen dari luar ruangan dan asap kebakaran sulit untuk keluar, ventilasi ruangan tidak dapat mendukung perkembangan api. Dari hasil ketiga skenario simulasi kebakaran terhadap pengaruh ventilasi, skenario 1.C yaitu

skenario kebakaran dengan ventilasi lubang angin setiap ruangan serta 1 pintu dalam keadaan terbuka memiliki pengaruh terbesar untuk perkembangan api sehingga dapat digunakan pada skenario simulasi utama.

4.2.2 Hasil tampilan visual skenario simulasi kebakaran 2

4.2.2.1 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.1

Skenario kebakaran pada simulasi 2.1 ditentukan sistem sprinkler otomatis tidak aktif hingga api padam dengan sendirinya karena bahan bakar yang ada habis terbakar.





Gambar 4.5 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi

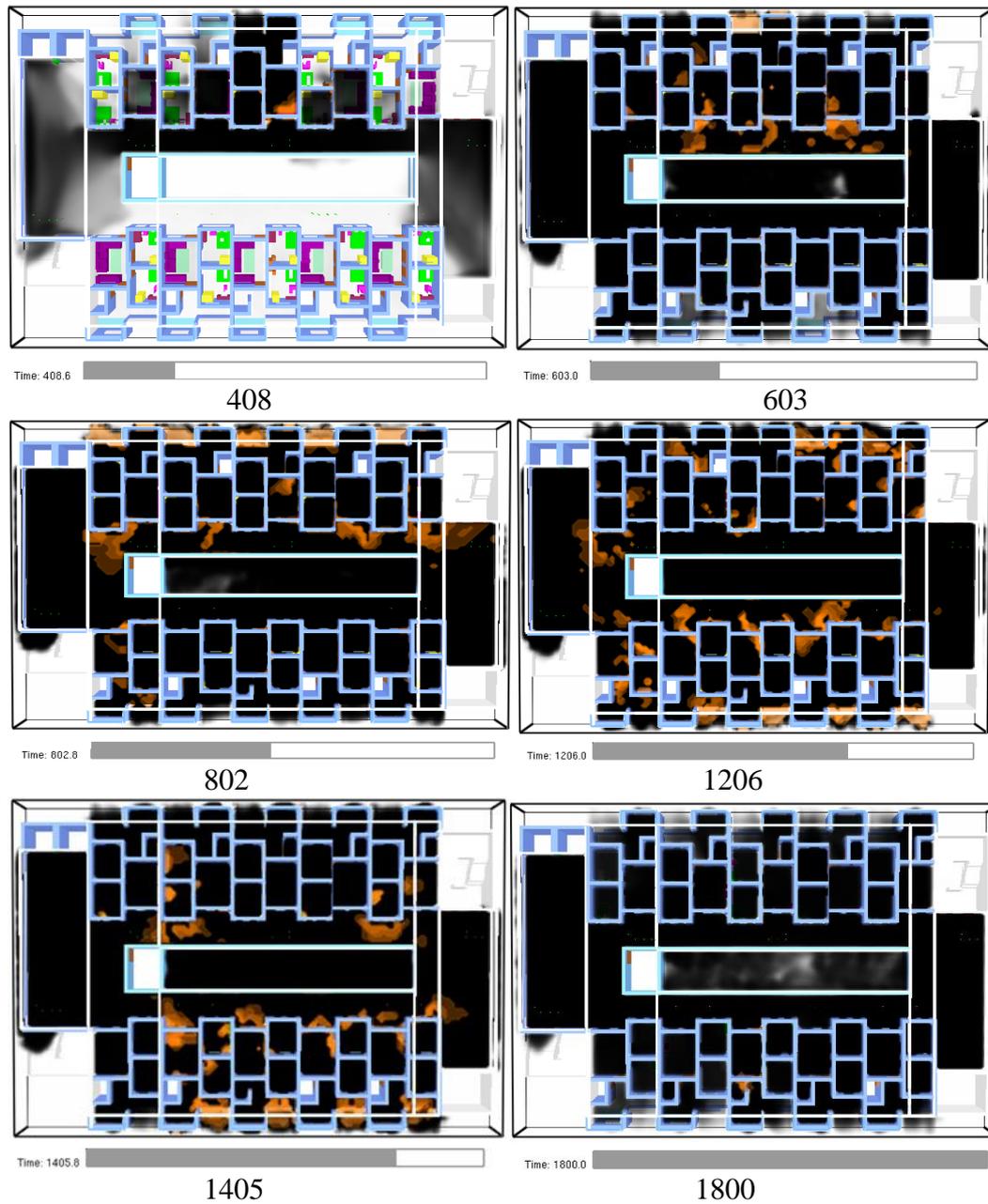
kebakaran 2.1 setiap tahapan waktu

Api awal kebakaran muncul pada ruang tamu salah satu unit rumah yang berada di tengah rumah unit lainnya. Pada detik ke 401 laju pelepasan panas mencapai 2,7 MW cukup untuk membakar seluruh benda yang mudah terbakar pada ruang tamu, api yang terjadi masih bisa dikendalikan, tanpa adanya upaya pemadaman dalam waktu singkat seluruh ruangan akan terbakar. Pada detik ke 603 laju pelepasan panas mencapai 22,3 MW api menjalar keluar ruangan melalui bukaan pintu dan jendela sehingga api menyebar ke rumah yang berada di samping rumah yang terbakar karena antara unit rumah hanya dibatasi oleh tembok tanpa adanya jarak.

Pada detik ke 802 laju pelepasan panas mencapai 57,3 MW, api sulit dikendalikan dengan apar atau pun sistem sprinkler otomatis karena api sudah merambat dan membakar unit rumah yang ada di samping kiri dan kanan rumah yang terbakar. Pada detik ke 1206 laju pelepasan panas mencapai 73,2 MW, dengan laju pelepasan panas yang tinggi api menyebar ke rumah yang berhadapan dengan rumah yang terbakar karena radiasi panas dan temperatur asap yang tinggi.

Pada detik ke 1405 laju pelepasan panas mencapai 53,1 MW seluruh unit rumah terbakar sampai habis kemudian secara perlahan api padam dengan

sendirinya karena bahan bakar yang ada telah habis. Pada detik ke 1800 laju pelepasan panas 1,7 MW api mulai padam tetapi temperatur masih cukup tinggi.

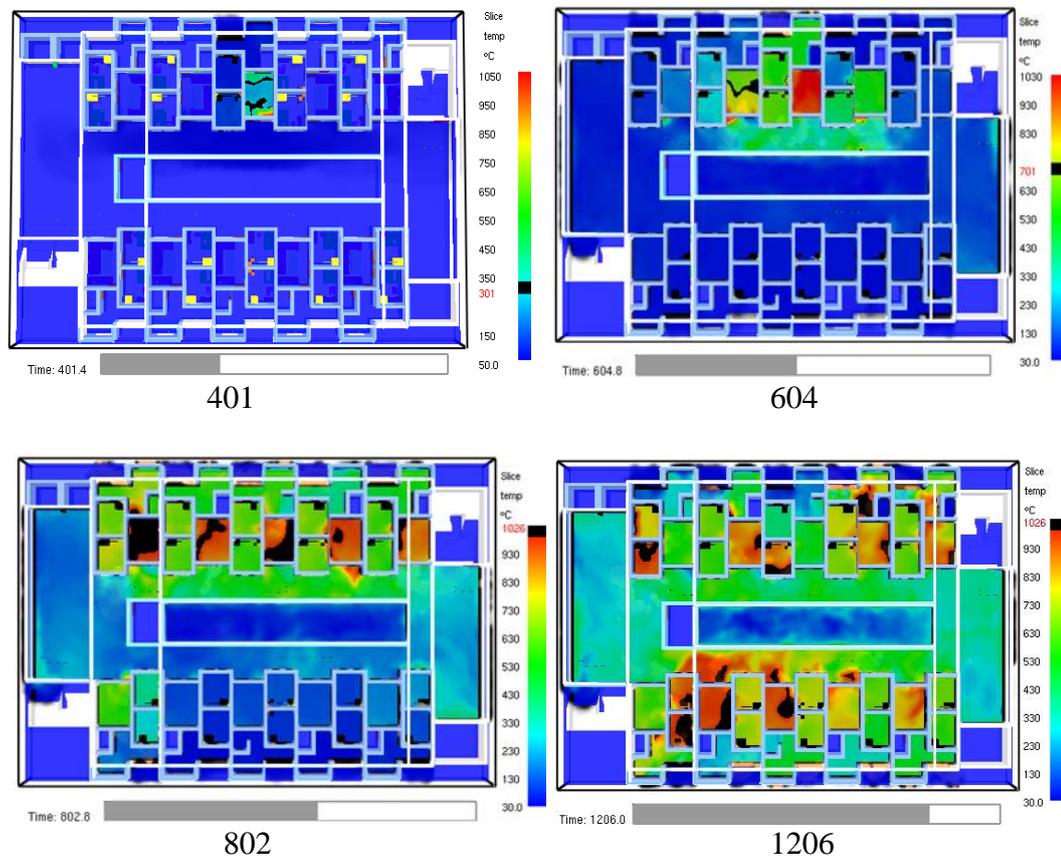


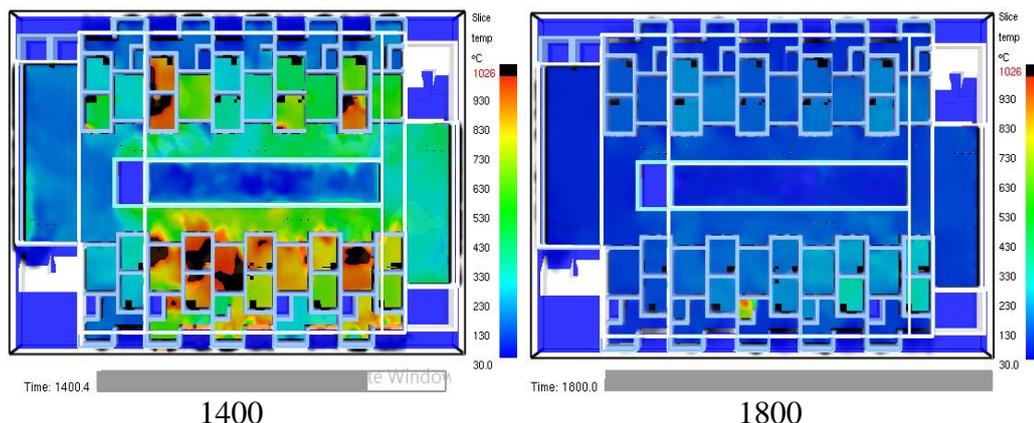
Gambar 4.6 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.1 setiap tahapan waktu.

Gambar 4.6 menunjukkan penyebaran api dan asap pada saat terjadi kebakaran tanpa adanya sistem sprinkler otomatis. Detik ke 408 api awal dari ruang tamu

mulai tumbuh dan membesar kemudian membakar seluruh material yang ada di ruangan sekitarnya. Detik ke 603 api sulit dikendalikan api dan asap keluar melalui bukaan pintu dan jendela karena seluruh ruangan sudah dipenuhi oleh asap. Api dan asap yang bertemperatur tinggi kemudian keluar ruangan menyebabkan penjarangan api ke rumah yang berada sebelah kiri dan kanan dari rumah yang terbakar.

Detik ke 802 api telah menyebar dan membakar seluruh rumah yang berada di samping kiri dan kanan dari rumah awal api muncul. Detik ke 1206 api mulai menyebar ke rumah yang berada di hadapan rumah yang terbakar ini disebabkan karena radiasi panas yang tinggi dan penyebaran api dan asap yang bertemperatur tinggi. Detik ke 1405 seluruh unit rumah terbakar dan ruangan dipenuhi oleh api dan asap. Detik ke 1800 secara perlahan api mulai padam karena bahan bakar telah habis namun asap kebakaran masih memenuhi seluruh ruangan.





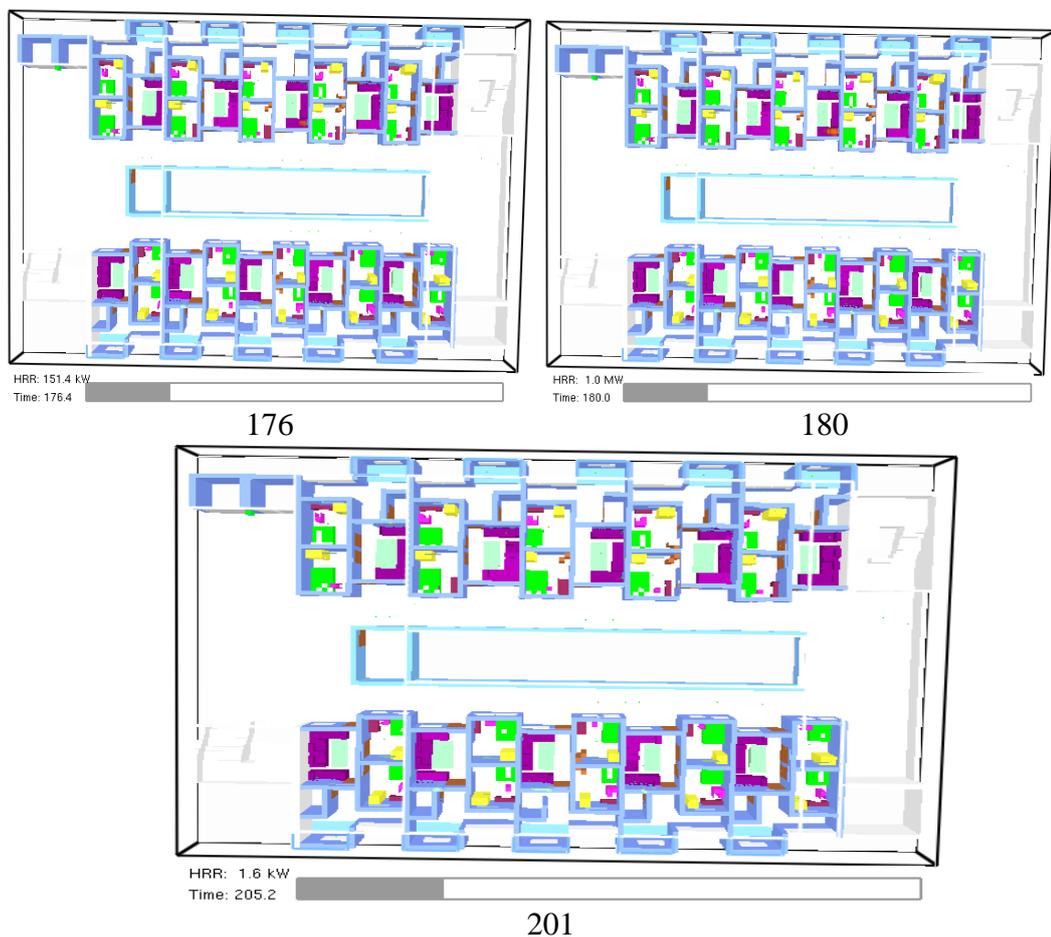
Gambar 4.7 Tampilan visual peningkatan temperatur api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.1 setiap tahapan waktu

Gambar 4.7 menunjukkan peningkatan temperatur dari awal penyalaan sampai tahap pelapukan. Pada detik ke 401 temperatur ruang tamu yang menjadi awal munculnya api kebakaran mencapai $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ konsentrasi oksigen yang berada di dalam ruangan masih cukup untuk perkembangan api lebih besar. Detik ke 604 temperatur ruang tamu naik hingga mencapai $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur ruangan lain nya mencapai $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, pada detik ini telah terjadi flashover sehingga kebakaran yang terjadi sangat dipengaruhi oleh supply oksigen yang berada di luar ruangan melalui bukaan pintu dan jendela agar api dapat berkembang kemudian api telah merambat ke rumah sebelahnya yang berdekatan dengan titik api kebakaran.

Detik ke 802 temperatur yang terjadi bervariasi antara $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $1026\text{ }^{\circ}\text{C}$ api telah menyebar seluruh barisan rumah yang berdekatan dengan titik awal api. Dari detik ke 1206 hingga 1407 seluruh ruangan telah terbakar dan temperatur ruangan mencapai antara $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1026\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada detik ke 1800 temperatur mulai turun.

4.2.2.2 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.2

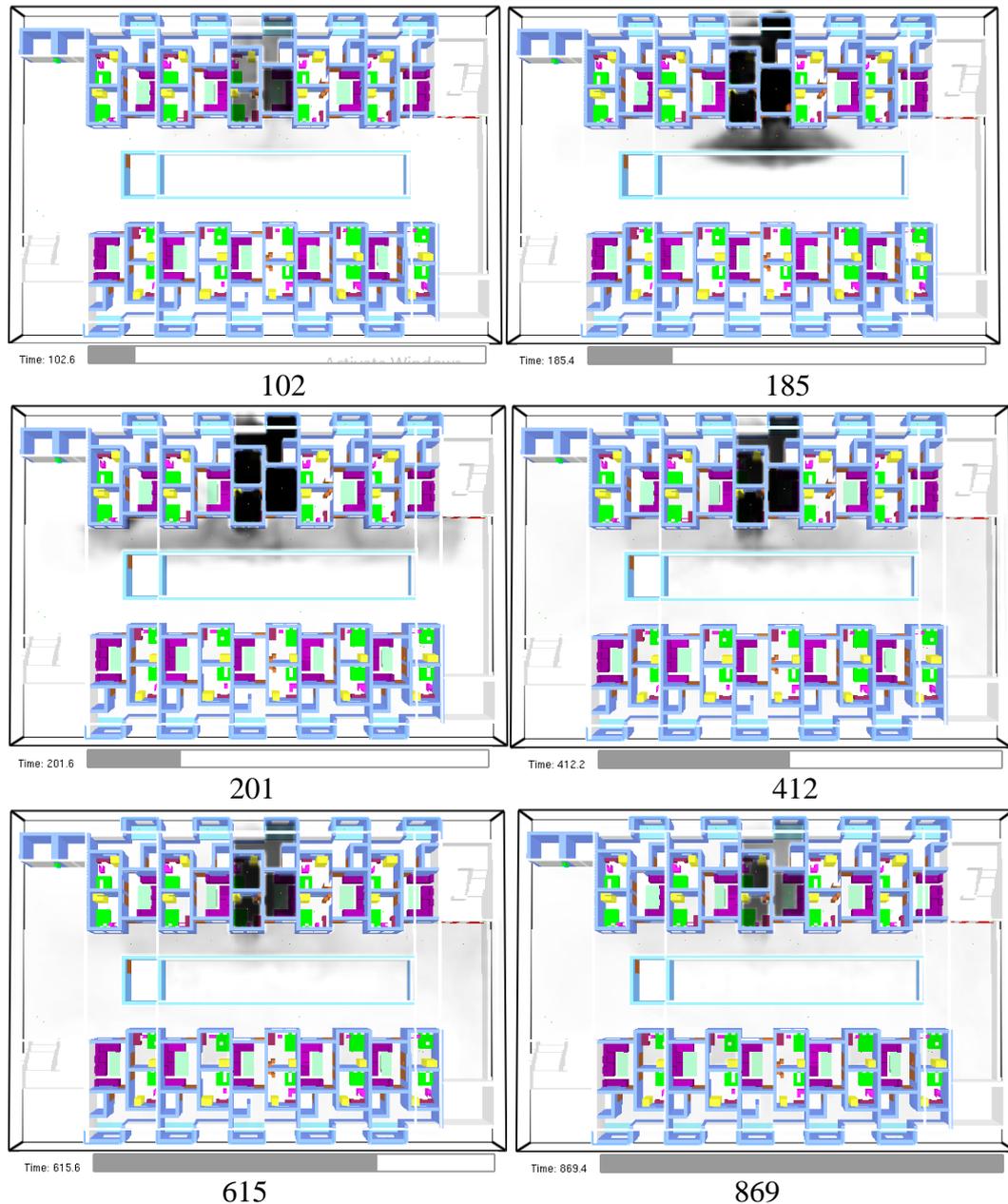
Pada skenario simulasi 2.2 api yang muncul pada awal kebakaran dapat dipadamkan dengan sistem sprinkler otomatis saat temperature langit – langit ruangan mencapai 68 °C. Tabung kaca pada kepala sprinkler pecah karena terpapar panas oleh asap hasil kebakaran yang bertemperatur lebih dari 68 °C yang berkumpul pada langit -langit ruangan. Proses api kebakaran dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.2 setiap tahapan waktu

Dari gambar 4.8 terlihat api pada awal kebakaran muncul pada detik ke 176 dengan nilai laju pelepasan panas 151,4 kw kemudian api berkembang sampai

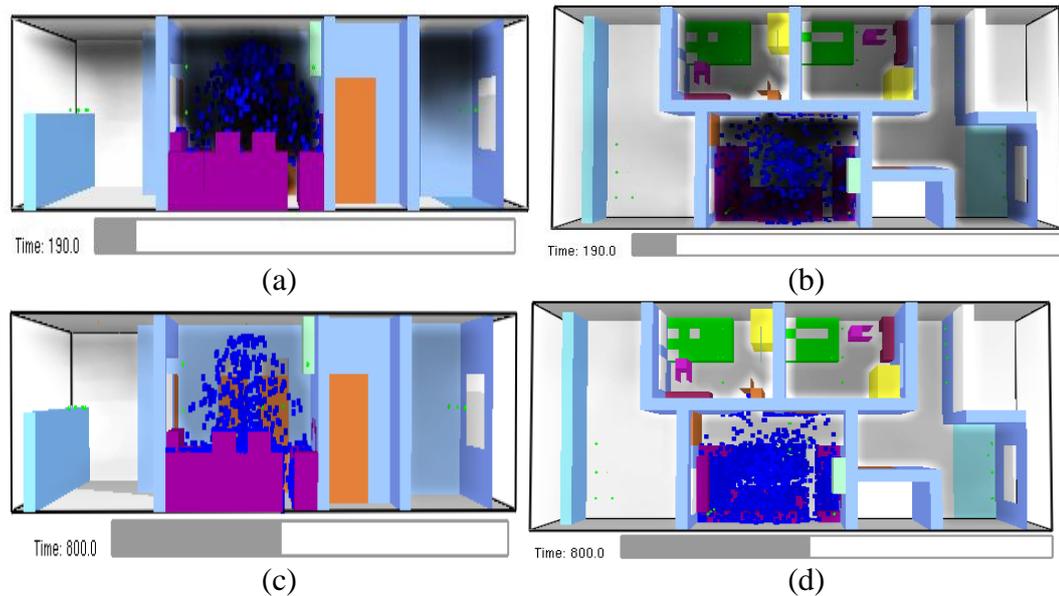
detik ke 180 dengan laju pelepasan panas mencapai 1 MW dan secara perlahan padam sampai detik ke 201 karena dipadamkan oleh percikan air yang keluar pada kepala sprinkler ke seluruh ruang tamu.



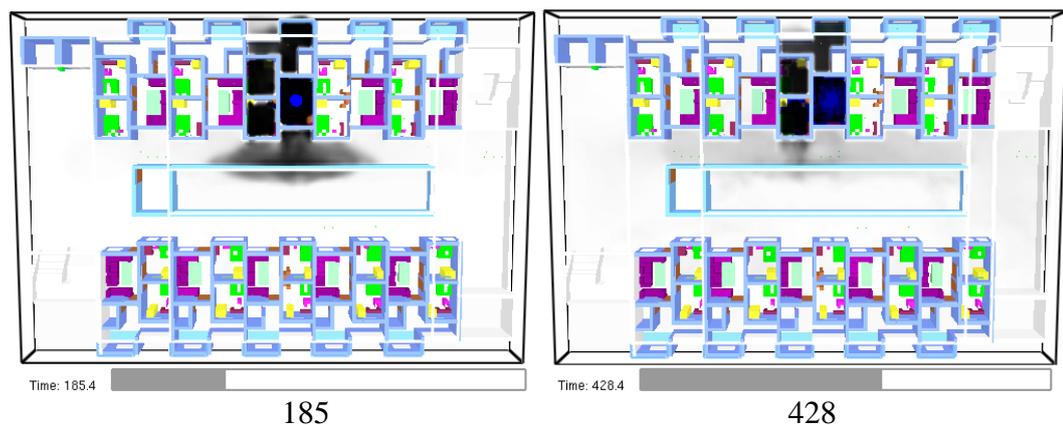
Gambar 4.9 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.2 setiap tahapan waktu

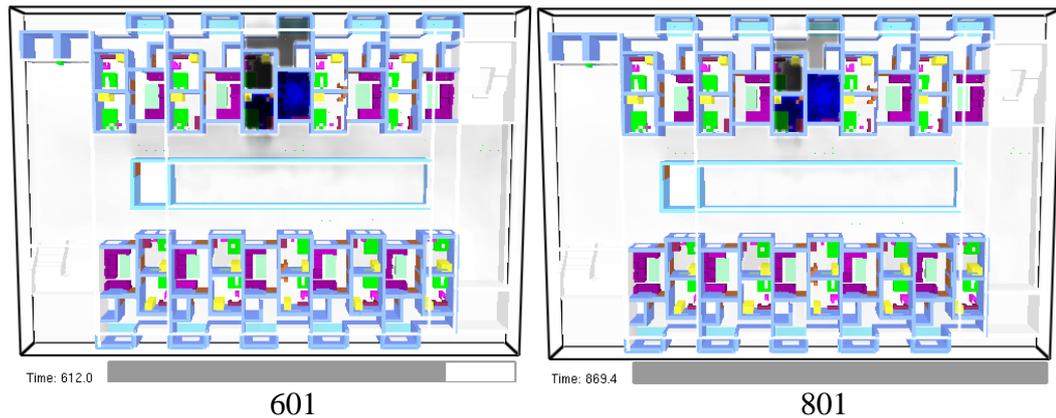
Pada gambar 4.9 terlihat asap kebakaran yang dihasilkan dari api awal kebakaran pada detik 102 menumpuk pada langit – langit ruang tamu hingga detik

ke 180 api dan asap meningkat sampai memenuhi ruangan dan asap keluar ruangan melalui bukaan pintu dan jendela. Detik ke 201 api telah padam karena terkena percikan air dari kepala sprinkler akan tetapi asap masih memenuhi seluruh ruangan bahkan memenuhi jalan atau koridor yang ada di depan rumah.



Gambar 4.10 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.2 detik ke 190 (a) tampak samping (b) tampak atas dan detik ke 800 (c) tampak samping (d) tampak atas



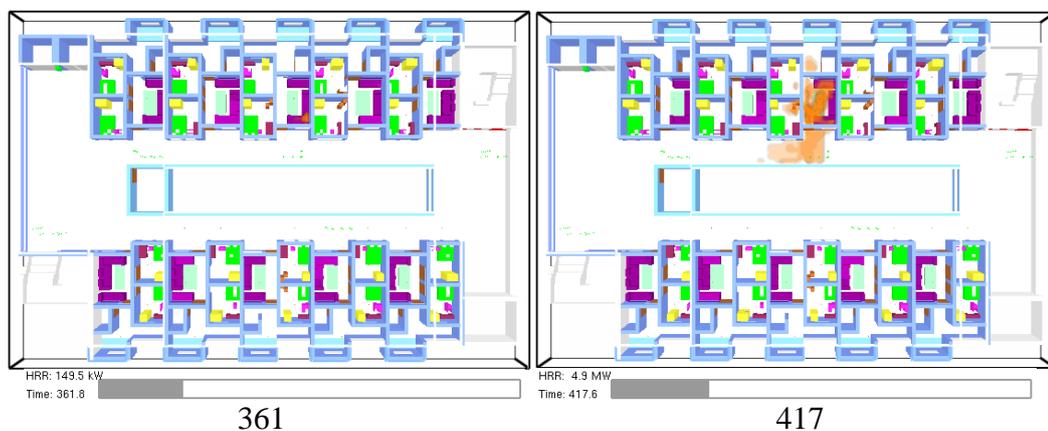


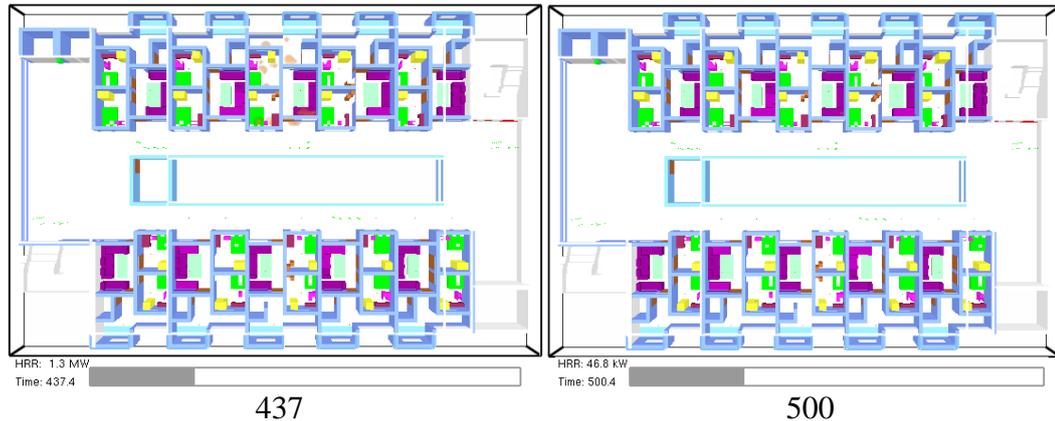
Gambar 4.11 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.2 setiap tahapan waktu

Pada gambar 4.10 dan 4.11 terlihat bola kaca yang terdapat pada kepala sprinkler pecah pada detik ke 185 karena temperatur langit – langit mencapai 68 °C. Detik ke 401 percikan air dari kepala sprinkler secara perlahan mendorong asap yang memenuhi seluruh ruangan ke luar ruangan sampai detik ke 801 asap mulai menipis.

4.2.2.3 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.3

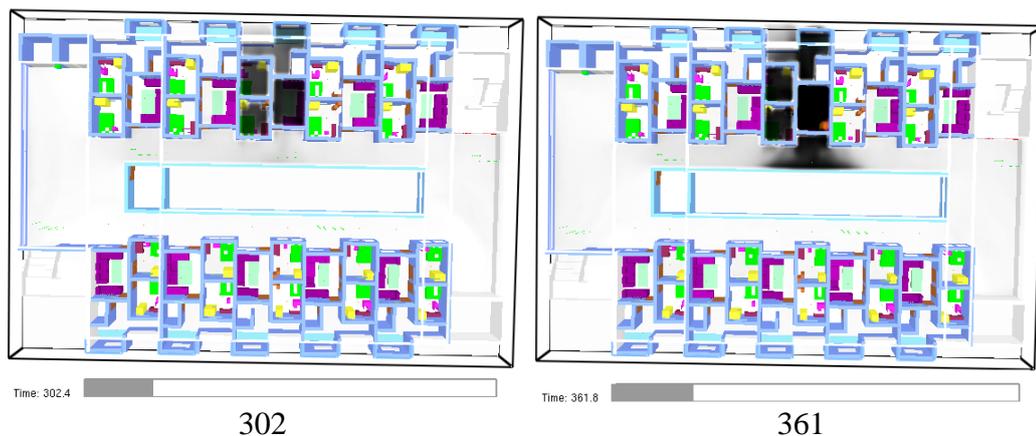
Pada skenario simulasi 2.3 api kebakaran berkembang hingga detik ke 420 atau 7 menit untuk mengetahui pengaruh yang terjadi apabila sistem sprinkler otomatis terlambat aktif hingga 7 menit. Proses perambatan api dan penyebaran asap dapat dilihat pada gambar berikut.

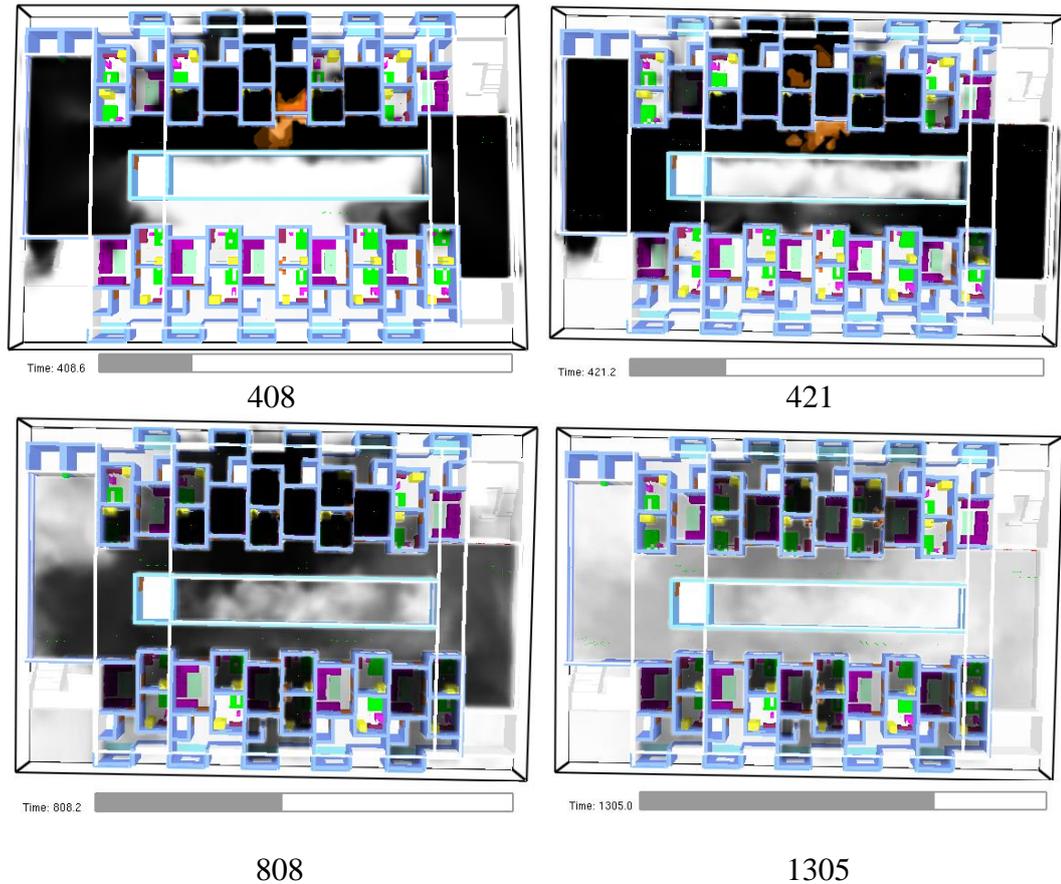




Gambar 4.12 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.3 setiap tahapan waktu

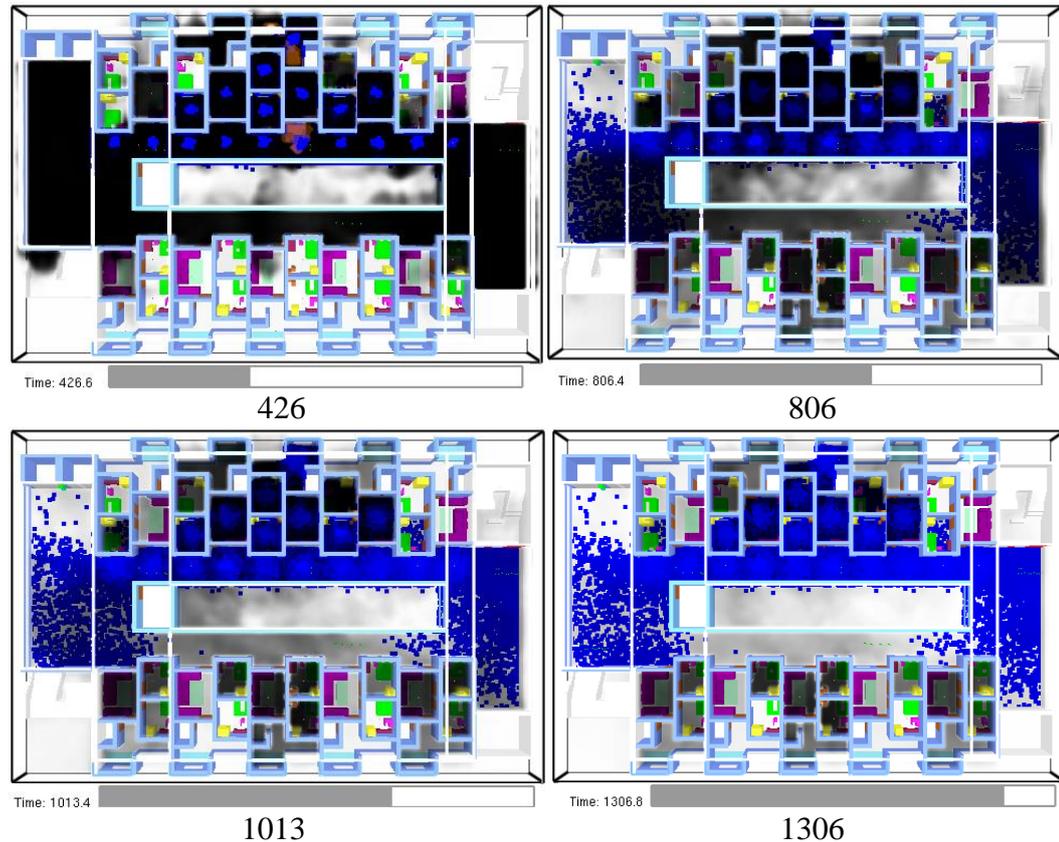
Gambar 4.12 menampilkan pertumbuhan api hingga detik ke 420 kemudian sistem sprinkler otomatis aktif. Pada detik ke 361 api tumbuh dengan nilai HRR 149,5 kw dan membakar sebuah sofa yang ada di ruang tamu. Detik ke 417 api kebakaran telah merambat hingga ke koridor jalan dengan nilai laju pelepasan panas 4,9 MW. Detik ke 421 api sudah membesar hingga api keluar melalui bukaan pintu dan jendela kemudian sistem sprinkler otomatis aktif dan memadamkan api kebakaran. Detik ke 437 api kebakaran belum dapat dikendalikan laju pelepasan panas mencapai 1,3 MW. Detik ke 500 api padam.





Gambar 4.13 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.3 setiap tahapan waktu

Dapat dilihat pada gambar 4.13, detik ke 302 api yang terjadi relatif tidak terlalu besar namun asap sudah memenuhi seluruh ruangan hingga mengarah ke luar ruangan. Detik ke 361 api sudah membesar dan asap memenuhi jalan atau koridor di depan rumah yang terbakar. Detik 421 api menjalar keluar dan produksi asap semakin meningkat kemudian sistem sprinkler otomatis aktif, air mengalir dan menyebar ke seluruh ruangan yang terpapar api kebakaran dengan waktu singkat api padam. Detik ke 808 api sepenuhnya telah padam namun asap masih memenuhi ruangan sampai detik ke 1305 asap secara perlahan hilang karena terdorong oleh percikan air dari kepala sprinkler.

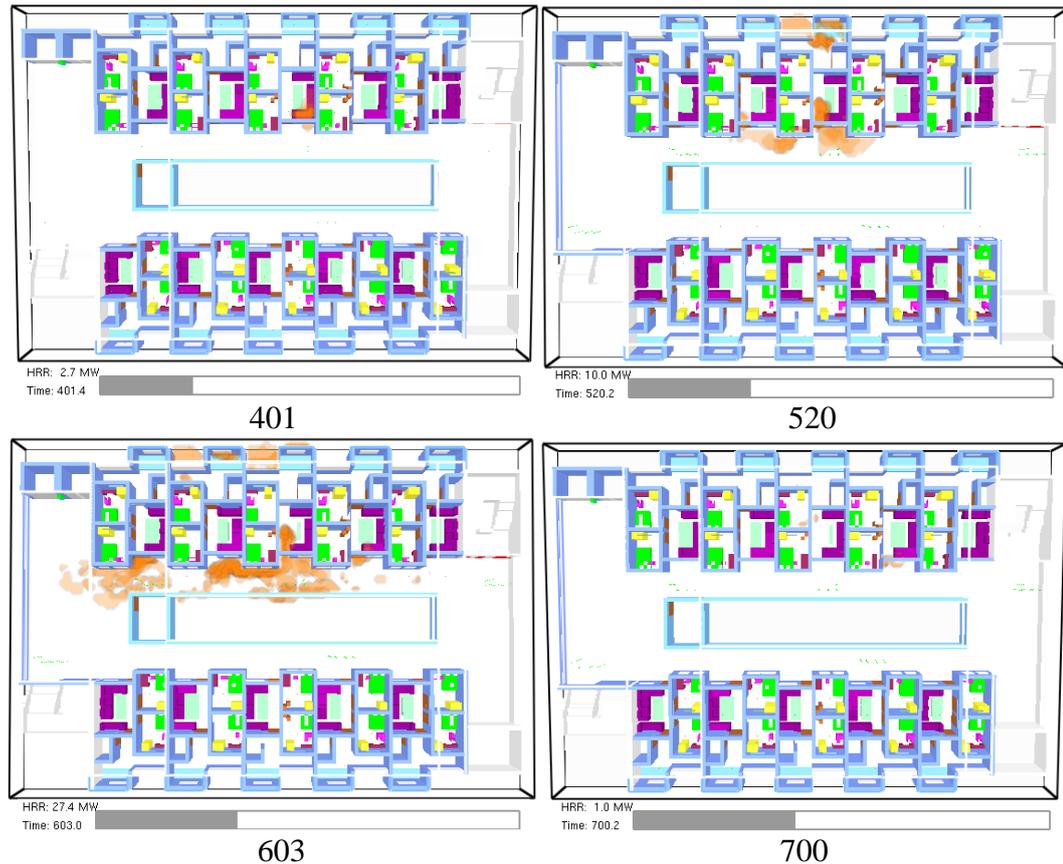


Gambar 4.14 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.3 setiap tahapan waktu

Gambar 4.14 menampilkan proses aktivasi sistem sprinkler otomatis dari waktu ke waktu. Kepala sprinkler memercikan air untuk memadamkan api kebakaran yang terjadi dengan waktu keterlambatan 7 menit atau pada detik ke 426, dalam waktu singkat api kebakaran padam. Detik ke 500 api telah padam namun asap masih memenuhi ruangan secara perlahan asap menghilang hingga detik ke 1306.

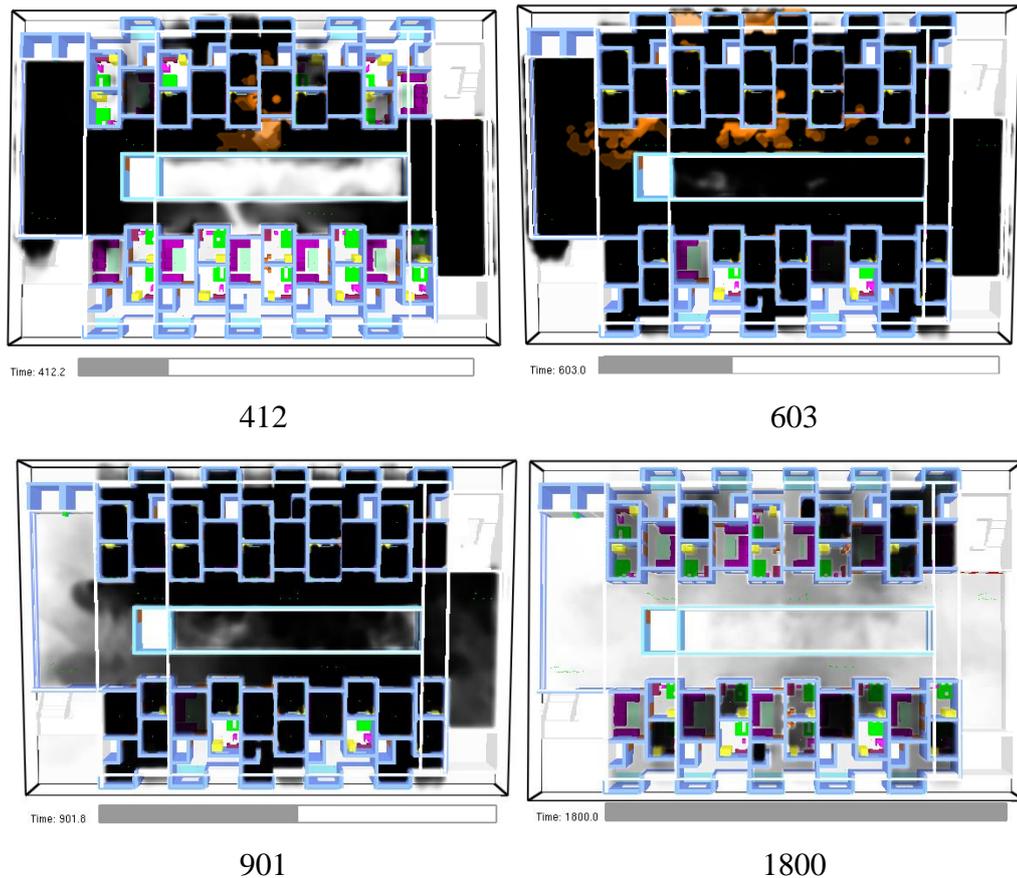
4.2.2.4 Analisa visual skenario simulasi kebakaran 2.4

Pada skenario simulasi 2.4 api kebakaran berkembang hingga detik ke 600 atau 10 menit. Untuk mengetahui pengaruh yang terjadi apabila sistem sprinkler otomatis terlambat aktif hingga 10 menit. Proses perambatan api dan penyebaran asap dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.15 Tampilan visual perkembangan api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu

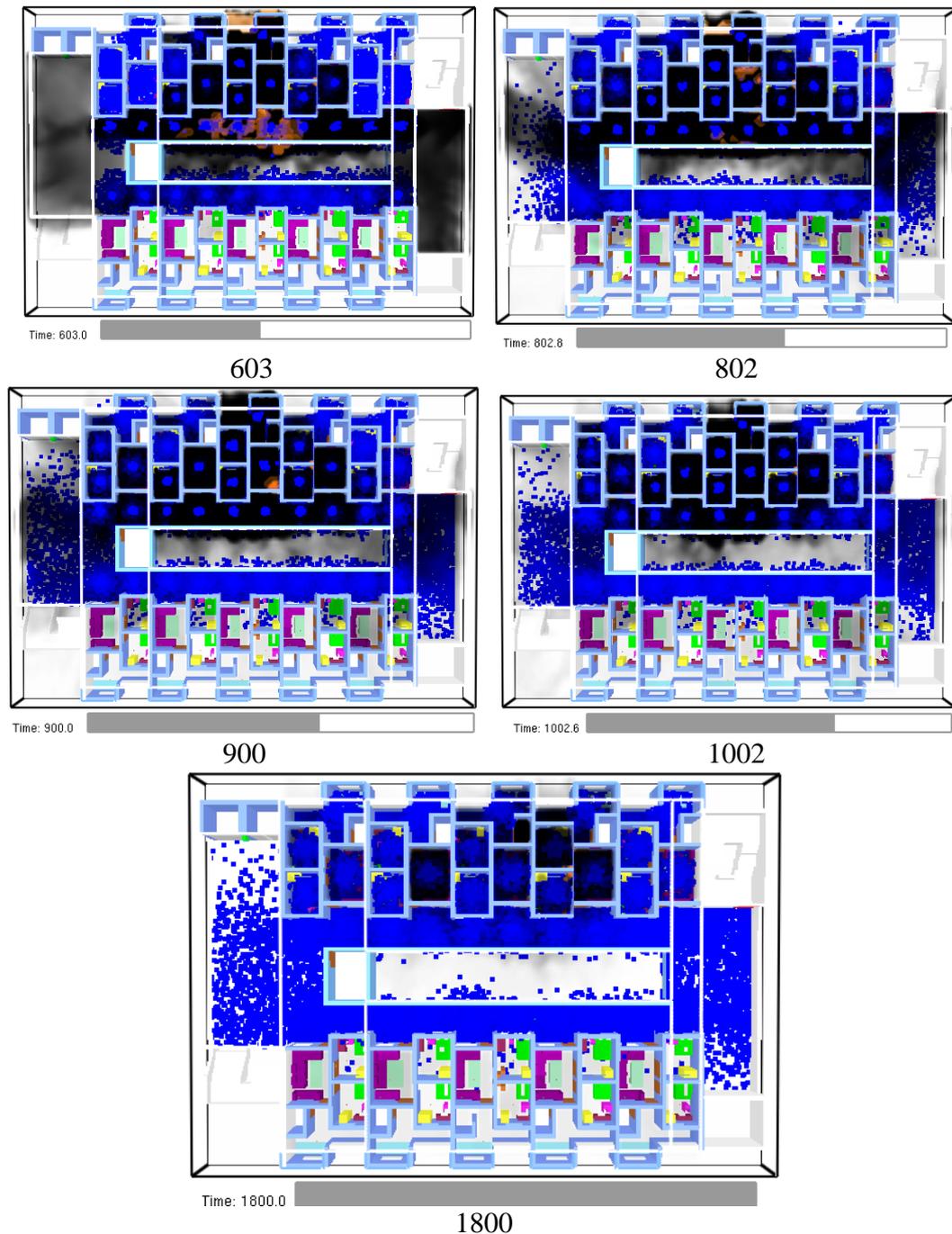
Pada gambar 4.15 menggambarkan proses kebakaran dengan waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis 10 menit atau 600 detik. Pada detik ke 401 api membesar membakar seluruh isi ruangan yang ada di ruang tamu. Detik ke 520 api kebakaran telah merambat dan membakar sebuah pintu rumah yang ada di sampingnya dengan nilai HRR 10 MW. Detik ke 603 api berkembang dengan cepat hingga merambat ke rumah sebelah kiri dan kanan dari rumah yang terbakar dengan laju pelepasan panas mencapai 27,4 MW, kemudian sistem sprinkler otomatis mulai aktif memadamkan api kebakaran yang terjadi namun hingga detik ke 700 api masih belum padam dengan sempurna dan nilai HRR masih cukup besar yaitu 1 MW. Pada detik ke 1008 api padam secara keseluruhan.



Gambar 4.16 Tampilan visual perkembangan produksi asap kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu

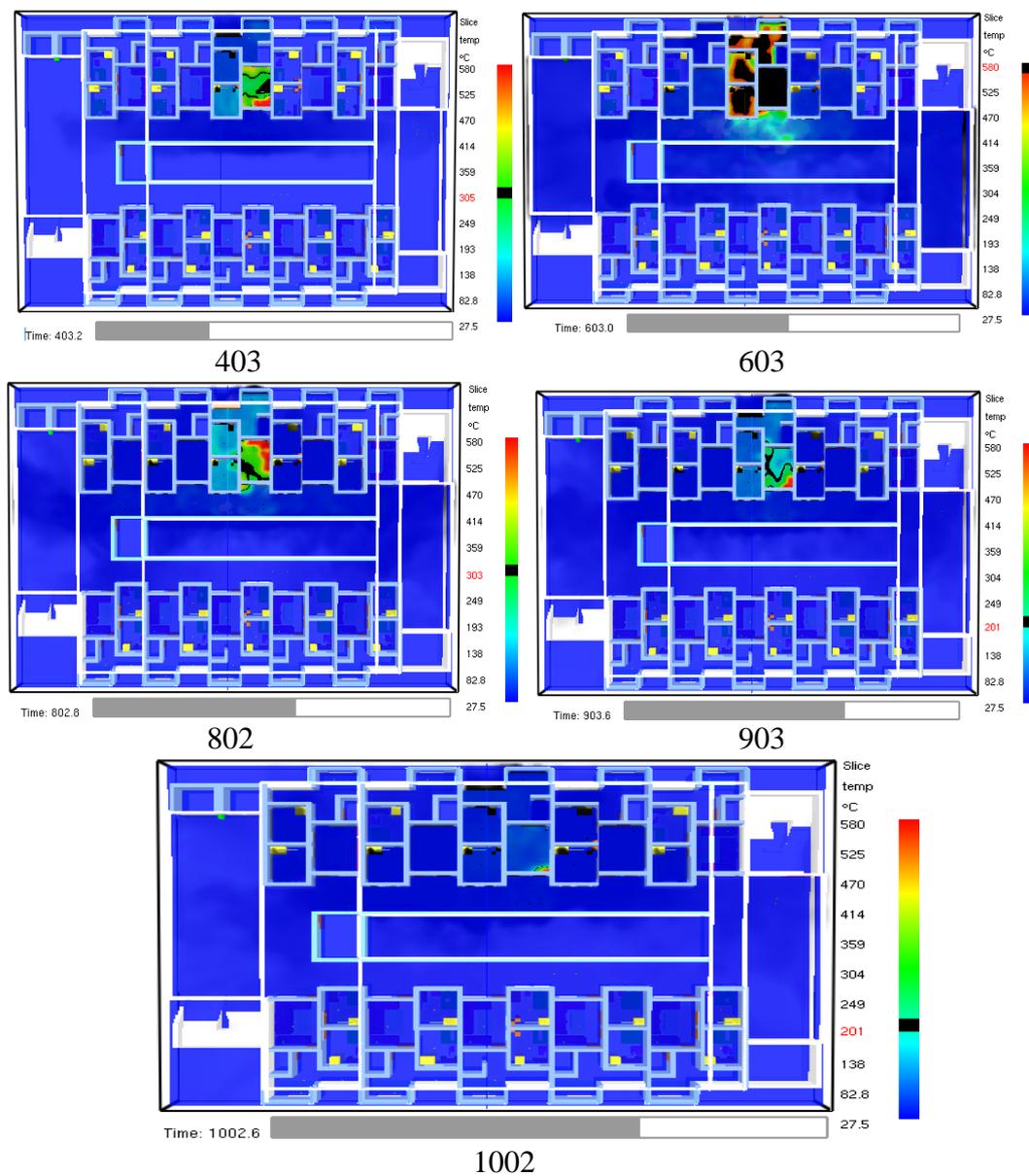
Pada gambar 4.16 menunjukkan proses perambatan panas dan penyebaran asap saat terjadi kebakaran dengan keterlambatan waktu aktivasi 10 menit atau 600 detik. Pada detik ke 412 api sudah memenuhi seluruh ruang tamu hingga menjalar ke koridor jalan dan produksi asap akibat kebakaran terus meningkat. Hingga detik ke 603 api kebakaran berkembang dengan cepat kemudian api merambat ke rumah yang ada di sampingnya asap kebakaran yang dihasilkan menyebar ke seluruh ruangan serta menutupi jalan atau koridor yang berada di depan rumah yang terbakar. Sistem sprinkler otomatis mulai aktif memadamkan api kebakaran yang terjadi hingga detik ke 802 api kebakaran masih belum dapat

dikendalikan. Pada detik ke 1008 api kebakaran padam akan tetapi asap yang ditimbulkan akibat kebakaran masih menyebar di seluruh ruangan sampai detik ke 1800 asap kebakaran masih menyebar ke beberapa ruangan.



Gambar 4.17 Tampilan visual aktivasi sistem sprinkler otomatis skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu

Pada gambar 4.17 menampilkan proses pemadaman sistem sprinkler oromatis dengan keterlambatan waktu aktivasi 600 detik. Detik 603 kepala sprinkler mulai memercikkan air ke seluruh ruang yang terbakar, hingga detik ke 900 api kebakaran belum dapat dikendalikan. Saat detik ke 1002 api dapat dipadamkan namun konsentrasi asap masih cukup tinggi hingga detik 1800 asap masih berada pada beberapa ruangan.

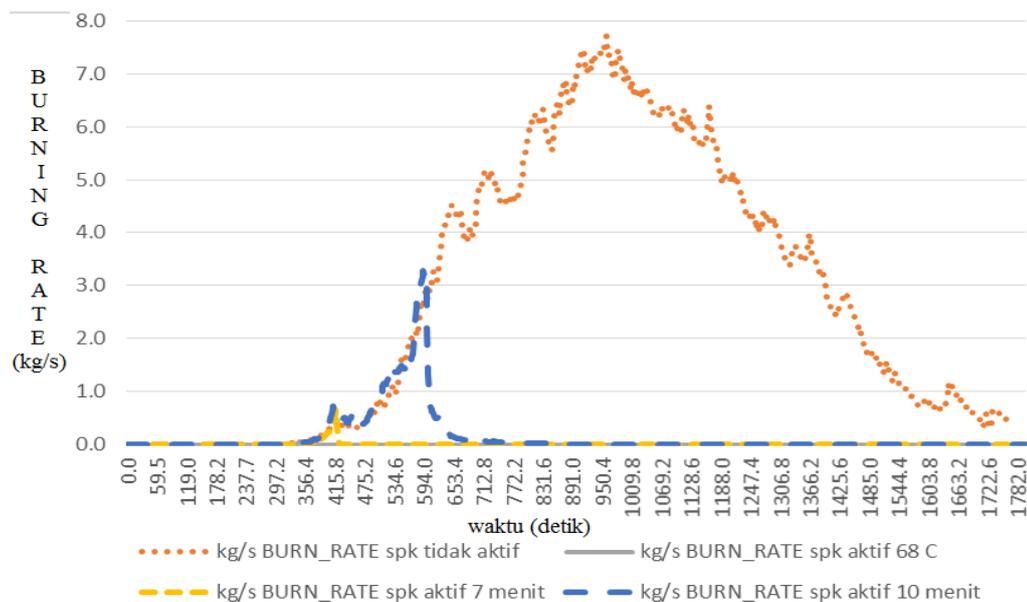


Gambar 4.18 Tampilan visual peningkatan temperatur api kebakaran skenario simulasi kebakaran 2.4 setiap tahapan waktu

Gambar 4.18 menampilkan peningkatan temperatur dari tiap tahapan waktu. Pada detik ke 403 temperatur ruang tamu yang merupakan awal timbulnya api kebakaran terjadi, mencapai 305 °C. Detik ke 603 temperatur ruang tamu dan ruangan pada rumah yang terbakar naik hingga mencapai 580 °C, yang menandakan flashover telah terjadi kemudian sistem sprinkler otomatis aktif bekerja untuk memadamkan api kebakaran. Detik ke 802 temperatur ruangan perlahan mulai turun hingga temperatur menjadi 303 °C. Detik ke 903 temperatur ruangan turun sehingga temperatur menjadi 201 °C. Sampai detik ke 1002 temperatur terus turun pada temperature 82 °C.

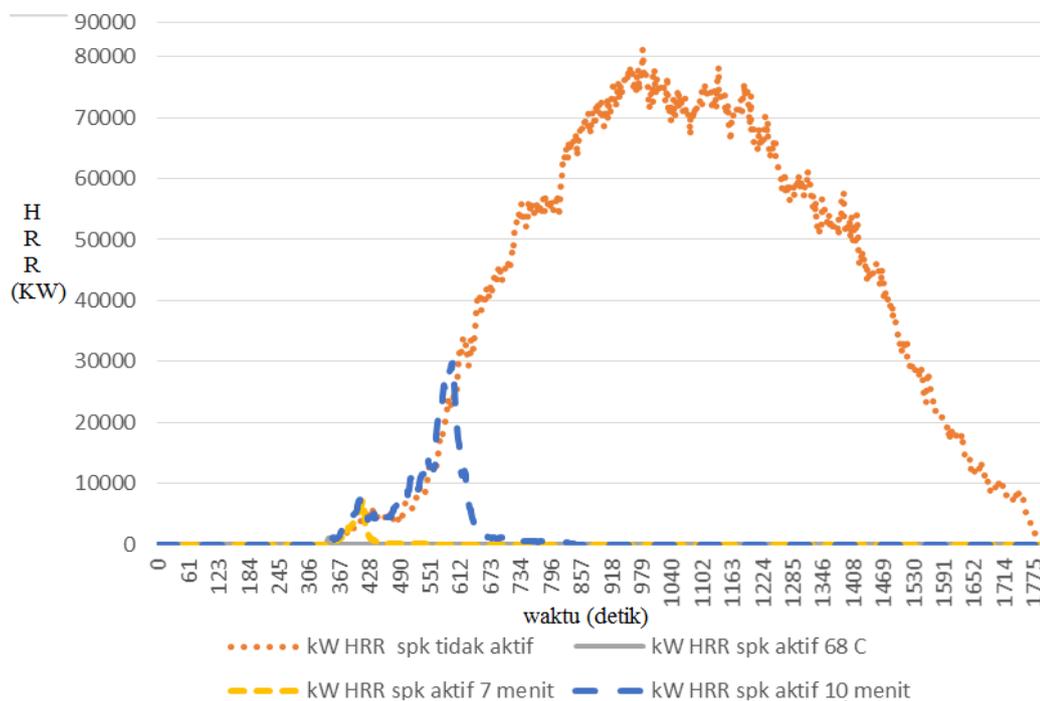
4.2.3 Analisa hasil parameter pengukuran

Dari empat skenario simulasi kebakaran menggunakan *software* FDS menghasilkan beberapa data keluaran yaitu laju pelepasan panas, Laju pembakaran, temperatur, jarak pandang, konsentrasi oksigen dan konsentrasi karbon dioksida pada tiap tahapan waktu.



Grafik 4.3 Laju pembakaraan tiap tahapan waktu

Grafik 4.3 menunjukkan laju pembakaran yaitu nilai rata-rata dari pengurangan massa pada benda yang terbakar tiap satuan waktu. Dari empat skenario simulasi kebakaran, simulasi tanpa sistem sprinkler otomatis laju pembakarannya terus meningkat hingga mencapai 7,7 kg/s pada detik ke 961, kemudian turun sampai detik ke 1800 sebesar 0,4 kg/s. Simulasi dengan waktu aktivasi sprinkler 10 menit laju pembakaran maksimum mencapai 3,3 kg/s pada detik ke 601, kemudian turun hingga detik ke 907 disebabkan api kebakaran mengecil dan dipadamkan oleh percikan air dari kepala sprinkler. Simulasi dengan waktu aktivasi 7 menit laju pembakarannya antara 0,4 kg/s sampai 0,1 kg/s sedangkan pada skenario simulasi kebakaran pada temperature 68 C tidak ada pengurangan massa karena api padam sebelum terjadi pengurangan massa.



Grafik 4.4 Laju pelepasan panas tiap tahapan waktu

Dari grafik 4.4 terlihat bahwa laju pelepasan panas untuk skenario simulasi kebakaran tanpa menggunakan sistem sprinkler otomatis terus meningkat, laju

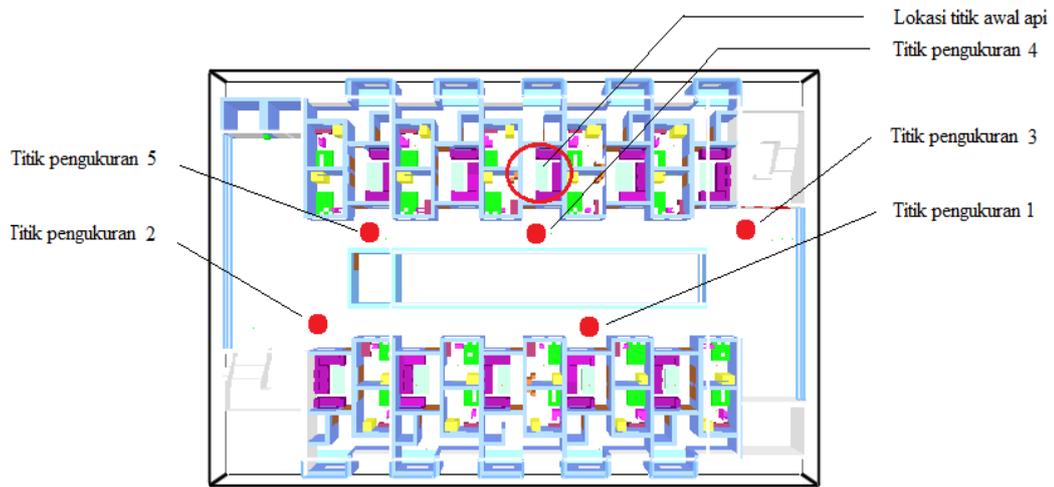
pelepasan panas maksimumnya mencapai 81.202 kw pada detik ke 986 kemudian turun karena seluruh unit rumah telah terbakar serta bahan bakar yang ada pada ruangan telah habis. Hal ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan korban jiwa dan menyebabkan kehilangan harta benda yang sangat besar. Skenario simulasi dengan waktu aktivasi sprinkler 10 menit laju pelepasan panas maksimum mencapai 29.986 kw pada detik ke 601 kemudian turun hingga detik ke 907 karena sistem sprinkler otomatis aktif. Dengan keterlambatan waktu aktivasi 10 menit kebakaran yang terjadi telah mencapai flashover sehingga seluruh benda yang ada di dalam seluruh ruangan pada rumah yang terbakar telah habis terbakar dan api merambat keluar ruangan melalui bukaan pintu dan jendela kemudian api merambat ke rumah yang ada di sebelahnya.

Skenario simulasi dengan aktivasi 7 menit laju pelepasan panas maksimum mencapai 7287 kw pada detik ke 419, kemudian turun hingga 4 kw pada detik ke 666 karena sistem sprinkler otomatis aktif. Kebakaran yang terjadi telah menyebar pada ruang tamu dan membakar seluruh benda yang ada pada ruang tamu. Skenario simulasi berikutnya ditentukan sesuai dengan standar SNI yang berlaku yaitu kebakaran yang terjadi telah terdeteksi secara dini sehingga api hanya membakar sedikit bagian sofa pada ruang tamu. Bola kaca pada kepala sprinkler pecah pada temperature 68 °C kemudian air keluar dan memadamkan api yang terjadi dengan segera.

4.2.3.1 Lokasi parameter pengukuran

Titik parameter pengukuran untuk simulasi kebakaran diletakan pada lima titik dengan jarak 1,5 m dari lantai. Parameter pengukuran diletakan pada koridor atau

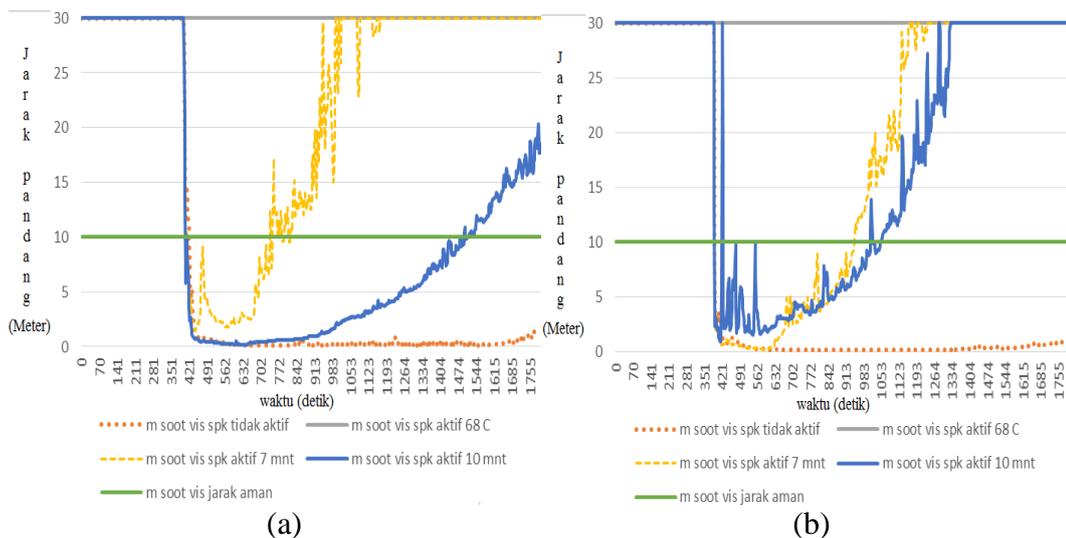
jalan yang digunakan sebagai jalur evakuasi untuk mengukur kenaikan temperatur, jarak pandang yang terhalang akibat asap kebakaran, penurunan konsentrasi oksigen dan kenaikan konsentrasi karbon dioksida.



Gambar 4.19 Lokasi parameter pengukuran

4.2.3.2 Jarak pandang (Soot visibility)

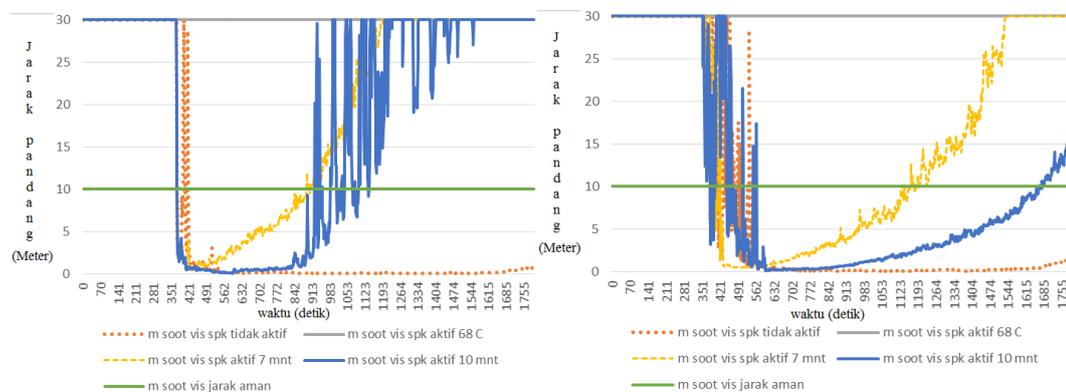
Terlihat dari kelima grafik jarak pandang pada 5 titik pengukuran menunjukkan peningkatan produksi asap akibat kebakaran yang terjadi sehingga menyebabkan penghuni gedung sulit untuk melakukan evakuasi.



Grafik 4.5 Parameter pengukuran jarak pandang (a) titik 1 dan (b) titik 2

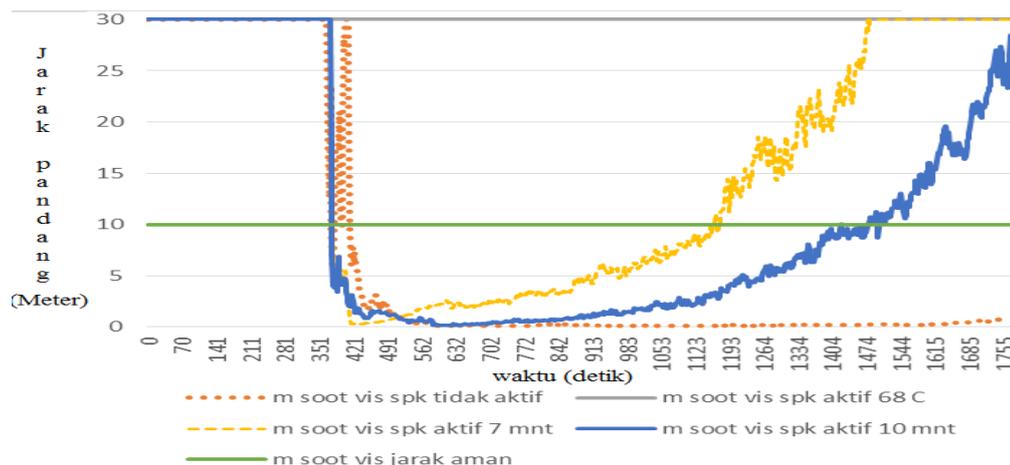
Terlihat dari grafik 4.5 pada parameter titik 1 jarak pandang mulai terganggu pada detik ke 405, untuk skenario simulasi kebakaran 2.2 kepala sprinkler pecah pada temperature 68 °C sehingga jarak pandang tidak terganggu di seluruh lokasi titik pengukuran. Pada skenario simulasi kebakaran 2.3 dengan waktu aktivasi sprinkler 7 menit asap mulai menipis hingga mencapai batas aman pada detik ke 751 karena asap terdorong oleh air dari kepala sprinkler, jarak pandang lebih dari 10 meter sudah dalam batas aman sehingga tidak mengganggu evakuasi. Skenario simulasi kebakaran 2.4 dengan waktu aktivasi sprinkler 10 menit, asap berkurang hingga mencapai batas aman pada detik ke 1501. Sedangkan skenario simulasi kebakaran 2.1 yaitu tanpa sprinkler otomatis pada parameter titik 1,2,3,4 dan 5 jarak pandang melebihi batas aman hingga detik ke 1800.

Untuk parameter titik 2 jarak pandang mulai terganggu pada detik ke 394, skenario simulasi kebakaran 2.3 dengan waktu aktivasi sprinkler 7 menit asap mulai menipis hingga mencapai batas aman pada detik ke 952 karena asap terdorong oleh air dari kepala sprinkler. Untuk skenario simulasi kebakaran 2.4 dengan waktu aktivasi sprinkler 10 menit, asap berkurang hingga mencapai batas aman pada detik ke 1051.



(a)

(b)



(c)

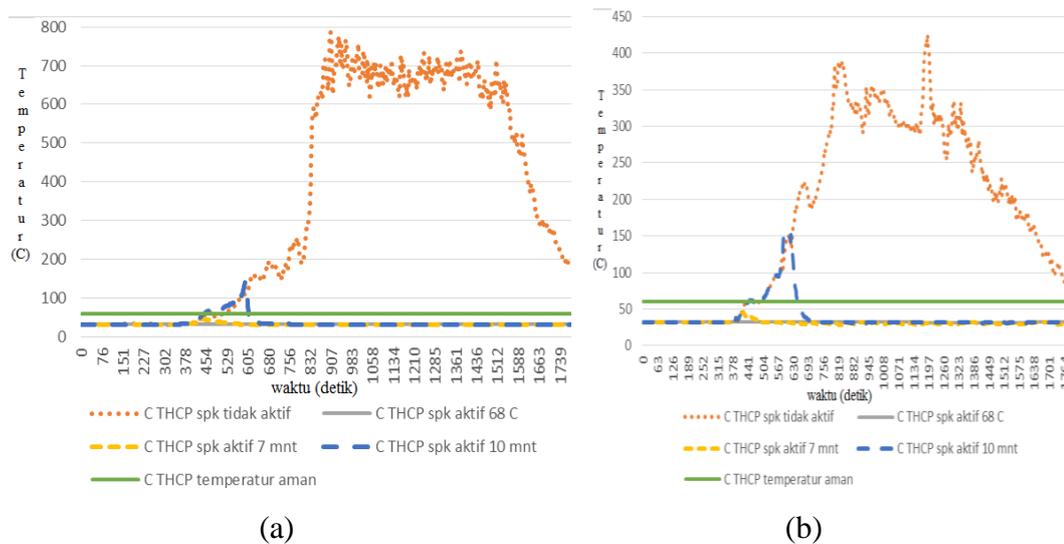
Grafik 4.6 Parameter pengukuran jarak pandang (a) titik 3 (b) titik 4 dan (c) titik 5

Pada grafik 4.6 menunjukkan parameter titik 3 detik ke 380 jarak pandang melebihi batas aman, untuk skenario simulasi kebakaran 2.3 asap berkurang karena aktivasi sprinkler hingga detik ke 893 mencapai batas aman. Untuk skenario simulasi kebakaran 2.4 asap kebakaran mulai berkurang hingga mencapai batas aman pada detik ke 1102. Parameter titik 4 detik ke 387 asap menghalangi pandangan melebihi batas aman, skenario simulasi kebakaran 2.3 detik ke 1168 asap berkurang hingga mencapai batas aman.

Pada skenario simulasi kebakaran 2.4 asap kebakaran mulai berkurang hingga mencapai batas aman pada detik ke 1681. Parameter titik 5 detik ke 382 asap menghalangi pandangan melebihi batas aman, skenario simulasi kebakaran 2.3 detik ke 1179 asap berkurang hingga mencapai batas aman. Pada skenario simulasi kebakaran 2.4 asap kebakaran mulai berkurang hingga mencapai batas aman pada detik ke 1485.

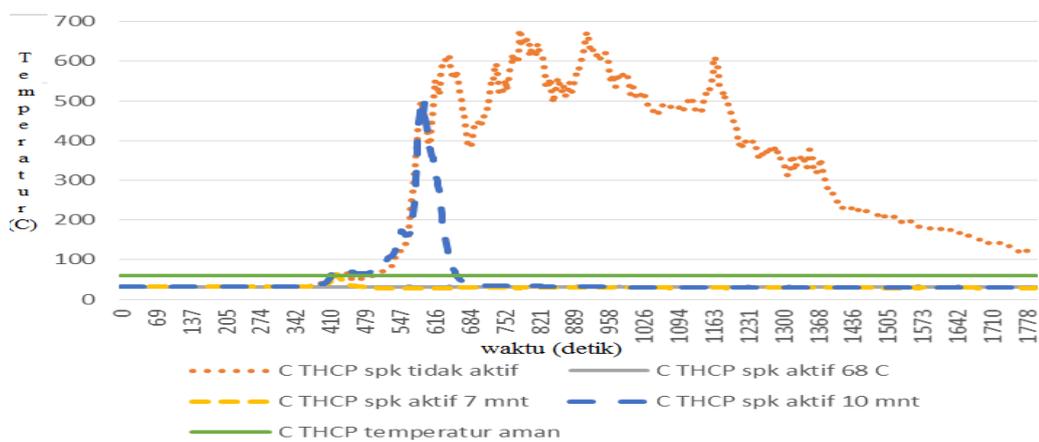
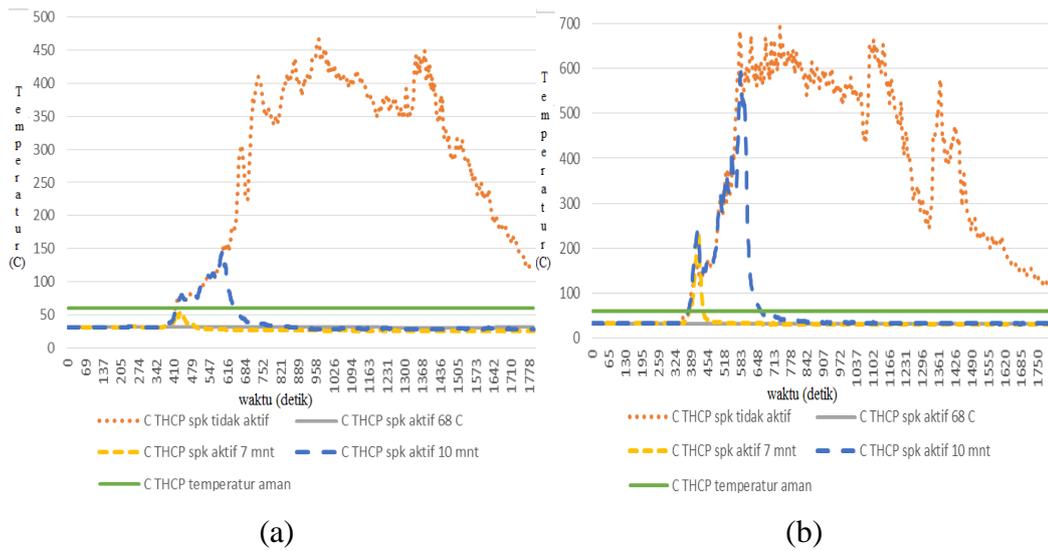
4.2.3.3 Parameter temperatur

Temperatur ruangan pada awal kebakaran meningkat dengan cepat karena tersedianya bahan yang mudah terbakar di sekitar ruangan yang terbakar seperti sofa yang berbahan busa atau foam, meja dan lemari yang terbuat dari kayu serta benda lainnya yang mudah terbakar.



Grafik 4.7 Parameter pengukuran temperatur (a) titik 1 dan (b) titik 2

Temperatur pada parameter titik 1 mulai meningkat detik ke 396, untuk skenario simulasi 2.1 dan 2.4 temperatur melebihi batas aman detik ke 457. Skenario simulasi 2.1 temperatur maksimal mencapai 778 °C detik ke 940. Skenario 2.4 temperatur mencapai 141 °C detik ke 599 kemudian temperatur turun karena aktivasi sprinkler otomatis. Skenario 2.3 temperatur mencapai 47 °C kemudian temperatur turun. Temperatur pada parameter titik 2 mulai meningkat detik ke 387, untuk skenario simulasi 2.1 dan 2.4 temperatur melebihi batas aman detik ke 446. Skenario simulasi 2.1 temperatur maksimal mencapai 426 °C detik ke 1195. Skenario 2.3 temperatur mencapai 46 °C kemudian temperatur turun. Skenario 2.4 temperatur mencapai 155 °C detik ke 599 kemudian temperatur turun.



Grafik 4.8 Parameter pengukuran jarak pandang (a) titik 3 (b) titik 4 dan (c) titik 5

Temperatur pada parameter titik 3 mulai meningkat detik ke 382, untuk skenario simulasi 2.1 dan 2.4 temperatur melebihi batas aman detik ke 419. Skenario simulasi 2.1 temperatur maksimal mencapai 466 °C detik ke 970. Skenario 2.3 temperatur mencapai 56 °C kemudian temperatur turun. Skenario 2.4 temperatur mencapai 148 °C detik ke 599 kemudian temperatur turun. Temperatur pada parameter titik 4 mulai meningkat detik ke 355, untuk skenario simulasi 2.1, 2.3 dan 2.4 temperatur melebihi batas aman detik ke 382. Skenario simulasi 2.1 temperatur maksimal mencapai 674 °C detik ke 628. Skenario 2.3 temperatur

mencapai 236 °C detik ke 421 kemudian temperatur turun. Skenario 2.4 temperatur mencapai 545 °C detik ke 599 kemudian temperatur turun.

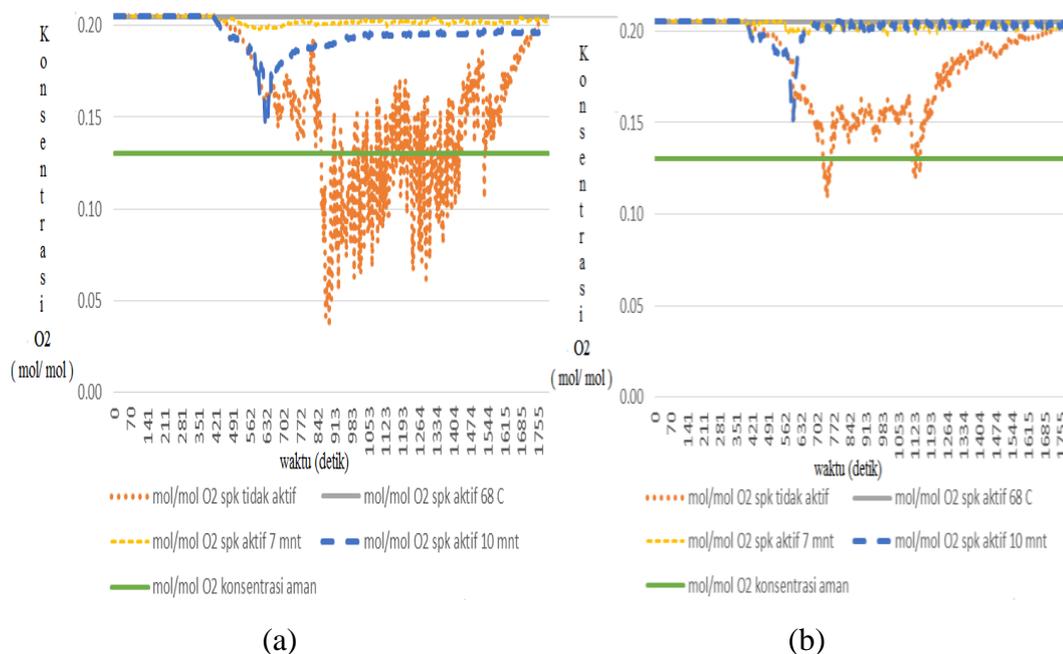
Temperatur pada parameter titik 5 mulai meningkat detik ke 373, untuk skenario simulasi 2.1, 2.2 dan 2.3 temperatur melebihi batas aman detik ke 416. Skenario simulasi 2.1 temperatur maksimal mencapai 681 °C detik ke 788. Skenario 2.3 temperatur mencapai 65 °C detik ke 421 kemudian temperatur turun. Skenario 2.4 temperatur mencapai 500 °C detik ke 599 kemudian temperatur turun.

Dari kelima grafik temperatur, skenario simulasi kebakaran tanpa adanya sistem sprinkler otomatis serta tanpa usaha penanggulangan kebakaran dengan waktu singkat api akan merambat ke seluruh bagian rumah susun sampai bahan bakar yang ada habis kemudian api akan padam dengan sendirinya. Untuk skenario simulasi kebakaran dengan sistem sprinkler otomatis aktif pada suhu ruangan mencapai 68 °C, api kebakaran padam dengan segera serta tanpa menimbulkan kerugian yang besar, temperatur masih di bawah batas aman serta asap yang di timbulkan tidak mengganggu penghuni yang tinggal.

Skenario simulasi kebakaran dengan keterlambatan waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis 7 menit temperatur mencapai batas aman pada titik 4 dan 5 karena dekat dengan titik api. Untuk skenario simulasi kebakaran tanpa sistem sprinkler otomatis dan dengan keterlambatan waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis 10 menit temperatur mencapai batas aman pada semua titik pengukuran karena asap kebakaran yang bertemperatur tinggi menyebar dan memenuhi seluruh ruangan. Temperatur menurun karena sprinkler aktif, air dari kepala sprinkler mendinginkan ruangan serta mendorong asap.

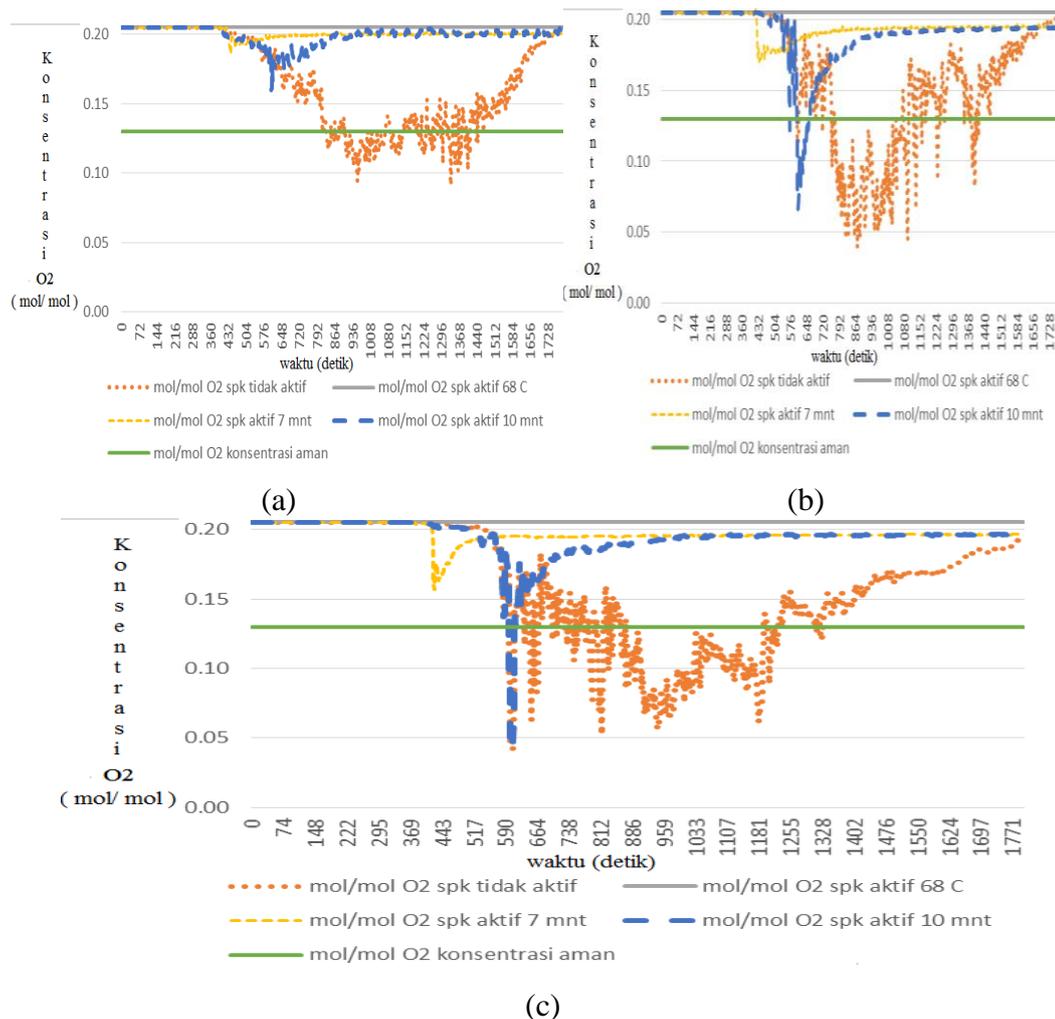
4.2.3.4 Konsentrasi oksigen

Penurunan konsentrasi oksigen saat kebakaran terjadi, terus bertambah mengikuti laju produksi asap karena asap hasil kebakaran dapat menurunkan konsentrasi oksigen dalam ruangan. Konsentrasi oksigen normal di udara sebesar 21 % sedangkan batas konsentrasi oksigen untuk bernafas sebesar 13 %. Konsentrasi oksigen yang kurang dari 13 % dapat membahayakan penghuni yang tinggal. Penurunan konsentrasi oksigen pada setiap titik parameter terlihat pada grafik berikut.



Grafik 4.9 Parameter pengukuran konsentrasi oksigen (a) titik 1 dan (b) titik 2

Pada parameter konsentrasi oksigen titik 1 simulasi 2.1 detik ke 860 konsentrasi oksigen (12 %) telah melewati batas aman sedangkan untuk skenario simulasi 2.2, 2.3 dan 2.4 masih dalam batas aman. Pada parameter konsentrasi oksigen titik 2 simulasi 2.1 detik ke 731 konsentrasi oksigen (12 %) telah melewati batas aman sedangkan untuk skenario simulasi 2.2, 2.3 dan 2.4 masih dalam batas aman.

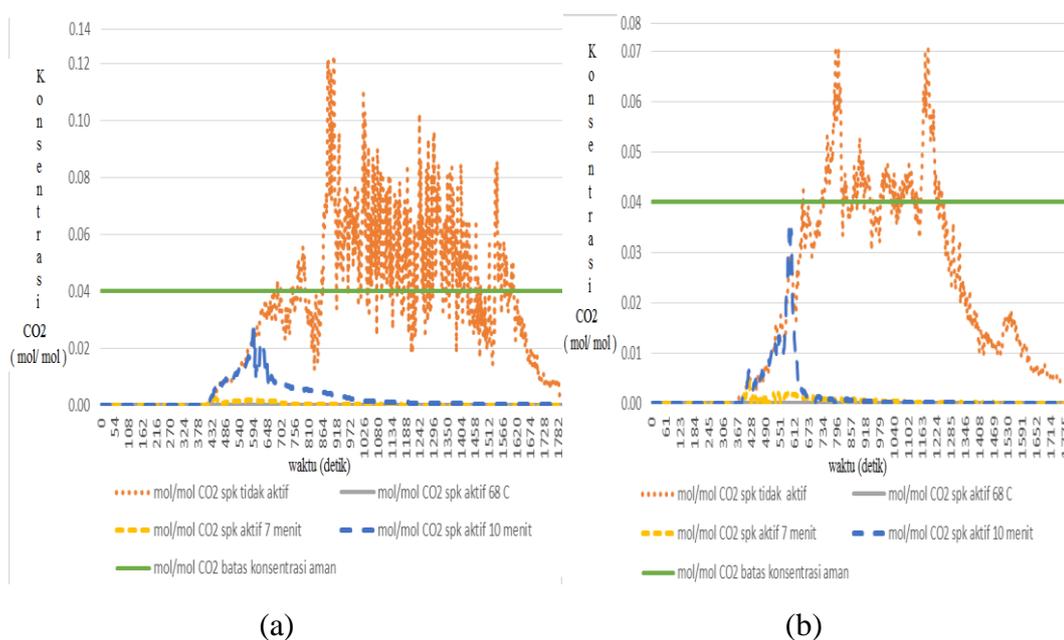


Grafik 4.10 Parameter pengukuran konsentrasi oksigen (a) titik 3, (b) titik 4 dan (c) titik 5

Pada parameter konsentrasi oksigen titik 3 simulasi 2.1 detik ke 835 konsentrasi oksigen (12 %) telah melewati batas aman sedangkan untuk skenario simulasi 2.2, 2.3 dan 2.4 masih dalam batas aman. Pada parameter konsentrasi oksigen titik 4 simulasi 2.1 dan 2.4 detik ke 608 konsentrasi oksigen (11 %) telah melewati batas aman sedangkan untuk skenario simulasi 2.2 dan 2.3 konsentrasi oksigen masih dalam batas ama. Pada parameter konsentrasi oksigen titik 5 simulasi 2.1 dan 2.4 detik ke 603 konsentrasi oksigen (10 %) telah melewati batas aman sedangkan untuk skenario simulasi 2.2 dan 2.3 konsentrasi oksigen masih dalam batas aman.

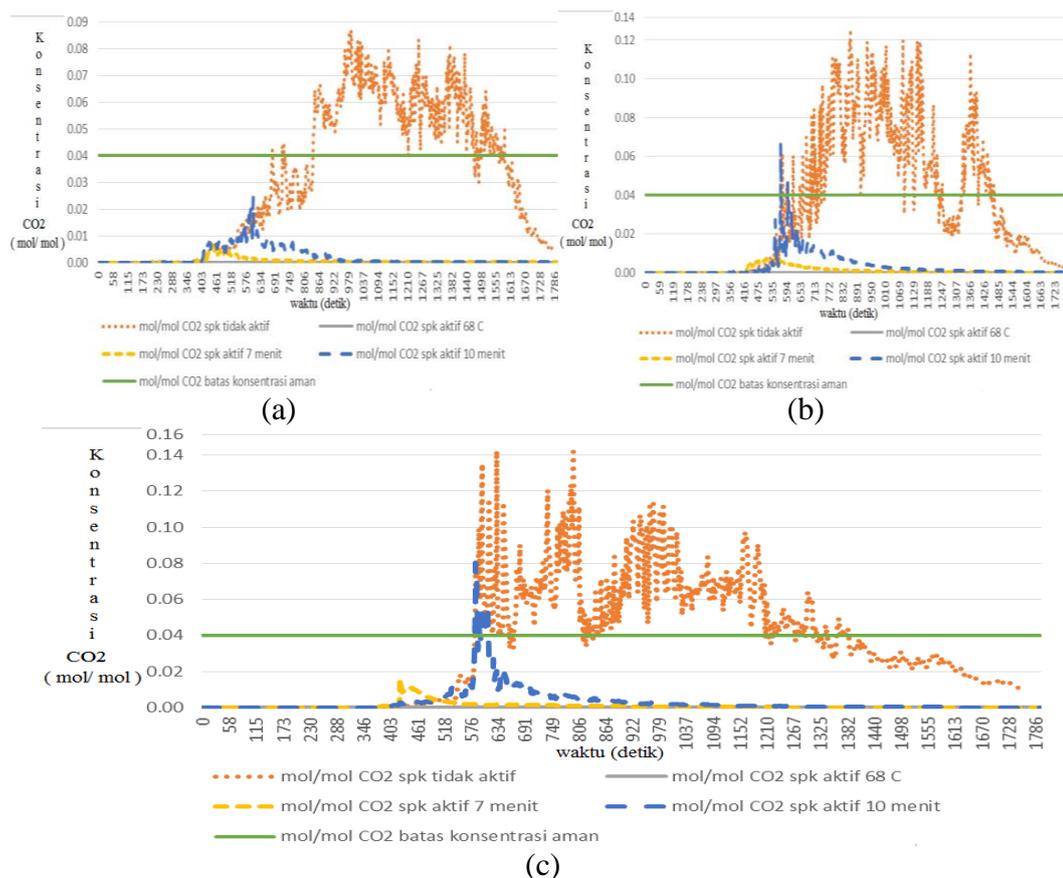
4.2.3.5 Konsentrasi Karbon dioksida

Karbon dioksida yang masuk ke paru – paru akan mengikat oksigen sehingga darah tidak dapat mengangkut oksigen ke otak akibatnya kinerja otak dapat terganggu dan akan berakibat fatal sehingga dapat menyebabkan kematian. Batas toleransi karbon dioksida sebesar 0,4 % selama beberapa menit lebih dari itu akan berakibat kematian. Hasil pengukuran konsentrasi karbon dioksida dari kelima titik dapat dilihat pada grafik .



(a) (b)
Grafik 4.11 Parameter pengukuran konsentrasi karbon dioksida (a) titik 1 dan (b) titik 2

Pada parameter konsentrasi karbon dioksida titik 1 simulasi 2.1 detik ke 772 konsentrasi karbon dioksida 0.5 % melebihi dari batas aman yaitu 0.4% sedangkan untuk skenario simulasi 2.2, 2.3 dan 2.4 konsentrasi oksigen masih dalam batas aman. Pada parameter konsentrasi karbon dioksida titik 2 simulasi 2.1 detik ke 752 konsentrasi karbon dioksida 0.47 % melebihi dari batas aman yaitu 0.4% sedangkan untuk skenario simulasi 2.2, 2.3 dan 2.4 konsentrasi oksigen masih dalam batas aman.



Grafik 4.12 Parameter pengukuran konsentrasi karbon dioksida (a) titik 3, (b) titik 4 dan (c) titik 5

Pada parameter konsentrasi karbon dioksida titik 3 skenario simulasi 2.1 detik ke 684 konsentrasi karbon dioksida 0,42 % melebihi dari batas aman yaitu 0.4% sedangkan untuk skenario simulasi 2.2, 2.3 dan 2.4 konsentrasi oksigen masih dalam batas aman. Pada parameter konsentrasi karbon dioksida titik 4 skenario simulasi 2.1 dan 2.4 detik ke 574 konsentrasi karbon dioksida 0,65 % melebihi dari batas aman yaitu 0.4% sedangkan untuk skenario simulasi 2.2 dan 2.3 konsentrasi oksigen masih dalam batas aman.

Pada parameter konsentrasi karbon dioksida titik 5 skenario simulasi 2.1 dan 2.4 detik ke 589 konsentrasi karbon dioksida 0,63 % melebihi dari batas aman yaitu 0.4% sedangkan untuk skenario simulasi 2.2 dan 2.3 konsentrasi oksigen masih dalam batas aman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi kebakaran menggunakan *software Fire Dynamic Simulator* (FDS) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan aktivasi sistem sprinkler otomatis yang sesuai dengan standar yaitu SNI 03-3989-2000 kebakaran yang terjadi tidak menimbulkan kerugian yang besar serta asap hasil kebakaran tidak mengganggu penghuni gedung yang tinggal untuk melakukan evakuasi.
2. Kebakaran yang terjadi dengan keterlambatan waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis selama 7 menit atau 420 detik, sumber api kebakaran yang awalnya kecil kemudian membesar sehingga seluruh benda yang ada pada ruang tamu terbakar dan api merambat hingga ke ruangan lain, serta ke koridor jalan kemudian dalam waktu beberapa lama api padam akan tetapi butuh waktu cukup lama agar asap sepenuhnya hilang.
3. Simulasi kebakaran dengan keterlambatan waktu aktivasi sistem sprinkler otomatis selama 10 menit atau 600 detik, api kebakaran sudah merambat dan membakar unit rumah yang ada di samping kiri dan kanan dari lokasi titik awal api kebakaran, hal ini tentu menimbulkan kerugian yang cukup besar dan dapat menimbulkan korban karena panas dan asap yang ditimbulkan. Kondisi ini juga mempersulit penghuni gedung untuk melakukan evakuasi.
4. Kebakaran yang terjadi di dalam suatu ruangan atau sebuah gedung tanpa sistem proteksi kebakaran baik aktif maupun pasif. Khususnya sistem sprinkler otomatis, maka dapat mengancam dan membahayakan keselamatan penghuni

gedung, karena tidak ada harapan untuk bertahan hidup dan tidak memiliki waktu yang cukup untuk melakukan evakuasi.

5.2 Saran

Dalam melakukan suatu penelitian dengan simulasi kebakaran menggunakan *software Fire Dynamic Simulator (FDS)* banyak hal yang harus diperhatikan agar mendapatkan hasil yang baik diantaranya adalah :

1. Untuk mendapatkan hasil simulasi kebakaran yang lebih akurat ukuran mesh dibuat lebih rapat, akan tetapi membutuhkan waktu literasi FDS cukup lama.
2. Agar mendapatkan hasil yang maksimal perlu di tambahkan lebih banyak material agar mirip dengan bentuk aslinya.
3. Disarankan untuk menambahkan detektor asap agar pengukuran lebih akurat.
4. Disarankan agar ditambahkan *input file* untuk evakuasi agar terlihat proses evakuasi dari penghuni gedung.

Saran untuk perbaikan sistem proteksi kebakaran yang ada di gedung rumah susun ciracas.

1. Tangga darurat dibuat pintu atau penutup agar asap tidak masuk ke dalam tangga darurat.
2. Perlu dilakukan pemeriksaan dan perbaikan sistem proteksi kebakaran yang ada di dalam gedung rumah susun ciracas.
3. Sangat disarankan untuk melengkapi sistem sprinkler otomatis pada gedung rumah susun ciracas.

DAFTAR PUSTAKA

- Buchanan, A.H.(2001). *Fire Engineering Design Guide, second edition*. New Zealand: *Wickliffe Press*
- Drysdale, D, (2003). *An Introduction to Fire Dynamics, second edition* England: *John Wiley & Sons.Ltd*
- Soehatman Ramli. (2010). *Petunjuk Praktis Manajemen Kebakaran (Fire Management)*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Standar Nasional Indonesia 03-3989- 2000 (2000) tentang Tata cara perencanaan dan pemasangan sistem springkler otomatis untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan gedung.. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional
- Fire Offices' Committe (1974): *Rules for Automatic Sprinkler Installation*.
- NFPA 13 (1994): *Installation of Sprinkler Systems, National Fire Protection Association*
- NFPA 921 (2004): *Guide for Fire and Explosion Investigations, National Fire Protection Association*
- Depdikbud. Kamus Besar Bahasa Indonesia, Jakarta: Balai Pustaka, 1996.
- Wahono, Edy (2008) Analisis Sistem *Fire Roller Shutter* Terhadap Tingkat Keselamatan Pasar Dengan Simulasi Komputer [TESIS]. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Soewarno, soekartono (2011). *Pemahaman Instalasi Pemadam Kebakaran Berbasis Air*. Jakarta: Persatuan Insinyur Indonesia.
- Putradi, Asisda Wahyu Asri (2012). *Bahasa Indonesia Untuk Penulisan Karya Ilmiah*. Jakarta: Aqsamas Press
- Ridwan (2009). *Pengaruh Jarak Dan Ketinggian Bangunan Pada Penyebaran Api*. [SKRIPSI]. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- McGrattan, Kevin, et al (2012). *PyroSim User Manual*. USA: *Thunderhead Engineering*.

- Putra, I Dewa Gede Agung Diasana (2000). Kajian peningkatan Kinerja Proteksi Pasif Terhadap Bahaya Kebakaran Pada Bangunan pasar Tradisional bertingkat [TESIS]. Bandung: Institut teknologi bandung.
- McGrattan, Kevin, et al (2012). *PyroSim Example Guide*. USA: *Thunderhead Engineering*
- McGrattan, Kevin, et al.(2010) *Fire Dynamics Simulator (Version 5.5) User's Guide*. *National Institute of Standards and Technology*. WASHINGTON.
- McGrattan, Kevin, et al.(2010) *Fire Dynamics Simulator (Version 5.5) Technical Reference Guide*. *National Institute of Standards and Technology*. USA
- Forney, Glenn P (2010) *Smokeyview (Version 5) A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User's Guide* *National Institute of Standards and Technology*. USA
- Dinas Penanggulangan kebakaran dan penyelamat DKI Jakarta 2017
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 26/PRT/M/2008 Tentang Persyaratan Teknis Sistem Proteksi Kebakaran Pada Bangunan Gedung dan Lingkungan.2008. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung : Alfabeta.

Lampiran 1 Input File FDS Skenario Simulasi Kebakaran 1

Skenario 1 A

```
&HEAD CHID='2_lubang_angin', TITLE='NO SPK'/
&DUMP RENDER_FILE='2_lubang_angin.ge1', DT_RESTART=300.0/

Bukaan atau Ventilasi

&HOLE XB=234.5,234.9,479.242,480.442,9.66664,9.96664/ Hole[2]
&HOLE XB=228.628,229.233,475.803,478.526,9.53,9.82/ Hole[1][1][1]
&HOLE XB=227.721,228.023,479.132,480.947,9.24,9.53/ Hole[1][1]
```

Skenario 1 B

```
&HEAD CHID='lubang_angin_full', TITLE='NO SPK'/
&DUMP RENDER_FILE='lubang_angin_full.ge1', DT_RESTART=300.0/

Bukaan atau Ventilasi

&HOLE XB=9.5,9.9,3.74199,4.94199,9.66664,9.96664/ Hole[2]
&HOLE XB=8.0,8.4,1.90136,3.0,9.59636,9.79636/ Hole
&HOLE XB=3.62791,4.23256,0.302632,3.02632,9.53,9.82/ Hole[1][1][1]
&HOLE XB=6.34884,7.25581,3.02632,3.32895,9.53,9.82/ Hole[1]
&HOLE XB=5.13953,6.04651,3.02632,3.32895,9.53,9.82/ Hole
&HOLE XB=2.72093,3.02326,3.63158,5.44737,9.24,9.53/ Hole[1][1]
```

Skenario 1 C

```
&HEAD CHID='lubang_angin_full+_1_pintu', TITLE='NO SPK'/
&DUMP RENDER_FILE='lubang_angin_full+_1_pintu.ge1', DT_RESTART=300.0/

Bukaan atau Ventilasi

&HOLE XB=9.5,9.9,3.74199,4.94199,9.66664,9.96664/ Hole[2]
&HOLE XB=8.0,8.4,1.90136,3.0,9.59636,9.79636/ Hole
&HOLE XB=3.62791,4.23256,0.302632,3.02632,9.53,9.82/ Hole[1][1][1]
&HOLE XB=6.34884,7.25581,3.02632,3.32895,9.53,9.82/ Hole[1]
&HOLE XB=5.13953,6.04651,3.02632,3.32895,9.53,9.82/ Hole
&HOLE XB=2.72093,3.02326,3.63158,5.44737,9.24,9.53/ Hole[1][1]

&OBST XB=5.44186,5.44186,3.63158,3.93421,7.5,9.53, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu open
```

Input file untuk semua Skenario 1

```
&TIME T_END=3000.0/
&MISC TMPA=32.0, SURF_DEFAULT='WALL'/
&MESH ID='MESH', IJK=43,19,10, XB=0.0,13.0,0.0,5.75,7.5,10.4/
&REAC ID='POLYURETHANE',
```

```
FYI='NFPA Babrauskas',
C=6.3,
H=7.1,
O=2.1,
N=1.0,
SOOT_YIELD=0.1/
&MATL ID='GYPSUM PLASTER',
FYI='Quintiere, Fire Behavior',
SPECIFIC_HEAT=0.84,
CONDUCTIVITY=0.48,
DENSITY=1440.0,
EMISSIVITY=0.1/
&MATL ID='FABRIC',
FYI='Properties completely fabricated',
SPECIFIC_HEAT=1.0,
CONDUCTIVITY=0.1,
DENSITY=100.0,
EMISSIVITY=0.4,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.5E4,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=3000.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/
&MATL ID='FOAM',
FYI='Properties completely fabricated',
SPECIFIC_HEAT=1.0,
CONDUCTIVITY=0.05,
DENSITY=40.0,
EMISSIVITY=0.4,
HEAT_OF_COMBUSTION=3.0E4,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=1500.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/
&MATL ID='kayu',
FYI='Quintiere, Fire Behavior - NIST NRC Validation',
SPECIFIC_HEAT=1.25,
```

CONDUCTIVITY=0.17,
DENSITY=700.0,
EMISSIVITY=0.5,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.609E4,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=430.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/
&MATL ID='plastik',
FYI='NISTIR 1013-1 - NIST NRC Validation',
SPECIFIC_HEAT=1.5,
CONDUCTIVITY=0.2,
DENSITY=1500.0,
EMISSIVITY=0.5,
HEAT_OF_COMBUSTION=2.5E4,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=3000.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=330.0/
&MATL ID='KACA',
FYI='100',
SPECIFIC_HEAT=0.8,
CONDUCTIVITY=1.05,
DENSITY=2800.0,
EMISSIVITY=0.5,
HEAT_OF_COMBUSTION=1775.0,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=487.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=140.0/
&SURF ID='WALL',
RGB=200,200,200,
MATL_ID(1,1)='GYPSUM PLASTER',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.012/
&SURF ID='UPHOLSTERY',
COLOR='PURPLE',

```

BURN_AWAY=.TRUE.,
MATL_ID(1,1)='FABRIC',
MATL_ID(2,1)='FOAM',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
MATL_MASS_FRACTION(2,1)=1.0,
THICKNESS(1:2)=0.002,0.1/
&SURF ID='kayu',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)='kayu',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/
&SURF ID='plastik',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)='plastik',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/
&SURF ID='KACA',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)='KACA',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/

```

Titik sumber api

```

&SURF ID='BURNER',
  COLOR='RED',
  EMISSIVITY=0.1,
  HRRPUA=105.0/
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=4.2,4.5,0.2,0.5,8.2,8.2/ api
&OBST XB=3.98974,4.78974,0.2,1.8,8.0,8.2, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, seat cushions[1]
&OBST XB=3.98974,4.18974,0.2,1.8,8.2,8.8, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, back cushions[1]
&OBST XB=3.98974,4.78974,1.8,2.0,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest[1]
&OBST XB=3.98974,4.78974,0.2,1.8,7.6,8.0, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Obstruction #1[1]
&OBST XB=3.98974,4.78974,0.0,0.2,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest[1]
&OBST XB=4.96842,5.16842,0.0,0.8,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, left armrest

```

&OBST XB=5.16842,5.76842,0.0,0.8,8.0,8.2, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, seat cushion

&OBST XB=5.76842,5.96842,0.0,0.8,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, right armrest

&OBST XB=5.96842,6.16842,0.0,0.8,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, back corner, left armrest

&OBST XB=5.16842,5.76842,0.0,0.2,7.6,8.7, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, back cushion

&OBST XB=6.16842,6.76842,0.0,0.2,8.2,8.8, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, back corner, back cushion

&OBST XB=6.16842,6.76842,0.0,0.8,7.6,8.0, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Obstruction #2

&OBST XB=6.16842,6.76842,0.0,0.8,8.0,8.2, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, back corner, seat cushion

&OBST XB=6.76842,6.96842,0.0,0.8,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, back corner, right armrest

&OBST XB=7.2,8.0,0.177101,1.7771,7.61453,8.01453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Obstruction #1

&OBST XB=7.2,8.0,0.177101,1.7771,8.01453,8.21453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, seat cushions

&OBST XB=7.2,8.0,1.7771,1.9771,7.61453,8.51453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest

&OBST XB=7.8,8.0,0.177101,1.7771,8.21453,8.81453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, back cushions

&OBST XB=7.2,8.0,-0.0228994,0.177101,7.61453,8.51453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest

&OBST XB=5.16842,5.76842,0.0,0.8,7.6,8.0, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Obstruction #3

&OBST XB=6.388,6.593,4.673,5.05,8.0,8.1, RGB=204,255,204, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ kasur busa

&OBST XB=0.25,11.25,0.0,5.75,7.5,7.6, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ floor

&OBST XB=11.25,12.5,0.0,3.0,7.5,7.6, RGB=127,191,255, SURF_ID='WALL'/ Obstruction #46

&OBST XB=0.25,0.5,0.05,5.75,7.5,9.0, RGB=127,191,255, SURF_ID='WALL'/ floor

&OBST XB=6.0,6.25,3.0,5.75,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #192

&OBST XB=9.25,10.25,1.25,1.5,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #210

&OBST XB=8.0,8.25,0.0,2.0,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #247

&OBST XB=8.0,8.25,2.0,3.0,9.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #248

&OBST XB=10.0,10.25,0.0,1.5,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #249

&OBST XB=7.25,9.5,3.0,3.25,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #360

&OBST XB=11.0,11.25,3.0,5.75,7.5,9.0, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #201[1]

&OBST XB=2.75,3.0,3.5,4.5,9.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ Obstruction #291[1]

&OBST XB=3.738,3.988,0.25,1.5,8.5,9.5, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA JENDELA
RUANG TAMU

&OBST XB=12.25,12.5,0.75,2.25,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[2]

&OBST XB=11.0,11.25,3.0,5.75,9.0,10.0, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[2]

&OBST XB=2.75,3.0,3.5,4.5,8.5,9.3, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA JENDELA
KAMAR[2]

&OBST XB=2.75,3.0,4.75,5.75,8.5,9.3, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA JENDELA KAMAR[1][2]

&OBST XB=3.62791,3.93023,2.11842,3.02632,7.5,9.53, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu', TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=4.83721,6.04651,3.02632,3.02632,7.5,9.53, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu', TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=6.04651,6.04651,3.02632,3.32895,7.5,9.53, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu', TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=6.34884,7.25581,3.02632,3.32895,7.5,9.53, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu', TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1]

Parameter

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=476.409/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=9.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=9.2/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=8.0/

&SLCF QUANTITY='HRRPUV', PBZ=10.0/

&SLCF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', PBZ=9.4/

&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN', / Vent

&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent

&TAIL /

Lampiran 2 Data Hasil Simulasi Skenario kebakaran 1

Laju pelepasan Panas dan Laju Pembakaran

S	Laju pelepasan Panas			Laju Pembakaran		
	kW	kW	kW	kg/s	kg/s	kg/s
FDS_HRR_Time	HRR 2 lubang angin	HRR lubang angin full	HRR lubang angin + 1 pintu	BURN_RATE 2 lubang angin	BURN_RATE lubang angin full	BURN_RATE lubang angin + 1 pintu
3	1	1	1	0.00	0.00	0.00
21	10	10	10	0.00	0.00	0.00
81	10	10	10	0.00	0.00	0.00
102	11	11	11	0.00	0.00	0.00
180	11	11	12	0.00	0.00	0.00
261	12	12	13	0.00	0.00	0.00
360	14	14	16	0.00	0.00	0.00
381	15	17	194	0.00	0.00	0.01
420	803	761	2252	0.04	0.04	0.21
462	447	1405	5268	0.07	0.19	0.56
480	157	533	5259	0.02	0.08	0.54
501	165	1023	3994	0.01	0.08	0.32
522	75	377	3200	0.01	0.05	0.18
561	331	1421	3167	0.04	0.15	0.31
582	75	401	3034	0.02	0.09	0.30
600	221	428	5020	0.02	0.06	0.48
621	45	410	7412	0.01	0.05	0.67
660	24	516	7975	0.01	0.03	0.76
681	21	271	9744	0.01	0.03	0.96
702	20	136	11399	0.01	0.02	1.19
720	22	161	10718	0.01	0.02	1.04

741	47	151	12301	0.01	0.02	1.09
762	613	190	11942	0.03	0.02	1.06
780	332	193	10275	0.03	0.02	0.95
801	256	165	10670	0.03	0.02	1.00
822	140	22	12129	0.02	0.01	1.03
882	28	17	10726	0.01	0.00	0.80
900	25	16	10860	0.01	0.00	0.81
921	22	16	9617	0.01	0.00	0.86
960	19	15	9094	0.01	0.00	0.84
981	18	14	7609	0.01	0.00	0.71
1002	17	14	8180	0.00	0.00	0.65
1020	16	13	9506	0.00	0.00	0.87
1080	15	13	5938	0.00	0.00	0.46
1161	14	12	6416	0.00	0.00	0.43
1182	13	12	6788	0.00	0.00	0.36
1200	13	12	3551	0.00	0.00	0.22
1221	13	12	2633	0.00	0.00	0.13
1281	12	12	440	0.00	0.00	0.02
1302	12	12	8	0.00	0.00	0.00
1320	12	12	4	0.00	0.00	0.00
1380	12	12	2	0.00	0.00	0.00
1401	12	12	1	0.00	0.00	0.00
1521	12	12	1	0.00	0.00	0.00
1560	11	178	0	0.00	0.01	0.00
1581	11	2667	0	0.00	0.27	0.00
1602	11	3139	0	0.00	0.36	0.00
1620	11	3321	0	0.00	0.37	0.00
1680	11	4312	0	0.00	0.45	0.00
1701	11	6345	0	0.00	0.46	0.00
1722	11	6011	0	0.00	0.63	0.00
1782	11	9957	0	0.00	0.86	0.00
1800	11	9247	0	0.00	0.84	0.00
1821	11	10579	0	0.00	1.00	0.00
1854	11	12964	0	0.00	1.21	0.00

Lampiran 3 Input File FDS Skenario Simulasi Kebakaran 2

Skenario 2.1

&HEAD CHID='simulasi_2_1_spk_tidak_aktif', TITLE='200 kw tanpa spk/'

&DUMP RENDER_FILE='simulasi_2_1_spk_tidak_aktif.ge1', DT_RESTART=300.0/

Skenario 2.2

&HEAD CHID='simulasi_2_2_spk_aktif_68_C7', TITLE='200 kw spk aktif 68C '/'

&DUMP RENDER_FILE='simulasi_2_2_spk_aktif_68_C7.ge1', DT_RESTART=300.0/

&PROP ID='Default_Water Spray',

QUANTITY='SPRINKLER LINK TEMPERATURE',

INITIAL_TEMPERATURE=32.0,

ACTIVATION_TEMPERATURE=68.0,

PART_ID='Water',

K_FACTOR=60.0,

OPERATING_PRESSURE=2.0,

ORIFICE_DIAMETER=0.015/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar06020203', PROP_ID='Default_Water Spray',
XYZ=17.8957,21.8884,10.3/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu06020203', PROP_ID='Default_Water Spray',
XYZ=17.8957,18.9541,10.3/

&DEVC ID='SPRK kamar 105020203', PROP_ID='Default_Water Spray', XYZ=20.6091,21.8884,10.3/

&DEVC ID='SPRK ruang tamu aktif', PROP_ID='Default_Water Spray', XYZ=21.9958,19.0,10.3/

&DEVC ID='SPRK kamar 205020203', PROP_ID='Default_Water Spray', XYZ=23.8091,21.8884,10.3/

&DEVC ID='SPRK kamar dapur05020203', PROP_ID='Default_Water Spray', XYZ=26.4799,19.7152,10.3/

Skenario 2.3

&HEAD CHID='simulasi_2_3_aktif_7_mnt_420', TITLE='2.3/'

&DUMP RENDER_FILE='simulasi_2_3_aktif_7_mnt_420.ge1', DT_RESTART=300.0/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar06020202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,15.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu06020202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,12.9541,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 105020202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=20.6091,15.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK ruang tamu05020202', PROP_ID='Water Spray', XYZ=21.9958,13.0,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar06020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,21.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu06020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,18.9541,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 105020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=20.6091,21.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK ruang tamu05020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=21.9958,19.0,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 205020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=23.8091,21.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

&DEVC ID='SPRK kamar dapur05020203', PROP_ID='Water Spray', XYZ=26.4799,19.7152,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=420.0/

Skenario 2.4

&HEAD CHID='simulasi_2_4_aktif_10_mnt_600', TITLE='2.4/'

&DUMP RENDER_FILE='simulasi_2_4_aktif_10_mnt_600.ge1', DT_RESTART=300.0/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar0205020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=11.3957,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu0205020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=11.3957,24.9541,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar06020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu06020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,24.9541,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 105020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=20.6091,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK ruang tamu05020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=21.9958,25.0,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 205020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=23.8091,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

&DEVC ID='SPRK kamar dapur05020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=26.4799,25.7152,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=600.0/

Input file untuk semua Skenario 2

&TIME T_END=1800.0, RESTRICT_TIME_STEP=.FALSE./

&MISC TMPA=32.0, SURF_DEFAULT='WALL'/

&MESH ID='MESH', IJK=96,138,12, XB=0.0,29.0,0.0,42.0,7.2,10.7/

&DEVC ID='SPRK kamar 10502020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=8.34444,24.9182,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar0205020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=11.3957,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu0205020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=11.3957,24.9541,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK koridor kamar06020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK koridor ruang tamu06020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=17.8957,24.9541,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 105020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=20.6091,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK ruang tamu05020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=21.9958,25.0,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&DEVC ID='SPRK kamar 205020204', PROP_ID='Water Spray', XYZ=23.8091,27.8884,10.3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=1900.0/

&PART ID='Water',

WATER=.TRUE.,

AGE=60.0,

SPECIFIC_HEAT=4.184,

MELTING_TEMPERATURE=0.0,

VAPORIZATION_TEMPERATURE=100.0,

HEAT_OF_VAPORIZATION=2259.0/

&REAC ID='POLYURETHANE',

FYI='NFPA Babrauskas',

C=6.3,

H=7.1,

O=2.1,

N=1.0,

SOOT_YIELD=0.1/

&PROP ID='Water Spray',
 PART_ID='Water',
 K_FACTOR=80.0,
 OPERATING_PRESSURE=1.0,
 ORIFICE_DIAMETER=0.015/

Parameter temperatur

&DEVC ID='THCP TITIK 403', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=17.7129,18.3512,9.0/
 &DEVC ID='THCP TITIK 503', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=17.7129,32.031,9.0/
 &DEVC ID='THCP TITIK 103', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=11.3445,16.2567,9.0/
 &DEVC ID='THCP TITIK 203', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=11.3134,40.2081,9.0/
 &DEVC ID='THCP TITIK 303', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=17.7129,3.04097,9.0/

Parameter oksigen

&DEVC ID='O2 TITIK 403', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen',
 XYZ=17.273,19.8196,9.0/
 &DEVC ID='O2 TITIK 303', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen',
 XYZ=17.273,3.15248,9.0/
 &DEVC ID='O2 TITIK 203', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen',
 XYZ=10.8736,39.6242,9.0/
 &DEVC ID='O2 TITIK 103', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen',
 XYZ=11.279,15.7519,9.0/
 &DEVC ID='O2 TITIK 503', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen',
 XYZ=17.273,31.4471,9.0/

Parameter karbon dioksida

&DEVC ID='CO2 TITIK 403', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide',
 XYZ=17.273,19.0439,9.0/
 &DEVC ID='CO2 TITIK 303', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide',
 XYZ=17.273,2.37676,9.0/
 &DEVC ID='CO2 TITIK 203', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide',
 XYZ=10.8736,38.8485,9.0/
 &DEVC ID='CO2 TITIK 103', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide',
 XYZ=11.279,14.9762,9.0/
 &DEVC ID='CO2 TITIK 503', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide',
 XYZ=17.273,30.6714,9.0/

Parameter Jarak pandang

&DEVC ID='soot vis TITIK 403', QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', XYZ=17.273,18.3439,9.0/
 &DEVC ID='soot vis TITIK 503', QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', XYZ=17.273,29.9714,9.0/
 &DEVC ID='soot vis TITIK 303', QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', XYZ=17.273,1.67676,9.0/
 &DEVC ID='soot vis TITIK 103', QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', XYZ=11.279,14.2762,9.0/
 &DEVC ID='soot vis TITIK 203', QUANTITY='VISIBILITY', SPEC_ID='soot', XYZ=10.8736,38.1485,9.0/

Sifat material

&MATL ID='GYPSUM PLASTER',

FYI='Quintiere, Fire Behavior',

SPECIFIC_HEAT=0.84,

CONDUCTIVITY=0.48,

DENSITY=1440.0,

EMISSIVITY=0.0/

&MATL ID='FABRIC',

FYI='Properties completely fabricated',

SPECIFIC_HEAT=1.0,

CONDUCTIVITY=0.1,

DENSITY=100.0,

EMISSIVITY=0.6,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.5E4,

N_REACTIONS=1,

HEAT_OF_REACTION=3000.0,

NU_FUEL=1.0,

REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/

&MATL ID='FOAM',

FYI='Properties completely fabricated',

SPECIFIC_HEAT=1.0,

CONDUCTIVITY=0.05,

DENSITY=40.0,

EMISSIVITY=0.6,

HEAT_OF_COMBUSTION=3.0E4,

N_REACTIONS=1,

HEAT_OF_REACTION=1500.0,

NU_FUEL=1.0,

REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/

&MATL ID='WOOD',

FYI='Quintiere, Fire Behavior - NIST NRC Validation',

SPECIFIC_HEAT=1.25,

CONDUCTIVITY=0.17,

DENSITY=700.0,

EMISSIVITY=0.6,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.609E4,

```

N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=430.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=350.0/
&MATL ID='PLASTIC',
FYI='NISTIR 1013-1 - NIST NRC Validation',
SPECIFIC_HEAT=1.5,
CONDUCTIVITY=0.2,
DENSITY=1500.0,
EMISSIVITY=0.7,
HEAT_OF_COMBUSTION=2.5E4,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=3000.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=330.0/
&MATL ID='GLASS',
FYI='100',
SPECIFIC_HEAT=0.8,
CONDUCTIVITY=1.05,
DENSITY=2800.0,
EMISSIVITY=0.7,
HEAT_OF_COMBUSTION=1775.0,
N_REACTIONS=1,
HEAT_OF_REACTION=487.0,
NU_FUEL=1.0,
REFERENCE_TEMPERATURE=140.0/

```

Sifat permukaan benda

```

&SURF ID='WALL',
RGB=200,200,200,
MATL_ID(1,1)='GYPSUM PLASTER',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.01/
&SURF ID='UPHOLSTERY',
COLOR='PURPLE',
BURN_AWAY=.TRUE.,
MATL_ID(1,1)='FABRIC',

```

```

MATL_ID(2,1)=FOAM',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
MATL_MASS_FRACTION(2,1)=1.0,
THICKNESS(1:2)=0.002,0.1/
&SURF ID='kayu',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)=WOOD',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/
&SURF ID='plastik',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)=PLASTIC',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/
&SURF ID='KACA',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)=GLASS',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/
&SURF ID='pintu',
  RGB=146,202,166,
  BURN_AWAY=.TRUE.,
  MATL_ID(1,1)=WOOD',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.01/
Titik sumber api
&SURF ID='BURNER',
  COLOR='RASPBERRY',
  EMISSIVITY=0.1,
  HRRPUA=200.0,
  E_COEFFICIENT=1.0/
&VENT SURF_ID='BURNER', XB=20.2,20.4,17.7,17.9,8.2,8.2/ api

```

Benda atau barang

&OBST XB=19.9897,20.7897,11.7,13.3,8.0,8.2, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, seat cushions[1]

&OBST XB=19.9897,20.1897,11.7,13.3,8.2,8.8, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, back cushions[1]

&OBST XB=19.04,20.71,16.055,17.199,7.6,8.0, COLOR='GREEN', SURF_ID='UPHOLSTERY'/ kasur busa

&OBST XB=19.9897,20.7897,23.7,25.3,8.0,8.2, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, seat cushions[1]

&OBST XB=19.9897,20.1897,23.7,25.3,8.2,8.8, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, back cushions[1]

&OBST XB=19.04,20.71,28.055,29.199,7.6,8.0, COLOR='GREEN', SURF_ID='UPHOLSTERY'/ kasur busa

&OBST XB=8.21026,9.01026,15.45,17.05,8.0,8.2, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, seat cushions[1][1]

&OBST XB=8.81026,9.01026,15.45,17.05,8.2,8.8, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, back cushions[1][1]

&OBST XB=8.29,9.96,17.551,18.695,7.6,8.0, COLOR='GREEN', SURF_ID='UPHOLSTERY'/ kasur busa[1]

&OBST XB=19.9897,20.7897,23.5,23.7,7.6,8.5, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest[1]

&OBST XB=20.9684,21.1684,23.5,24.3,7.6,8.5, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, left armrest

&OBST XB=21.1684,21.7684,23.5,24.3,8.0,8.2, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, seat cushion

&OBST XB=21.7684,21.9684,23.5,24.3,7.6,8.5, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, right armrest

&OBST XB=23.8,24.0,23.6771,25.2771,8.21453,8.81453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, back cushions

&OBST XB=23.2,24.0,23.4771,23.6771,7.61453,8.51453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest

&OBST XB=7.03158,7.23158,16.45,17.25,7.6,8.5, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, right armrest[1]

&OBST XB=7.23158,7.83158,16.45,17.25,8.0,8.2, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, seat cushion[1]

&OBST XB=6.83158,7.03158,16.45,17.25,7.6,8.5, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, back corner, left armrest[1]

&OBST XB=7.23158,7.83158,16.45,17.25,7.6,8.0, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Obstruction #3[1]

&OBST XB=5.0,5.8,15.2729,15.4729,7.61453,8.51453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, armrest[1]

&OBST XB=5.0,5.8,15.4729,17.0729,8.01453,8.21453, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Couch, seat cushions[1]

&OBST XB=7.83158,8.03158,16.45,17.25,7.6,8.5, RGB=153,0,153, SURF_ID='UPHOLSTERY'/ Chair, left wall, left armrest[1]

Dinding

&OBST XB=9.05,9.3,23.0,23.25,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL', TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ beton

&OBST XB=10.038,10.288,23.5,24.5,9.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ beton

&OBST XB=10.038,10.288,23.5,24.5,7.5,8.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ beton

&OBST XB=10.038,10.288,24.75,25.75,9.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ beton

&OBST XB=10.038,10.288,24.5,24.75,7.5,10.5, RGB=127,159,255, SURF_ID='WALL',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ beton

&OBST XB=19.5,19.75,1.0,2.25,8.5,8.5, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #7

&OBST XB=19.75,19.75,1.5,2.0,9.5,9.75, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #8

&OBST XB=21.75,22.0,2.5,3.75,7.5,8.5, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #9

&OBST XB=21.75,22.0,2.5,3.75,7.5,8.5, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #10

&OBST XB=21.75,22.0,2.5,3.75,7.5,8.5, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #11

&OBST XB=23.75,24.25,1.0,2.5,8.75,9.0, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #12

&OBST XB=23.5,23.75,1.0,2.5,8.5,8.75, COLOR='WHITE', SURF_ID='WALL'/ Obstruction #13

Jendela

&OBST XB=28.25,28.5,24.25,25.75,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[1]

&OBST XB=28.25,28.5,18.25,19.75,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[2]

&OBST XB=28.25,28.5,12.25,13.75,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[3]

&OBST XB=28.25,28.5,6.25,7.75,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[4]

&OBST XB=0.538,0.788,33.0,34.5,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[1]

&OBST XB=0.538,0.788,27.0,28.5,8.5,9.3501, COLOR='WHITE', SURF_ID='KACA'/ KACA[1][1]

pintu

&OBST XB=6.34375,6.64583,19.7826,20.087,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=6.64583,6.94792,20.087,20.087,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=6.64583,6.64583,20.087,20.3913,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=19.6354,19.9375,31.3478,32.5652,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='pintu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1]

&OBST XB=22.3542,22.6562,14.6087,14.913,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1]

&OBST XB=22.0521,22.3542,14.6087,14.6087,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1]

&OBST XB=22.6562,22.9583,15.2174,15.2174,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1]

&OBST XB=22.6562,22.6562,14.913,15.2174,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1]

&OBST XB=6.94792,6.94792,20.087,20.3913,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1][1]

&OBST XB=24.1667,24.1667,31.3478,32.5652,7.49167,9.53333, RGB=180,101,45, SURF_ID='kayu',
TEXTURE_ORIGIN=0.0,0.0,0.5/ pintu kayu[1][1][1]

Lubang angin

&HOLE XB=24.0,24.4,19.4014,20.5,9.79636,10.0964/ Hole

&HOLE XB=4.6,5.0,20.25,21.3486,9.79636,10.0964/ Hole[1]

&HOLE XB=24.0,24.4,25.4014,26.5,9.79636,10.0964/ Hole[1]

&HOLE XB=3.15444,3.55444,30.308,31.508,9.66664,10.1666/ Hole

&HOLE XB=4.65444,5.05444,32.25,33.3486,9.79636,10.0964/ Hole

&HOLE XB=19.6354,20.2396,17.6522,20.3913,9.53333,9.825/ Hole[1][1][1]

&HOLE XB=5.73958,6.64583,14.0,14.3043,9.825,10.1167/ Hole[1][1][1]

&HOLE XB=18.7292,19.0312,9.13043,10.9565,9.53333,9.825/ Hole[1][1][1]

&HOLE XB=19.6354,20.2396,29.8261,32.5652,9.53333,9.825/ Hole[1][1][1]

&BNDF QUANTITY='NET HEAT FLUX'/

&ISOF QUANTITY='HRRPUV', VALUE=4.5/

&ISOF QUANTITY='OPTICAL DENSITY', VALUE=0.45/

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=80.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=22.6552/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=9.00323/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=22.6552/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', PBZ=10.2/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBZ=10.2/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=10.2/

open

&VENT MB='XMIN', SURF_ID='OPEN', / Vent

&VENT MB='XMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent

&VENT MB='YMIN', SURF_ID='OPEN', / Vent

&VENT MB='YMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent

&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN', / Vent

&TAIL /

Lampiran 4 Data Hasil Simulasi Skenario Kebakaran 2

Laju pelepasan Panas dan Laju Pembakaran

s	Laju pelepasan Panas				Laju Pembakaran			
	kW	kW	kW	kW	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s
FDS_HRR_Time	HRR spk tidak aktif	HRR spk aktif 68 C	HRR spk aktif 7 menit	HRR spk aktif 10 menit	BURN_RATE spk tidak aktif	BURN_RATE spk aktif 68 C	BURN_RATE spk aktif 7 menit	BURN_RATE spk aktif 10 menit
4	12	11	9	9	0.00	0.00	0.00	0.00
20	11	11	9	9	0.00	0.00	0.00	0.00

180	13	13	11	11	0.00	0.00	0.00	0.00
240	13	14	12	12	0.00	0.00	0.00	0.00
281	14	14	13	13	0.00	0.00	0.00	0.00
360	1156	17	852	778	0.06	0.00	0.03	0.05
419	4040	3	7287	5151	0.50	0.00	0.66	0.57
481	3960	3	122	5588	0.49	0.00	0.00	0.43
520	6234	3	35	10033	0.77	0.00	0.00	1.14
540	8746	3	27	11418	1.02	0.00	0.00	1.37
560	13276	3	27	12681	1.69	0.00	0.00	1.39
580	18139	3	22	23690	2.10	0.00	0.00	2.60
601	24559	3	16	29986	2.93	0.00	0.00	3.27
621	32659	3	10	11191	3.67	0.00	0.00	0.36
641	32831	3	6	4338	4.21	0.00	0.00	0.21
661	38961	3	5	1835	4.36	0.00	0.00	0.12
700	44004	3	2	1100	4.19	0.00	0.00	0.09
720	46819	3	2	1031	5.14	0.00	0.00	0.07
740	55858	3	2	650	4.91	0.00	0.00	0.05
760	54878	3	2	599	4.64	0.00	0.00	0.05
781	54263	3	2	462	4.61	0.00	0.00	0.04
801	56286	3	2	323	5.64	0.00	0.00	0.03
821	60680	3	2	264	6.21	0.00	0.00	0.03
841	66011	3	2	148	5.95	0.00	0.00	0.02
860	67639	3	2	19	6.36	0.00	0.00	0.01
880	67308	3	2	17	6.75	0.00	0.00	0.01
900	70424	3	2	15	6.95	0.00	0.00	0.01
920	71305	3	2	14	7.11	0.00	0.00	0.01
940	73259	3	2	12	7.32	0.00	0.00	0.01
961	77782	3	2	11	7.70	0.00	0.00	0.01
986	81202	3	2	10	7.11	0.00	0.00	0.01
1001	72624	3	2	9	6.99	0.00	0.00	0.01
1021	74216	3	2	9	6.64	0.00	0.00	0.01
1040	71192	3	2	8	6.67	0.00	0.00	0.01
1060	74183	3	2	8	6.33	0.00	0.00	0.01
1080	70270	3	2	7	6.42	0.00	0.00	0.00
1100	72067	3	2	7	5.95	0.00	0.00	0.00
1120	73663	3	2	7	6.23	0.00	0.00	0.00
1161	68201	3	2	6	5.79	0.00	0.00	0.00
1181	70580	3	2	6	5.65	0.00	0.00	0.00
1201	72471	3	2	5	5.08	0.00	0.00	0.00
1220	66650	3	2	5	5.07	0.00	0.00	0.00
1260	61934	3	2	5	4.17	0.00	0.00	0.00
1280	59459	3	2	5	4.34	0.00	0.00	0.00
1300	58155	3	2	4	4.09	0.00	0.00	0.00
1321	61102	3	2	4	3.48	0.00	0.00	0.00
1361	52322	3	2	4	3.53	0.00	0.00	0.00
1400	51320	3	2	4	3.01	0.00	0.00	0.00
1480	39861	3	2	3	1.79	0.00	0.00	0.00
1521	32977	3	2	3	1.51	0.00	0.00	0.00
1561	23221	3	2	3	1.07	0.00	0.00	0.00
1600	19443	3	2	3	0.85	0.00	0.00	0.00
1681	11703	3	2	3	0.71	0.00	0.00	0.00
1721	9180	3	2	3	0.58	0.00	0.00	0.00
1800	1449	3	2	3	0.42	0.00	0.00	0.00

Parameter pengukuran jarak pandang titik 1 dan 2

s	jarak pandang titik 1				jarak pandang titik 2				
	M	m	m	M	m	m	m	m	m
FDS Time	soot vis spk tidak aktif	soot vis spk aktif 68 C	soot vis spk aktif 7 mnt	soot vis spk aktif 10 mnt	soot vis jarak aman	soot vis spk tidak aktif	soot vis spk aktif 68 C	soot vis spk aktif 7 mnt	soot vis spk aktif 10 mnt
1	30	30	30	30	10	30	30	30	30

20	30	30	30	30	10	30	30	30	30
100	30	30	30	30	10	30	30	30	30
180	30	30	30	30	10	30	30	30	30
220	30	30	30	30	10	30	30	30	30
300	30	30	30	30	10	30	30	30	30
320	30	30	30	30	10	30	30	30	30
360	30	30	30	30	10	30	30	30	30
400	27	30	25	26	10	3	30	2	3
441	2	30	2	1	10	1	30	1	2
480	1	30	7	1	10	1	30	1	4
500	1	30	4	0	10	1	30	0	6
524	0	30	3	0	10	1	30	0	2
540	0	30	2	0	10	0	30	0	2
560	0	30	2	0	10	0	30	0	5
580	0	30	2	0	10	0	30	0	2
601	0	30	2	0	10	0	30	0	2
621	0	30	2	0	10	0	30	0	2
641	0	30	3	0	10	0	30	1	3
661	0	30	2	0	10	0	30	2	3
680	0	30	4	0	10	0	30	5	3
700	0	30	8	0	10	0	30	4	3
720	0	30	7	0	10	0	30	3	4
740	0	30	10	1	10	0	30	3	4
760	0	30	12	1	10	0	30	4	4
781	0	30	12	1	10	0	30	4	5
801	0	30	12	1	10	0	30	9	4
821	0	30	10	1	10	0	30	4	4
841	0	30	12	1	10	0	30	4	7
860	1	30	13	1	10	0	30	6	5
880	0	30	13	1	10	0	30	6	6
900	0	30	13	1	10	0	30	7	6
920	0	30	16	1	10	0	30	7	6
940	0	30	19	1	10	0	30	9	7
961	0	30	22	1	10	0	30	12	7
981	0	30	21	2	10	0	30	13	9
1001	0	30	30	2	10	0	30	14	9
1021	0	30	30	2	10	0	30	19	10
1060	0	30	30	3	10	0	30	16	11
1080	0	30	30	3	10	0	30	19	12
1100	0	30	30	3	10	0	30	19	13
1120	0	30	30	3	10	0	30	19	12
1161	0	30	30	4	10	0	30	27	15
1181	0	30	30	4	10	0	30	30	16
1201	0	30	30	4	10	0	30	30	20
1300	0	30	30	5	10	0	30	30	23
1381	0	30	30	7	10	0	30	30	30
1420	0	30	30	9	10	0	30	30	30
1460	0	30	30	8	10	0	30	30	30
1501	0	30	30	11	10	0	30	30	30
1580	0	30	30	12	10	0	30	30	30
1620	0	30	30	14	10	1	30	30	30
1651	0	30	30	14	10	1	30	30	30
1681	0	30	30	15	10	1	30	30	30
1721	1	30	30	17	10	1	30	30	30
1760	1	30	30	19	10	1	30	30	30
1800	1	30	30	18	10	1	30	30	30

Parameter pengukuran jarak pandang titik 3, 4 dan 5

s	jarak pandang titik 3				jarak pandang titik 4				jarak pandang titik 5			
	m	m	m	m	M	m	m	m	m	m	m	m
FDS Time	soot vis spk tidak aktif	soot vis spk aktif 68 C	soot vis spk aktif 7 mnt	soot vis spk aktif 10 mnt	soot vis spk tidak aktif	soot vis spk aktif 68 C	soot vis spk aktif 7 mnt	soot vis spk aktif 10 mnt	soot vis spk tidak aktif	soot vis spk aktif 68 C	soot vis spk aktif 7 mnt	soot vis spk aktif 10 mnt
1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
100	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
180	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
220	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
300	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
320	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
360	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
400	7	30	4	2	22	30	26	4	10	30	6	4
441	1	30	0	1	9	30	1	30	3	30	0	1
480	1	30	1	1	7	30	1	9	2	30	1	1
500	1	30	1	1	2	30	1	3	2	30	1	1
524	1	30	1	0	5	30	0	3	1	30	1	1
540	0	30	1	0	12	30	1	2	0	30	1	0
560	0	30	2	0	11	30	1	5	0	30	2	1
580	0	30	3	0	1	30	1	1	0	30	2	1
601	0	30	2	0	0	30	1	1	0	30	2	0
621	0	30	3	0	0	30	1	0	0	30	2	0
641	0	30	4	0	0	30	1	0	0	30	2	0
661	0	30	5	0	0	30	1	0	0	30	2	0
680	0	30	4	0	0	30	1	0	0	30	2	0
700	0	30	5	1	0	30	1	0	0	30	2	0
720	0	30	5	0	0	30	2	0	0	30	3	0
740	0	30	5	0	0	30	2	0	0	30	3	1
760	0	30	5	1	0	30	2	0	0	30	3	1
781	0	30	6	1	0	30	2	0	0	30	3	1
801	0	30	6	1	0	30	3	0	0	30	3	1
821	0	30	7	1	0	30	3	0	0	30	3	1
841	0	30	8	1	0	30	3	0	0	30	3	1
860	0	30	9	1	0	30	3	1	0	30	3	1
880	0	30	8	2	0	30	4	1	0	30	5	1
900	0	30	10	3	0	30	4	1	0	30	5	1
920	0	30	11	3	0	30	4	1	0	30	5	1
940	0	30	12	3	0	30	4	1	0	30	6	2
961	0	30	14	5	0	30	5	1	0	30	5	1
981	0	30	14	5	0	30	6	1	0	30	6	2
1001	0	30	14	30	0	30	5	1	0	30	6	2
1021	0	30	16	9	0	30	6	1	0	30	7	2
1060	0	30	17	14	0	30	7	1	0	30	7	2
1080	0	30	20	8	0	30	7	2	0	30	7	2
1100	0	30	23	10	0	30	6	2	0	30	8	2
1120	0	30	26	30	0	30	8	2	0	30	8	2
1161	0	30	26	30	0	30	10	2	0	30	9	3
1181	0	30	27	23	0	30	10	2	0	30	11	3
1201	0	30	30	19	0	30	10	3	0	30	14	4
1300	0	30	30	30	0	30	13	3	0	30	17	6
1381	0	30	30	30	0	30	16	4	0	30	23	8
1420	0	30	30	30	0	30	18	4	0	30	24	9
1460	0	30	30	26	0	30	24	6	0	30	25	9
1501	0	30	30	30	0	30	26	6	0	30	30	9
1580	0	30	30	30	0	30	30	7	0	30	30	14
1620	0	30	30	30	0	30	30	9	0	30	30	15
1651	0	30	30	30	0	30	30	9	0	30	30	17
1681	0	30	30	30	0	30	30	11	0	30	30	17
1721	0	30	30	30	1	30	30	12	0	30	30	22
1760	1	30	30	30	1	30	30	13	1	30	30	24
1800	1	30	30	30	1	30	30	15	1	30	30	27

Parameter pengukuran temperatur titik 1 dan 2

s	Temperatur titik 1				C	Temperatur titik 2			
	C	C	C	C		C	C	C	C
FDS Time	THCP spk tidak aktif	THCP spk aktif 68 C	THCP spk aktif 7 mnt	THCP spk aktif 10 mnt	THCP temperatur aman	THCP spk tidak aktif	THCP spk aktif 68 C	THCP spk aktif 7 mnt	THCP spk aktif 10 mnt
1	32	32	32	32	60	32	32	32	32
20	32	32	32	32	60	32	32	32	32
100	32	32	32	32	60	32	32	32	32
180	32	32	32	32	60	32	32	32	32
220	32	32	32	32	60	32	32	32	32
300	32	32	32	32	60	32	32	32	32
320	32	32	32	32	60	32	32	32	32
360	32	32	32	32	60	32	32	32	32
400	34	32	33	34	60	35	32	37	35
441	48	32	43	54	60	59	32	41	59
480	52	32	39	67	60	57	32	35	57
500	56	32	37	70	60	63	32	32	63
524	60	32	36	75	60	70	32	32	70
540	67	32	34	81	60	82	32	32	82
560	79	32	33	88	60	95	32	32	95
580	98	32	32	95	60	103	32	31	103
601	111	32	31	141	60	134	32	31	155
621	148	32	31	38	60	144	32	32	143
641	156	32	31	37	60	182	32	31	81
661	144	32	31	35	60	211	32	31	52
680	190	32	31	33	60	221	32	30	39
700	177	32	31	32	60	195	32	31	35
720	160	32	31	32	60	200	32	31	33
740	176	32	31	32	60	221	32	30	33
760	209	32	31	32	60	251	32	30	32
781	246	32	31	32	60	287	32	30	31
801	197	32	31	32	60	327	32	31	32
821	266	32	31	32	60	379	32	29	32
841	513	32	31	32	60	380	32	29	32
860	604	32	30	31	60	342	32	30	32
880	641	32	30	32	60	330	32	30	31
900	659	32	31	31	60	320	32	30	32
920	677	32	31	31	60	308	32	32	31
940	778	32	31	31	60	353	32	30	31
961	728	32	31	31	60	353	32	31	32
981	657	32	31	31	60	339	32	31	32
1001	715	32	31	30	60	346	32	29	32
1021	667	32	31	30	60	333	32	30	32
1060	688	32	31	31	60	308	32	31	32
1080	652	32	31	31	60	300	32	30	32
1100	676	32	31	30	60	308	32	30	32
1120	696	32	31	31	60	300	32	31	32
1161	632	32	30	31	60	289	32	29	32
1181	628	32	31	31	60	390	32	30	32
1201	660	31	31	31	60	402	31	30	32
1300	724	31	31	31	60	327	31	29	32
1381	719	31	31	30	60	238	31	32	32
1420	696	31	31	31	60	244	31	30	31
1460	636	31	31	31	60	214	31	31	32
1501	652	31	30	31	60	212	31	29	32
1580	517	31	30	30	60	184	31	29	32
1620	433	31	31	30	60	161	31	30	32
1651	340	31	30	30	60	152	31	31	32

1681	287	32	30	30	60	122	32	32	32
1721	269	32	30	30	60	100	32	31	32
1760	194	32	31	30	60	93	32	30	32
1800	190	32	30	31	60	80	32	31	32

Parameter pengukuran temperatur titik 3, 4 dan 5

s	Temperatur titik 3				Temperatur titik 4				Temperatur titik 5			
	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
FDS Time	THCP spk tidak aktif	THCP spk aktif 68 C	THCP spk aktif 7 mnt	THCP spk aktif 10 mnt	THCP spk tidak aktif	THCP spk aktif 68 C	THCP spk aktif 7 mnt	THCP spk aktif 10 mnt	THCP spk tidak aktif	THCP spk aktif 68 C	THCP spk aktif 7 mnt	THCP spk aktif 10 mnt
1	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
20	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
100	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
180	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
220	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
300	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
320	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
360	32	32	32	32	45	32	33	36	32	32	32	32
400	39	32	39	39	119	32	94	155	43	32	39	39
441	78	32	56	78	153	32	56	153	63	32	45	63
480	82	32	35	82	173	32	36	173	53	32	31	65
500	78	32	31	78	288	32	35	288	62	32	29	74
524	95	32	31	95	316	32	33	316	77	32	28	91
540	104	32	29	104	362	32	33	329	99	32	28	117
560	110	32	29	110	393	32	33	355	135	32	28	167
580	117	32	29	117	612	32	33	504	319	32	27	239
601	148	32	28	148	550	32	33	545	465	32	28	500
621	151	32	28	94	613	32	33	170	551	32	27	319
641	177	32	28	67	572	32	32	88	595	32	28	155
661	253	32	28	51	591	32	32	66	576	32	29	66
680	283	32	28	45	613	32	32	49	438	32	29	42
700	245	32	28	40	574	32	32	49	443	32	29	37
720	379	32	28	39	651	32	32	49	480	32	29	35
740	408	32	27	37	650	32	32	43	593	32	29	34
760	363	32	27	36	609	32	31	40	554	32	29	34
781	357	32	28	34	631	32	32	40	606	32	29	33
801	339	32	28	33	599	32	31	39	643	32	29	33
821	355	32	28	33	607	32	31	37	637	32	29	34
841	400	32	27	33	576	32	31	36	544	32	30	32
860	413	32	27	32	567	32	31	37	552	32	30	33
880	434	32	27	32	588	32	31	36	519	32	29	33
900	391	32	27	31	580	32	31	34	574	32	29	32
920	406	32	27	30	590	32	31	34	674	32	29	32
940	410	32	27	29	598	32	31	34	601	32	29	32
961	447	32	28	29	557	32	31	34	586	32	29	32
981	433	32	27	29	537	32	31	34	558	32	30	31
1001	435	32	27	30	562	32	31	34	550	32	29	31
1021	418	32	27	30	575	32	31	35	511	32	30	30
1060	403	32	27	30	533	32	31	34	475	32	30	31
1080	406	32	27	30	453	32	31	33	492	32	29	30
1100	406	32	27	29	645	32	31	33	480	32	30	30
1120	417	32	27	30	653	32	31	34	506	32	30	30
1161	381	32	27	30	555	32	31	34	536	32	30	30
1181	371	32	26	29	557	32	31	33	531	32	29	30
1201	354	31	27	29	479	32	31	33	480	32	29	30
1300	347	31	26	29	298	32	31	33	356	32	29	30
1381	450	31	27	30	437	32	31	32	327	32	30	30
1420	390	31	26	29	429	32	31	33	233	32	30	30
1460	324	31	26	28	349	32	31	33	220	32	30	30

1501	308	31	26	30	264	32	31	33	206	32	28	30
1580	243	31	27	28	212	32	31	32	181	32	29	29
1620	227	31	26	30	201	32	31	32	173	32	29	29
1651	196	31	26	29	168	32	31	32	167	32	28	30
1681	182	32	27	28	151	32	31	32	156	32	29	30
1721	164	32	26	28	155	32	31	32	140	32	29	30
1760	139	32	26	28	134	32	31	32	122	32	29	29
1800	120	32	26	28	114	32	30	32	112	32	29	29

Parameter pengukuran Konsentrasi Oksigen titik 1 dan 2

s	Konsentrasi Oksigen titik 1				mol/mol	Konsentrasi Oksigen titik 2			
	mol/mol	mol/mol	mol/mol	mol/mol		mol/mol	mol/mol	mol/mol	mol/mol
FDS Time	O2 spk tidak aktif	O2 spk aktif 68 C	O2 spk aktif 7 mnt	O2 spk aktif 10 mnt	O2 konsentrasi aman	O2 spk tidak aktif	O2 spk aktif 68 C	O2 spk aktif 7 mnt	O2 spk aktif 10 mnt
1	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
100	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
180	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
220	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
300	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
320	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
360	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
400	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
441	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
480	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
500	0.21	0.21	0.21	0.21	0.13	0.21	0.21	0.21	0.21
524	0.19	0.21	0.20	0.19	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
540	0.19	0.21	0.20	0.19	0.13	0.19	0.21	0.21	0.19
560	0.19	0.21	0.20	0.19	0.13	0.19	0.21	0.21	0.19
580	0.18	0.21	0.20	0.18	0.13	0.19	0.21	0.20	0.18
601	0.17	0.21	0.20	0.17	0.13	0.15	0.21	0.20	0.15
621	0.16	0.21	0.20	0.18	0.13	0.16	0.21	0.20	0.18
641	0.16	0.21	0.20	0.15	0.13	0.17	0.21	0.20	0.20
661	0.17	0.21	0.20	0.17	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
680	0.14	0.21	0.20	0.18	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
700	0.15	0.21	0.20	0.18	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
720	0.17	0.21	0.20	0.18	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
740	0.16	0.21	0.20	0.19	0.13	0.12	0.21	0.20	0.20
760	0.15	0.21	0.20	0.19	0.13	0.12	0.21	0.20	0.20
781	0.14	0.21	0.20	0.19	0.13	0.14	0.21	0.20	0.20
801	0.17	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.21
821	0.16	0.21	0.20	0.19	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
841	0.16	0.21	0.20	0.19	0.13	0.14	0.21	0.20	0.20
860	0.12	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
880	0.06	0.21	0.20	0.19	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
900	0.12	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
920	0.11	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
940	0.15	0.21	0.20	0.19	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
961	0.09	0.21	0.20	0.19	0.13	0.14	0.21	0.20	0.20
981	0.10	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
1001	0.11	0.21	0.20	0.20	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
1021	0.11	0.21	0.20	0.20	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
1060	0.09	0.21	0.20	0.20	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
1080	0.11	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
1100	0.12	0.21	0.20	0.19	0.13	0.16	0.21	0.20	0.20
1120	0.10	0.21	0.20	0.19	0.13	0.12	0.21	0.20	0.20
1161	0.12	0.21	0.20	0.20	0.13	0.14	0.21	0.20	0.20
1181	0.13	0.21	0.20	0.20	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20

1201	0.12	0.21	0.20	0.20	0.13	0.15	0.21	0.20	0.20
1300	0.13	0.21	0.20	0.20	0.13	0.18	0.21	0.20	0.20
1381	0.15	0.21	0.20	0.20	0.13	0.19	0.21	0.21	0.20
1420	0.12	0.21	0.20	0.20	0.13	0.19	0.21	0.20	0.20
1460	0.15	0.21	0.20	0.20	0.13	0.19	0.21	0.20	0.20
1501	0.18	0.21	0.20	0.20	0.13	0.19	0.21	0.20	0.20
1580	0.16	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
1620	0.18	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
1651	0.18	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
1681	0.18	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
1721	0.19	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
1760	0.20	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20
1800	0.20	0.21	0.20	0.20	0.13	0.20	0.21	0.20	0.20

Parameter pengukuran Konsentrasi Oksigen titik 3, 4 dan 5

s	Konsentrasi Oksigen titik 3				Konsentrasi Oksigen titik 4				Konsentrasi Oksigen titik 5			
	mol/mol O2 spk tidak aktif	mol/mol O2 spk aktif 68 C	mol/mol O2 spk aktif 7 mnt	mol/mol O2 spk aktif 10 mnt	mol/mol O2 spk tidak aktif	mol/mol O2 spk aktif 68 C	mol/mol O2 spk aktif 7 mnt	mol/mol O2 spk aktif 10 mnt	mol/mol O2 spk tidak aktif	mol/mol O2 spk aktif 68 C	mol/mol O2 spk aktif 7 mnt	mol/mol O2 spk aktif 10 mnt
1	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
100	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
180	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
220	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
300	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
320	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
360	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
400	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
441	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
480	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
500	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
524	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.20
540	0.19	0.21	0.21	0.19	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.20
560	0.19	0.21	0.20	0.19	0.19	0.21	0.18	0.19	0.19	0.21	0.19	0.19
580	0.18	0.21	0.20	0.19	0.18	0.21	0.18	0.19	0.19	0.21	0.19	0.18
601	0.19	0.21	0.20	0.18	0.18	0.21	0.18	0.18	0.10	0.21	0.19	0.10
621	0.19	0.21	0.20	0.18	0.15	0.21	0.19	0.09	0.15	0.21	0.20	0.15
641	0.18	0.21	0.20	0.18	0.19	0.21	0.19	0.11	0.13	0.21	0.19	0.17
661	0.16	0.21	0.20	0.18	0.18	0.21	0.19	0.13	0.09	0.21	0.19	0.17
680	0.17	0.21	0.20	0.18	0.15	0.21	0.19	0.14	0.15	0.21	0.19	0.17
700	0.16	0.21	0.20	0.18	0.16	0.21	0.19	0.16	0.15	0.21	0.19	0.18
720	0.17	0.21	0.20	0.18	0.12	0.21	0.19	0.16	0.16	0.21	0.19	0.18
740	0.16	0.21	0.20	0.19	0.18	0.21	0.19	0.16	0.12	0.21	0.19	0.18
760	0.17	0.21	0.20	0.18	0.14	0.21	0.19	0.17	0.12	0.21	0.19	0.19
781	0.18	0.21	0.20	0.19	0.10	0.21	0.19	0.17	0.13	0.21	0.20	0.19
801	0.15	0.21	0.20	0.20	0.09	0.21	0.19	0.17	0.14	0.21	0.20	0.19
821	0.14	0.21	0.20	0.19	0.08	0.21	0.19	0.18	0.11	0.21	0.20	0.19
841	0.12	0.21	0.20	0.20	0.09	0.21	0.19	0.18	0.11	0.21	0.19	0.19
860	0.13	0.21	0.20	0.20	0.07	0.21	0.19	0.18	0.13	0.21	0.19	0.19
880	0.13	0.21	0.20	0.20	0.06	0.21	0.19	0.19	0.09	0.21	0.20	0.19
900	0.13	0.21	0.20	0.20	0.09	0.21	0.19	0.19	0.11	0.21	0.20	0.19
920	0.12	0.21	0.20	0.20	0.10	0.21	0.19	0.19	0.07	0.21	0.20	0.19
940	0.12	0.21	0.20	0.20	0.10	0.21	0.19	0.19	0.09	0.21	0.20	0.19
961	0.11	0.21	0.20	0.20	0.07	0.21	0.19	0.19	0.07	0.21	0.20	0.19
981	0.12	0.21	0.20	0.20	0.06	0.21	0.19	0.19	0.08	0.21	0.20	0.19
1001	0.12	0.21	0.20	0.20	0.10	0.21	0.19	0.19	0.09	0.21	0.20	0.19
1021	0.12	0.21	0.20	0.20	0.09	0.21	0.19	0.19	0.09	0.21	0.20	0.19
1060	0.12	0.21	0.20	0.20	0.12	0.21	0.19	0.19	0.11	0.21	0.20	0.20
1080	0.14	0.21	0.20	0.20	0.15	0.21	0.19	0.19	0.11	0.21	0.20	0.20
1100	0.13	0.21	0.20	0.20	0.04	0.21	0.19	0.19	0.11	0.21	0.20	0.19
1120	0.12	0.21	0.20	0.20	0.16	0.21	0.19	0.19	0.11	0.21	0.20	0.20

1161	0.14	0.21	0.20	0.20	0.13	0.21	0.19	0.19	0.10	0.21	0.20	0.20
1181	0.14	0.21	0.20	0.20	0.13	0.21	0.19	0.19	0.08	0.21	0.20	0.19
1201	0.13	0.21	0.20	0.20	0.15	0.21	0.19	0.19	0.14	0.21	0.20	0.20
1300	0.12	0.21	0.20	0.20	0.17	0.21	0.19	0.19	0.14	0.21	0.20	0.20
1381	0.11	0.21	0.20	0.20	0.15	0.21	0.20	0.19	0.14	0.21	0.20	0.20
1420	0.15	0.21	0.20	0.20	0.17	0.21	0.20	0.19	0.15	0.21	0.20	0.20
1460	0.15	0.21	0.20	0.20	0.14	0.21	0.19	0.19	0.16	0.21	0.20	0.20
1501	0.14	0.21	0.20	0.20	0.15	0.21	0.20	0.19	0.16	0.21	0.20	0.20
1580	0.17	0.21	0.20	0.20	0.18	0.21	0.20	0.19	0.17	0.21	0.20	0.20
1620	0.17	0.21	0.20	0.20	0.19	0.21	0.20	0.19	0.17	0.21	0.20	0.20
1651	0.18	0.21	0.20	0.20	0.19	0.21	0.20	0.19	0.18	0.21	0.20	0.20
1681	0.19	0.21	0.20	0.20	0.19	0.21	0.20	0.19	0.18	0.21	0.20	0.20
1721	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.19	0.18	0.21	0.20	0.20
1760	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.19	0.19	0.21	0.20	0.20
1800	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.19	0.20	0.21	0.20	0.20

Parameter pengukuran Konsentrasi Karbon dioksida titik 1 dan 2

s	Konsentrasi Karbon dioksida titik 1				mol/mol	Konsentrasi Karbon dioksida titik 2			
	mol/mol	mol/mol	mol/mol	mol/mol		mol/mol	mol/mol	mol/mol	mol/mol
FDS Time	CO2 spk tidak aktif	CO2 spk aktif 68 C	CO2 spk aktif 7 menit	CO2 spk aktif 10 menit	CO2 batas konsentrasi aman	CO2 spk tidak aktif	CO2 spk aktif 68 C	CO2 spk aktif 7 menit	CO2 spk aktif 10 menit
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
320	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
400	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01
441	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01
480	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01
500	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01
524	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.02
540	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.03
560	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01
580	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
601	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
621	0.04	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
641	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
661	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
680	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
700	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
720	0.05	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
740	0.04	0.00	0.00	0.01	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
760	0.04	0.00	0.00	0.01	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00
781	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00
801	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
821	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
841	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
860	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
880	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
900	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
920	0.12	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
940	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
961	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
981	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
1001	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00

1021	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
1060	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
1080	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
1100	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
1120	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
1161	0.08	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
1181	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
1201	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
1300	0.09	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
1381	0.08	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
1420	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
1460	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
1501	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
1580	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
1620	0.06	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
1651	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
1681	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
1721	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
1760	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00

Parameter pengukuran Konsentrasi Karbon dioksida titik 3, 4 dan 5

s	Konsentrasi Karbon dioksida titik 3				Konsentrasi Karbon dioksida titik 4				Konsentrasi Karbon dioksida titik 5			
	mol/mol CO2 spk tidak aktif	mol/mol CO2 spk aktif 68 C	mol/mol CO2 spk aktif 7 menit	mol/mol CO2 spk aktif 10 menit	mol/mol CO2 spk tidak aktif	mol/mol CO2 spk aktif 68 C	mol/mol CO2 spk aktif 7 menit	mol/mol CO2 spk aktif 10 menit	mol/mol CO2 spk tidak aktif	mol/mol CO2 spk aktif 68 C	mol/mol CO2 spk aktif 7 menit	mol/mol CO2 spk aktif 10 menit
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
360	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
441	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
480	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
500	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
524	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
540	0.01	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.02	0.10	0.00	0.00	0.04
560	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.09	0.00	0.00	0.03
580	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01
601	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01
621	0.03	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00	0.01
641	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.01
661	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00	0.01
680	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00	0.01
700	0.02	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01
720	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00	0.01
740	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01
760	0.02	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.09	0.00	0.00	0.01
781	0.03	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01
801	0.03	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
821	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00
841	0.06	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
860	0.06	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
880	0.07	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00
900	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00
920	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00

940	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
961	0.06	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
981	0.06	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
1001	0.08	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
1021	0.07	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
1060	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
1080	0.08	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
1100	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
1120	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
1161	0.06	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
1181	0.07	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
1201	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
1300	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
1381	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
1420	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
1460	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
1501	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
1580	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
1620	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
1651	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
1681	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
1721	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
1760	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00

RIWAYAT HIDUP



Fajar Septian dilahirkan pada 7 Mei 1988 di Jakarta. Anak keempat dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Djaelani dengan Ibu Riwanti. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di Madrasah Ibtidaiyah Darus Syifa Jakarta pada tahun 1994 dan tamat pada tahun 2000. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Madrasah Tsanawiyah Negeri 20 Jakarta dan tamat pada tahun 2003. Penulis melanjutkan pendidikan di SMK RISTEK

KIKIN Jakarta dan tamat pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikannya ke Universitas Negeri Jakarta pada tahun 2013. Semasa kuliah penulis melakukan PKL (Praktek Kerja Lapangan) di Suku Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamat pada Juni 2016 dan melakukan PKM (Praktek Kegiatan Mengajar) di SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta pada Agustus 2016.