



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENYEBARAN API ANTAR BANGUNAN : PEMODELAN
DAN EKSPERIMEN SKALA LABORATORIUM**

SKRIPSI

ERLANGGA AEKUKULA RENGANA

04 05 02 0294

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENYEBARAN API ANTAR BANGUNAN : PEMODELAN
DAN EKSPERIMEN SKALA LABORATORIUM**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

ERLANGGA AEKUKULA RENGANA

04 05 02 0294

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Erlangga Aekukula Renggana

NPM : 0405020294

Tanda Tangan :

Tanggal : Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Erlangga Aekukula Renggana
NPM : 0405020294
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi :

Penyebaran Api Antar Bangunan : Pemodelan Dan Eksperimen Skala
Laboratorium

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc.,Ph.D (.....)
Penguji : Dr.Ir. Danardono AS (.....)
Penguji : Dr.Ir. Warjito, M.Eng (.....)
Penguji : Ardiyansyah, ST.,M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Desember 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

PENYEBARAN API ANTAR BANGUNAN:

PENYEBARAN API DENGAN MENGGUNAKAN COMPARTEMENT

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

Terima Kasih yang tidak terkirakan penulis sampaikan kepada Ayah dan Ibu yang telah mendidik penulis sejak kecil hingga saat ini, Juga tak lupa pula untuk keluarga besar penulis yang telah menyokong dan memberikan semangat serta membantu kelancaran kuliah penulis.

Terima Kasih Para Guru-guru/dosen-dosen yang telah banyak membimbing penulis dalam menjalani karier akademis semenjak TK sampai dengan kuliah S1 reguler di Teknik Mesin Universitas Indonesia. Khususnya kepada Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pencerahan, yang bukan hanya berkaitan dengan penelitian namun juga pencerahan hidup bagi penulis.

Penulis juga Mengucapkan Terima Kasih kepada :

1. Seluruh Staff Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu penulis dalam pengerjaan karya tulis ini.
2. Ketua RW 04 Kel. Kramat Kec. Senen beserta staffnya, Ketua RW 05 Kel Utan Panjang Kec. Kemayoran beserta stafnya, ketua RW 9 dan RW 10 Kel. Candisari - Kota Semarang beserta stafnya yang telah banyak membantu dalam proses survey mengenai penelitian ini.
3. Tim Survey Fire Spread; Taufiq S.T, Ridwan dan Dimas R K yang telah

- banyak membantu dalam proses pengambilan data dan penulisan skripsi ini.
4. Rekan-rekan mahasiswa Departemen Teknik Mesin FTUI yang selama ini telah banyak memberikan penulis inspirasi juga bantuan baik dalam pembuatan skripsi ini dan dalam kehidupan selama penulis melaksanakan Studi di Teknik Mesin FTUI.
 5. Rekan-rekan dari Departemen Arsitektur Universitas Indonesia Merilira Indra Kirana, Naomi, Innes Jessica yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
 6. Melani Setyaningrum, Andi Rahman Abduljalil, Satrio Edhi Prabowo, Muhammad Miftah, Nyzi G, Prasthi Putri, Pritha Putri, Yovan Hadiatma, Adrian Prihastama, serta segenap sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan dorongan semangat selama ini.
 7. Keluarga besar Universitas Indonesia yang senantiasa memberikan semangat dan dukungannya.

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

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

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

Depok, Juni 2009

Erlangga A.Renggana

NPM 04 05 02 0294

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Erlangga Aekukula Renggana
NPM : 0405020294
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Penyebaran Api Antar Bangunan : Pemodelan Dan Eksperimen Skala
Laboratorium

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Desember 2009
Yang menyatakan

(Erlangga Aekukula Renggana)

ABSTRAK

Nama : Erlangga Aekukula Renggana
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Penyebaran Api Antar Bangunan : Pemodelan Dan Eksperimen
Skala Laboratorium

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang banyak terjadi di dunia ini, terutama pada perumahan padat penduduk kebakaran merupakan salah satu hal yang sangat memprihatinkan. Sepanjang tahun 2009 di DKI Jakarta (hingga Desember 2009) telah terjadi 800 kasus kebakaran, dengan kerugian tidak kurang dari Rp. 300 Milyar. Dengan melihat kondisi dari propinsi DKI Jakarta yang harga tanahnya relatif cukup mahal maka orang-orang akan cenderung untuk "mengintensifikan" rumah mereka yang menyebabkan perumahan padat penduduk berkembang dengan cepat di Jakarta. Maka dari itu diperlukan penelitian-penelitian untuk memahami mengenai proses penyebaran api pada perumahan yang umum ada di DKI Jakarta. Penelitian mengenai kebakaran umumnya memakan biaya yang mahal, tempat yang besar, dan memiliki potensi bahaya tinggi. Oleh karena itu dilakukan percobaan dengan menggunakan model *scale-down* sehingga biaya dan tingkat bahaya bisa dikurangi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai *Heat Flux* dan Temperatur sebagai nilai kritis penyebaran api pada jarak yang telah diskenariokan dari hasil survey yang dilakukan pada tahun 2008. Jarak tersebut adalah 1,5 meter, 3 meter, dan 4,5 meter. Ada pun penambahan Atap dan Tirai Air merupakan tambahan dari skenario yang sudah ada. Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak dan ketinggian yang kritis untuk api dapat menyebar, sehingga dapat diketahui upaya-upaya untuk mencegah ataupun meminimalisir dampak dari kebakaran.

Kata kunci : *Scale-down* , *Heat Flux*, Temperatur, Penyebaran Api

ABSTRACT

Name : Erlangga Aekukula Renggana
Study Program : Mechanical Engineering
Title : House to House Fire Spread : Simulation and Laboratorium
Scale Experimental

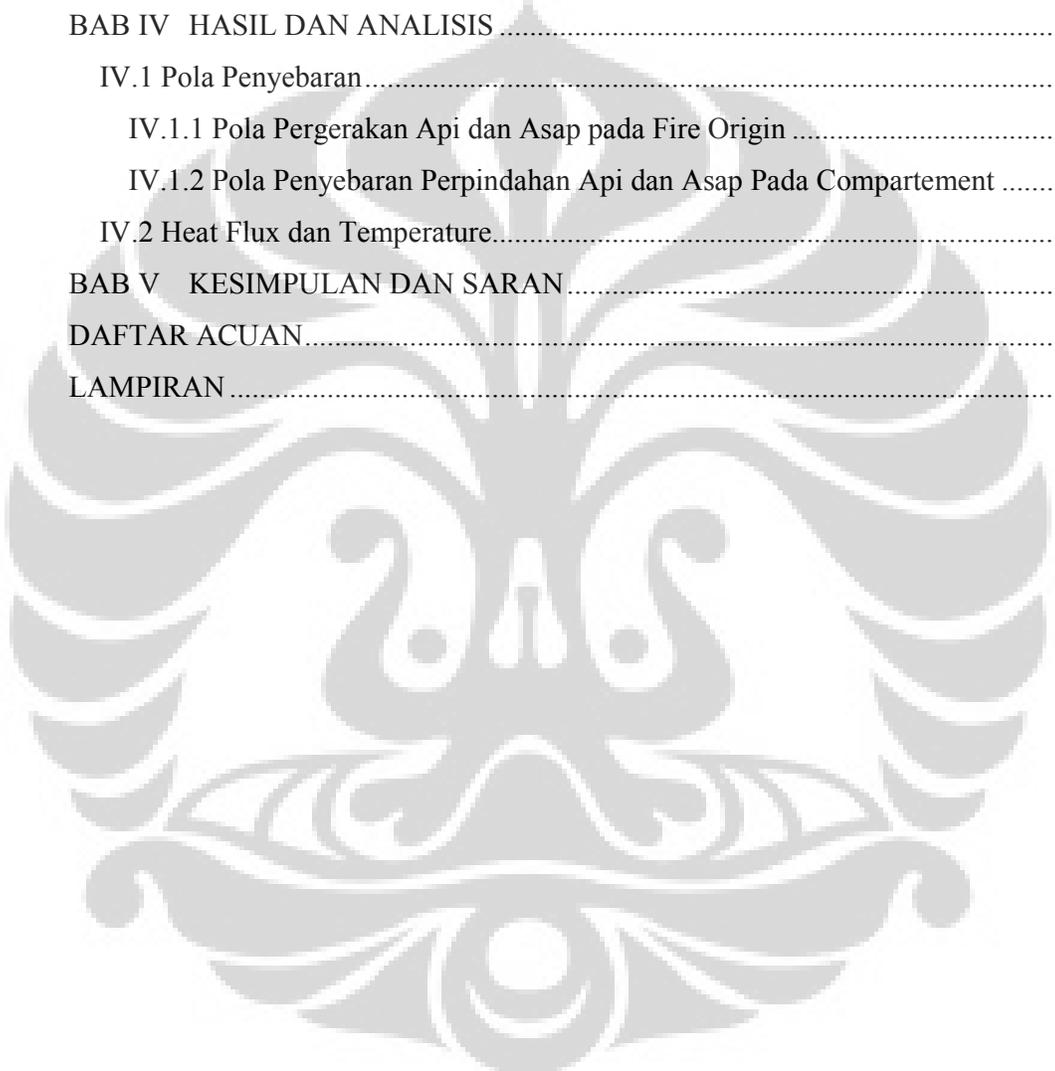
Fire is one of the disaster that recurrently happens in this world, especially in the concentrated and populated housing area, fire is becoming a major concern. During the year of 2009 in DKI Jakarta (until December 2009) there is 800 fire cases, with no less than 300 billion rupiah loss. Because of the expensive land price in Jakarta, people tends to make their houses “more intensified” with inadequate spaces between houses. Therefore an experiment concerning fire is needed for better understanding of fire spread phenomenon. However a fire experiment is expensive, needs a large space area, and potentially dangerous. Thus, experimental study using a scale-down model is implemented. The purposes of this experiment is to measure a heat flux and temperature value as the critical point in fire spread, with scenarios that is made from the survey that was concluded in 2008. In this study, the effects of roof and water spray on fire spread intensity are also considered. The results of this experiment give knowledge about the effect of the height and distance regarding fire spread, as well as how to prevent or minimize the hazard of fire spread.

Keywords : Scale-Down, Heat Flux, Temperature, Fire Spread

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penulisan	10
I.3 Batasan Masalah.....	10
I.4 Metodologi Penelitian	11
I.5 Sistematika Penulisan.....	13
BAB II DASAR TEORI.....	15
II.1 Karakteristik Perpindahan Api dari Bangunan ke Bangunan.....	15
II.1.1 Radiasi Termal dari Api Terhadap Bangunan	15
II.1.2 Meningkatnya Temperatur Akibat dari Tiupan Pada Fire Plumes	16
II.2 Compartment Fire.....	17
II.3 Pemodelan Pergerakan Api dan Asap	19
II.3.1 Probabilistic Models for Building Fire Safety.....	19
II.3.2 Deterministic Models.....	20
II.3.3 Fire Dynamic Simulator (FDS) [7].....	21
II.4 Analisis Dimensional Dan Keserupaan [17]	23
II.4.1 Theorema Pi Buckingham	23
II.4.2 Metode Partial Differential Equation.....	24
II.4.3 Dimensional Analisis Relationship.....	25
II.4.4 Keserupaan	26
BAB III PEMODELAN DAN EKSPERIMENTAL.....	27
III.1 Computer Modeling	27
III.1.1 Domain	27

III.1.2 Geometri.....	29
III.1.3 Material Properties	31
III.2 Eksperimental.....	32
III.2.1 Analisis Keserupaan Model.....	32
III.2.2 Bahan & Peralatan Eksperimen.....	37
III 2.3 Prosedur Eksperimen.....	41
BAB IV HASIL DAN ANALISIS	43
IV.1 Pola Penyebaran.....	43
IV.1.1 Pola Pergerakan Api dan Asap pada Fire Origin	43
IV.1.2 Pola Penyebaran Perpindahan Api dan Asap Pada Compartement	45
IV.2 Heat Flux dan Temperature.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
DAFTAR ACUAN.....	63
LAMPIRAN	65



DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Frekuensi peristiwa kebakaran DKI Jakarta	1
Gambar I-2 Pokok benda terbakar pada kebakaran DKI Jakarta 2003-2009.....	2
Gambar I-3 Denah lokasi dan pembagian rukun tetangga	4
Gambar I-4. Distribusi kepadatan penduduk.....	4
Gambar I-5. Klasifikasi rumah berdasarkan tahun kepemilikan.....	5
Gambar I-6. Tipe jalan . A) Lebar gang \pm 4 meter, B) Lebar gang \pm 1 meter	5
Gambar I-7. Data jenis bangunan perumahan dan jarak antar atap bangunan	6
Gambar I-8. Data jarak antar dinding perumahan dan lebar jalan akses.....	6
Gambar I-9. Alur pengerjaan penelitian.....	12
Gambar II-1. Faktor penyebab perpindahan api pada kebakaran antar bangunan. [5].....	15
Gambar II-2. Efek dari wind-blown fire plumes pada penyebaran api. [5]	17
Gambar II-3 Segitiga Nyala Api	17
Gambar II-4. Periode Nyala Api dalam Compartment [1]	18
Gambar III-1 Mesh Pada Simulasi Compartment Fire.....	29
Gambar III-2 Layout Compartment.....	30
Gambar III-3 Ignition Source dan Vent	31
Gambar III-4 Pemodelan compartment fire [13].....	33
Gambar III-5 Heat Loss melalui dinding compartment [13].....	34
Gambar III-6 Wood Cribs	39
Gambar III-7 Layout alat pada eksperimen.....	40
Gambar III-8 Peralatan Pengambilan Data	40
Gambar IV-1 Temperatur Slice File.....	44
Gambar IV-2 Karakteristik Fire Plumes	46
Gambar IV-3 Pola Penyebaran Api dan Asap.....	47
Gambar IV-4. Nilai critical heat flux untu piloted ignition.[8]	49
Gambar IV-5 Flux 1.5 meter	49
Gambar IV-6 Flux 3 meter	50
Gambar IV-7 Flux 4.5 meter	50

Gambar IV-8 Flux 3 meter dengan atap.....	51
Gambar IV-9 Flux 3 meter dengan sprinkler	51
Gambar IV-10 Distribusi Temperatur Pada FDS (atas) , Pada Experimen 3 meter (tengah), dan Pada Experimen 1.5 meter	53
Gambar IV-11 Heat Flux FDS jarak 1.5 m	55
Gambar IV-12 Heat Flux FDS jarak 4.5 m	55
Gambar IV-13 Heat Flux FDS jarak 3 m atap	56
Gambar IV-14 Perbedaan Temperatur atas dan bawah atap	56
Gambar IV-15 Heat Flux FDS jarak 3 m (sprinkler)	57
Gambar IV-16 Heat Flux Experimen Jarak 3 m	57
Gambar IV-17 Flux Maximum Pada Skenario 3 meter (Eksperimen).....	58
Gambar IV-18 Heat Flux Experimen Jarak 1.5 m	58
Gambar IV-19 Flux Maximum Pada Skenario 1.5 meter (Eksperimen).....	59
Gambar IV-20 Heat Flux Pada Titik-Titik Target	61

DAFTAR TABEL

Table I-1 Klasifikasi jalan di lingkungan perumahan	6
Table III-1 Material Properties.....	32
Table III-2 Relasi yang menghubungkan parameter full scale dan reduced scale	37
Table III-3 Material properties dari bahan-bahan eksperimen.....	37



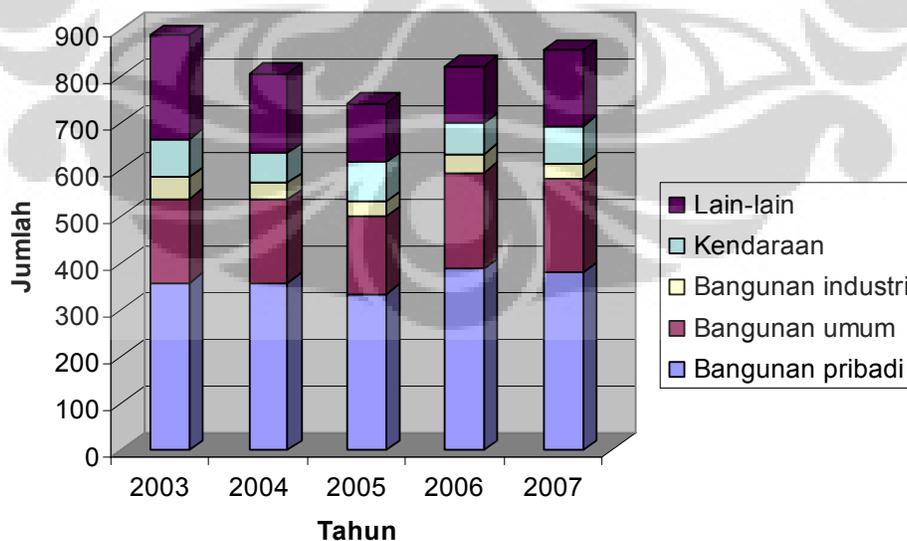
DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
A	Luas area	(m^2)
H	Ketinggian	(m)
c_p	Kalor jenis	(kJ/kgK)
g	Percepatan gravitasi	(m/s^2)
m	masa	(kg)
Q	Heat generation	(kJ)
\dot{Q}''	Heat flux generation	(kW/m^2)
q	Heat release	(kJ)
\dot{q}	Heat release rate	(kW)
s	Jarak separasi	(m)
l	Dimensi panjang	(m)
g	Percepatan gravitasi	(m/s^2)
σ	Konstanta Steafan Boltzmant	(W/m^2K^4)
T	Temperature	$(C \text{ atau } K)$
V	Volume	(m^3)
ε	Emisifitas	
ε_g	Emisifitas gas	
ρ	Densitas	(kg/m^3)
κ	Koefesien absorpsi radiasi	
δ	Ketebalan	(m)
Π	Bilangan tak berdimensi	
Simbol lain		
$\dot{\square}$	per satuan waktu	
\square''	per satuan area	
\square_∞	Komponen ambient	
\square_R	Komponen radiasi	
\square_w	Komponen dinding (wall)	

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

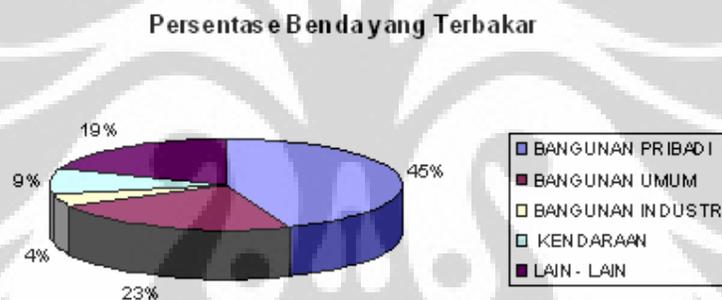
Kebakaran merupakan salah satu bencana yang banyak terjadi di dunia ini, terutama pada perumahan padat penduduk kebakaran merupakan salah satu hal yang sangat memprihatinkan. Sepanjang tahun 2009 (hingga Desember 2009) telah terjadi 798 kasus kebakaran, dengan kerugian tidak kurang dari Rp. 300 Milyar. Sementara itu berdasarkan data statistik dari dinas kebakaran DKI (hingga 2 Mei 2008) terhitung mulai 1 January 2008 telah terjadi 197 kali kebakaran dengan perkiraan kerugian material lebih dari Rp.12 Miliar. Untuk kebakaran di daerah DKI Jakarta dari tahun 2003 – 2007 terjadi peningkatan secara perlahan pada jumlah kasus kebakaran bangunan pribadi dan dari tahun 2003 – 2008 jumlah persentase pokok benda yang terbakar pada bencana kebakaran di DKI Jakarta untuk bangunan pribadi menempati porsi terbesar mencapai 45% dari total kasus. Antara tahun 2003 sampai dengan 2007 rata-rata di Jakarta terjadi dua kali kebakaran setiap harinya dan untuk bangunan pribadi terjadi 6 kali kebakaran setiap minggunya. Hal ini dapat dilihat dari statistik jumlah kebakaran DKI Jakarta pada Gambar I-1 dan I-2. [9]



Gambar I-1 Frekuensi peristiwa kebakaran DKI Jakarta [9]

Berdasarkan data Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana, korsleting arus pendek listrik masih menjadi faktor tertinggi penyebab terjadinya kebakaran di Jakarta. Sepanjang tahun 2009, ada sekitar 191 kebakaran yang disebabkan karena korsleting listrik dari total kebakaran yang jumlahnya mencapai 316 kasus. Sementara penyebab lain dari kebakaran seperti akibat ledakan kompor ada sekitar 34 kasus, lampu tempel tiga kali dan rokok delapan kasus.

Kebakaran tidak hanya menyebabkan kerugian berupa materiil tetapi juga menyebabkan korban jiwa dan luka-luka yang tidak bisa dinilai betapa besar kerugiannya jika dibandingkan dengan kerugian materiil.



Gambar I-2 Pokok benda terbakar pada kebakaran DKI Jakarta 2003-2009

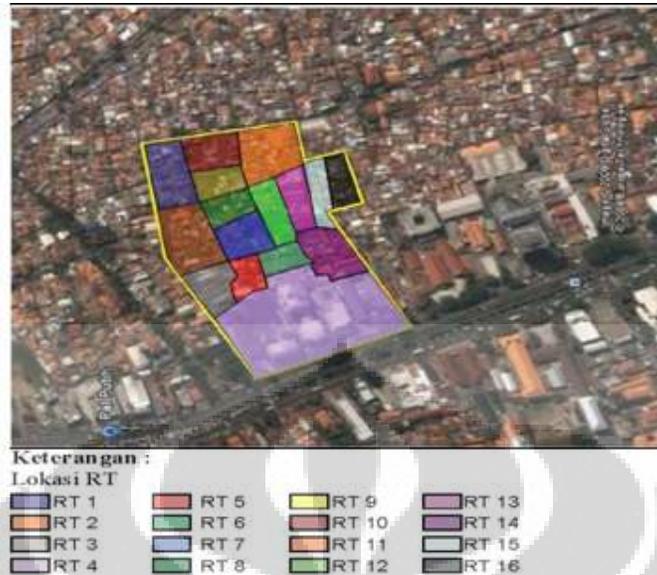
Jika dilihat pada Gambar I-2 terlihat bahwa kebakaran yang terjadi pada tahun 2003-2008 hampir setengahnya merupakan bangunan pribadi atau bisa disimpulkan merupakan perumahan, terutama pada bangunan padat penduduk kebakaran makin sulit diatasi karena akses jalan dan akses air yang sulit dijangkau oleh pemadam kebakaran ditambah dengan jarak yang berdempetan menyebabkan api menyebar dengan cepat. Dengan akses jalan yang kecil, proses evakuasi pada saat kebakaran pun akan menjadi sulit dan keadaan yang demikian membuat lokasi pemukiman padat penduduk menjadi lokasi yang sangat tidak aman jika terjadi kebakaran. Pada saat evakuasi hal yang paling perlu diwaspadai merupakan asap (*non thermal*) hasil dari kebakaran, selain asap ini mengandung banyak racun yang mematikan, asap dapat

menghalangi pandangan dan juga asap menyebabkan kesulitan dalam pengambilan keputusan untuk evakuasi dan juga penyebaran asap sangat luas dan bisa mencakup daerah yang jauh dari sumber api.

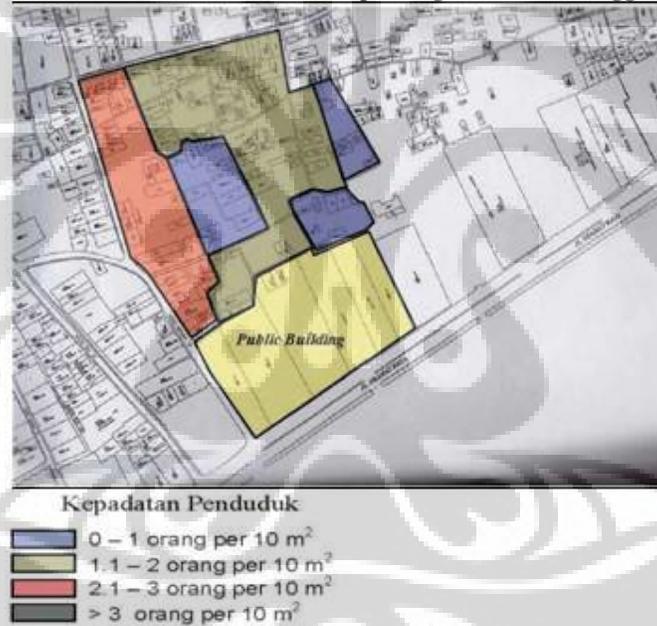
Dengan melihat kondisi dari propinsi DKI Jakarta yang harga tanahnya relatif cukup mahal maka orang-orang akan cenderung untuk "mengecilkan" rumah mereka yang menyebabkan perumahan padat penduduk berkembang dengan cepat di Jakarta. Kondisi seperti ini meningkatkan potensi terjadinya resiko bencana kebakaran antar bangunan pada skala pemukiman. Penyebaran api antar bangunan merupakan faktor utama bagi luasnya sebaran bangunan yang terbakar.

Pada Desember 2008 penulis dan team survey melakukan observasi langsung ke lapangan. Survey ini dilakukan pada wilayah pemukiman padat di DKI Jakarta yaitu daerah Kramat Pulo Rw 04 Jakarta pusat. Wilayah ini dibagi menjadi 16 rukun tetangga dan dari salah satu rukun tetangga (RT) berisikan bangunan publik (RT 04) yang merupakan gedung-gedung perkantoran. RW 04 daerah Kramat Pulo dibatasi pada bagian utara dengan jalan lokal dengan lebar jalan 4 sampai 6 meter yang dilalui angkutan umum berjenis mikrolet, bagian timur juga dibatasi jalan lokal dengan lebar 4 sampai 6 meter serta dapat dilalui angkutan umum berjenis mikrolet. Untuk bagian selatan berbatasan dengan pemukiman penduduk yang berbeda RW, sedangkan untuk bagian barat dibatasi oleh jalan raya Kramat.

Pada wilayah ini jika dilihat dari rasio lahan terhadap jumlah penduduk wilayah ini termasuk daerah dengan penghuni sangat padat, distribusi kepadatan penduduk pada wilayah ini ditampilkan pada Gambar I-4 (untuk public building tidak dilakukan penghitungan). Berdasarkan hasil survey sebagian besar lokasi di wilayah ini memiliki kepadatan lebih dari 1 jiwa/10m² atau setara dengan 1000 jiwa per hektar, dari data ini dapat disimpulkan bahwa satu orang hanya mempunyai ruang gerak sebesar . Jika dibandingkan hal ini dengan standar yang ada (SNI 03-1733-2004), daerah dengan kepadatan penduduk lebih dari 400 jiwa per hektarnya merupakan daerah yang digolongkan sangat padat dan untuk daerah seperti ini maksimal reduksi terhadap kebutuhan lahan hanya boleh mencapai 30%.



Gambar I-3 Denah lokasi dan pembagian rukun tetangga

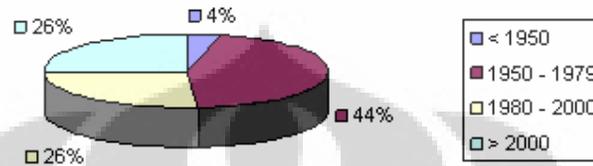


Gambar I-4. Distribusi kepadatan penduduk

Pada wilayah ini bangunan perumahan penduduk sebagian besarnya berumur 58 tahun atau lebih dengan mayoritas berjenis semi permanen 2 lantai dan permanen 1 lantai, mayoritas antar dinding berjarak 0 – 1 meter dan lebar akses didominasi oleh gang berukuran 1,1 – 2 meter. Gambar mengenai jarak antar bangunan dan lebar jalan akses bisa dilihat pada Gambar I-6. Jika membandingkan keadaan area pemukiman ini dengan standar yang ada yaitu SNI 03-1733-2004 tentang "Tata cara perencanaan

lingkungan perumahan di perkotaan”, terlihat jelas bahwa sebagiann besar area pemukiman ini memiliki jalan akses yang tidak layak. Berdasarkan peraturan yang ada akses jalan di area seperti ini memiliki lebar minimal 4 meter. Untuk lebih jelasnya informasi ini dapat dilihat pada Gambar I-5, I-6 dan Tabel I-1 di bawah ini.

Tahun Kepemilikan Bangunan



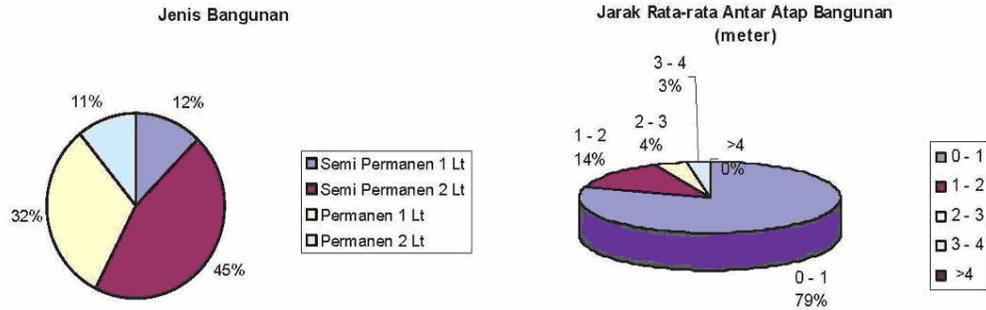
Gambar I-5. Klasifikasi rumah berdasarkan tahun kepemilikan



A

B

Gambar I-6. Tipe jalan . A) Lebar gang ± 4 meter, B) Lebar gang ± 1 meter



Gambar I-7. Data jenis bangunan perumahan dan jarak antar atap bangunan



Gambar I-8. Data jarak antar dinding perumahan dan lebar jalan akses

Table I-1 Klasifikasi jalan di lingkungan perumahan [10]

Hierarki Jalan Perumahan	Dimensi dari Elemen-elemen Jalan				Dimensi pada Daerah Jalan			GSB Min. (m)	Ket.
	Perkerasan (m)	Bahu Jalan (m)	Pedestrian (m)	Trotoar (m)	Damaija (m)	Damaija (m)	Dawasja Min. (m)		
Lokal Sekunder I	3.0-7.0 (mobi-motor)	1.5-2.0 (darurat parkir)	1.5 (pejalan kaki, vegetasi, penyanggah cacat roda)	0.5	10.0-12.0	13.0	4.0	10.5	—
Lokal Sekunder II	3.0-6.0 (mobi-motor)	1.0-1.5 (darurat parkir)	1.5 (pejalan kaki, vegetasi, penyanggah cacat roda)	0.5	10.0-12.0	12.0	4.0	10.0	—
Lokal Sekunder III	3.0 (mobi-motor)	0.5 (darurat parkir)	1.2 (pejalan kaki, vegetasi, penyanggah cacat roda)	0.5	8.0	8.0	3.0	7.0	Khusus pejalan kaki
Lingkungan I	1.5-2.0 (pejalan kaki, penjual dorong)	0.5	—	0.5	3.5-4.0	4.0	2.0	4.0	Khusus pejalan kaki
Lingkungan II	1.2 (pejalan kaki, penjual dorong)	0.5	—	0.5	3.2	4.0	2.0	4.0	Khusus pejalan kaki

Berdasarkan kajian *cost and benefit* terhadap penanggulangan bencana kebakaran di daerah survey ini, untuk penanggulangan masalah ini maka dibagi alternatif penanggulangan bencana ini menjadi 3 kelas, terlihat pada Tabel I-2.

Tabel I-1. Cara penanggulangan bencana kebakaran. [12]

Investasi (<i>cost</i>) pengadaan sarana penanggulangan kebakaran	
	Do nothing: yaitu kondisi yang ada saat ini, dengan tidak melakukan upaya dan fasilitas fisik apapun.
	<p>Alternatif 1: Hanya ada pengadaan pelatihan menghadapi kebakaran bagi warga, tidak ada pengadaan fasilitas fisik. Pelatihan diasumsikan diadakan satu kali satu tahun, pelatihan diberikan kepada 20 orang setiap RT. Pelatihan meliputi:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bagaimana menenangkan diri sehingga dapat memprioritaskan penyelamatan nyawa dan aset ● Mengetahui arah dan posko yang relatif aman untuk berlindung sementara dari bahaya api ● Melatih metode pemadaman swadaya oleh masyarakat agar tindakan pemadaman lebih terpimpin dan terarah, sehingga lebih efektif untuk pemadaman api.
	Alternatif 2: Pengadaan alat pemadam khusus
	<ul style="list-style-type: none"> ● Pengadaan alat pemadam ukuran kecil yang dapat menjangkau lokasi sempit (APAR ukuran 3 kg) dengan rasio 1 unit alat setiap 5 rumah. ● Pengadaan alat pemadam dorong (ukuran 60 kg) dengan rasio 1 unit setiap RT. ● Pengadaan alarm jarak jauh ● Pelatihan warga terpilih untuk menghadapi kebakaran.
	Alternatif 3: Pelebaran jalan
	<ul style="list-style-type: none"> ● Pembebasan jalan (tanah, bangunan, biaya kepindahan) ● pengadaan alarm jarak jauh ● pelatihan warga terpilih
Benefit dari pengadaan sarana penanggulangan kebakaran :	
	Terhindarnya kerugian akibat kebakaran yang tidak tertanggulangi berupa kerugian ekonomis dan sosial yang dapat dikuantifisir

Dari kajian ini diketahui bahwa kondisi awal dimana tidak dilakukan tindakan apapun (*do nothing*), terlihat terdapat kerugian yang sangat besar yang berpotensi diderita oleh warga. Dengan tidak melakukan tindakan apapun, dengan situasi lokasi yang sangat sempit, akan terjadi kesulitan dalam evakuasi aset-aset oleh setiap warga negara. Warga bahkan mungkin tidak mengetahui arah atau lokasi yang harus dituju agar selamat dari api. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya kerugian yang lebih besar.

Alternatif 1 merupakan tindakan terkecil yang dilakukan yaitu dengan mempersiapkan warga menghadapi bahaya yang tidak terduga, sehingga bisa dihindarkan terjadinya kepanikan yang dapat meningkatkan potensi kerugian. Dengan pelatihan yang cukup, diharapkan warga lebih terpimpin dalam melakukan penyelamatan dan evakuasi, sehingga dapat menentukan prioritas dan menurunkan potensi kerugian. Selain itu, upaya pemadamanpun dapat dilakukan dengan lebih efektif dan terpimpin, sehingga lebih cepat dapat memadamkan api.

Alternatif 2, adalah menambah peralatan pemadam kebakaran dengan ukuran kecil dan *portabel*. Dengan adanya alat pemadaman ini, diharapkan upaya pemadaman dapat dilakukan dengan lebih baik dan efektif. Mengingat tempat yang tidak dapat dijangkau dengan mudah oleh mobil pemadam kebakaran, maka alat pemadam kecil ini akan sangat efektif menggantikan fungsi pemadaman. Dengan ini diharapkan kerugian dapat dihindari dengan cukup signifikan. Kelebihan dari alternatif ini adalah sifatnya yang lebih efisien, dan mudah. Efek jangka pendek didapatkan dengan segera. Hasil yang dapat diperoleh bisa memberikan *benefit* Rp600 Juta hingga 1 Miliar. Alternatif 3 tidak dapat memberikan kelebihan seperti yang diperoleh dari alternatif 2.

Alternatif 3 membutuhkan waktu lebih panjang untuk dapat dijalankan, karena membutuhkan perencanaan yang matang dan pelaksanaan yang tidak mudah. Selain membutuhkan dana yang besar, kesepakatan dengan warga juga tidak bisa dicapai dengan mudah dan cepat. *Benefit* alternatif 3 juga belum akan terasa signifikan pada jangka pendek. Dana yang dibutuhkan cukup besar, mencapai Rp16 Miliar, yang hasilnya belum akan terlihat dalam jangka pendek. Walaupun sebenarnya alternatif 3 adalah situasi ideal untuk tata kota yang nyaman, namun kondisi yang sudah ada sekarang membuat hal tersebut tidak dapat dijalankan dengan mudah. Perlu adanya relokasi yang juga representatif dan yang lebih penting lagi perlu lokasi yang dapat menunjang kehidupan dan mata pencarian. Dengan alternatif 3, tidak hanya masalah dana yang menjadi pertimbangan, tetapi juga masalah psikologis dan sosial.

Dapat disimpulkan bahwa untuk jangka pendek, penanganan yang lebih memberikan benefit paling besar adalah alternatif 2 yaitu dengan mengadakan fasilitas alat pemadam kebakaran kecil dan dorong di wilayah pemukiman yang tidak memiliki akses masuk kendaraan roda empat. Selain dana yang dibutuhkan relatif tidak besar, efeknya juga dapat dirasakan dalam waktu lebih pendek. Selain itu, dampak ekonomis dan sosial dari alternatif ini juga paling mudah ditangani. Di sisi

lain, apabila mengacu pada kondisi ideal, maka alternatif 3 seharusnya tetap diupayakan untuk menjadi sasaran jangka panjang

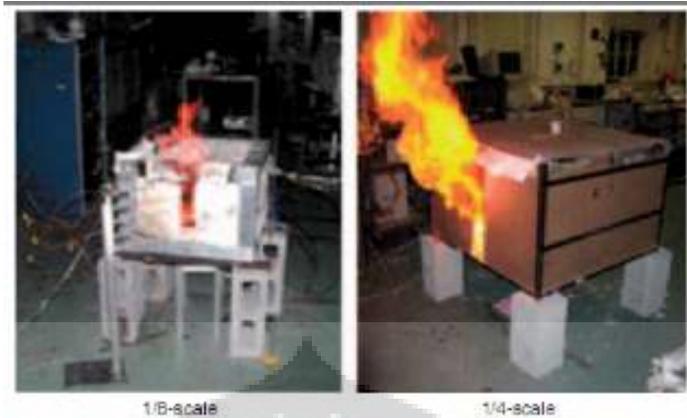
Berdasarkan kajian-kajian yang dilakukan pada lokasi survey ini terlihat begitu pentingnya aspek pengelolaan lingkungan dan mitigasi yang tepat. Pada daerah dengan kondisi seperti ini resiko bahaya kebakaran menjadi meningkat diakibatkan jarak rumah yang rapat dan bangunan yang relatif tua dan proses pemadaman akan menjadi lebih sulit dikarenakan ketersediaan sarana dan infrastruktur untuk proses pemadaman semakin sulit masuk ke lokasi kebakaran. Jadi pada daerah seperti ini sangat diperlukan pengkajian yang lebih jauh terhadap penyebaran api pada pemukiman sehingga dapat dihasilkan suatu metode yang dapat menurunkan resiko kebakaran pada pemukiman seperti ini.

Selama ini percobaan yang dilakukan berkaitan dengan kebakaran selalu memakan biaya besar dan mempunyai tingkat bahaya yang tinggi oleh karena itu dilakukan beberapa percobaan dengan menggunakan compartement sehingga biaya dan tingkat bahaya bisa diminimalisir.



Gambar 1-9. Percobaan Full Scale yang dilakukan di National Institute of Standards and Technology (NIST) 19-07-2004

Sumber : <http://www.nist.gov>



Gambar 1-10. Percobaan dengan Compartement oleh Ming Wang, Jonathan Perricone, Peter C. Chang and James G. Quintiere [13]

I.2 Tujuan Penulisan

penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Diperolehnya hasil simulasi komputer berupa pola penyebaran nyala api antar bangunan dengan menggunakan compartement.
2. Diperolehnya informasi pengaruh jarak dan ketinggian benda terhadap beban kalor yang diberikan *fire origin* pada kasus penyebaran api antar rumah.
3. Memberikan informasi untuk melengkapi peraturan perundangan dan peraturan pelaksanaan yang terkait dengan penataan pemukiman untuk pencegahan bencana kebakaran

I.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, arah penelitiannya difokuskan pada kajian simulasi penyebaran nyala api pada kebakaran antar bangunan yang meliputi :

1. Pengaruh jarak antar dinding pada compartement terhadap penyebaran nyala api.
2. Perbandingan dengan hasil simulasi kondisi sebenarnya.

I.4 Metodologi Penelitian

Untuk menjamin kesinambungan dan kesesuaian kegiatan penelitian ini dengan tujuan yang hendak dicapai, maka pada bagian ini disampaikan metodologi penelitian:

1. Pengamatan masalah

Merumuskan masalah yang ada dengan cara mengamatinya langsung dan melalui informasi dari media masa.

2. Studi literatur

Melakukan kajian teoritis mengenai pengaruh jarak bangunan, kemiringan lahan, ketinggian bangunan, arah dan kecepatan angin terhadap pola penyebaran nyala api.

3. Pengumpulan data

- Studi lapangan

Pengumpulan informasi faktual di lapangan yang berkaitan dengan kebakaran bangunan dan kebakaran pemukiman.

- Melakukan wawancara dengan penduduk.

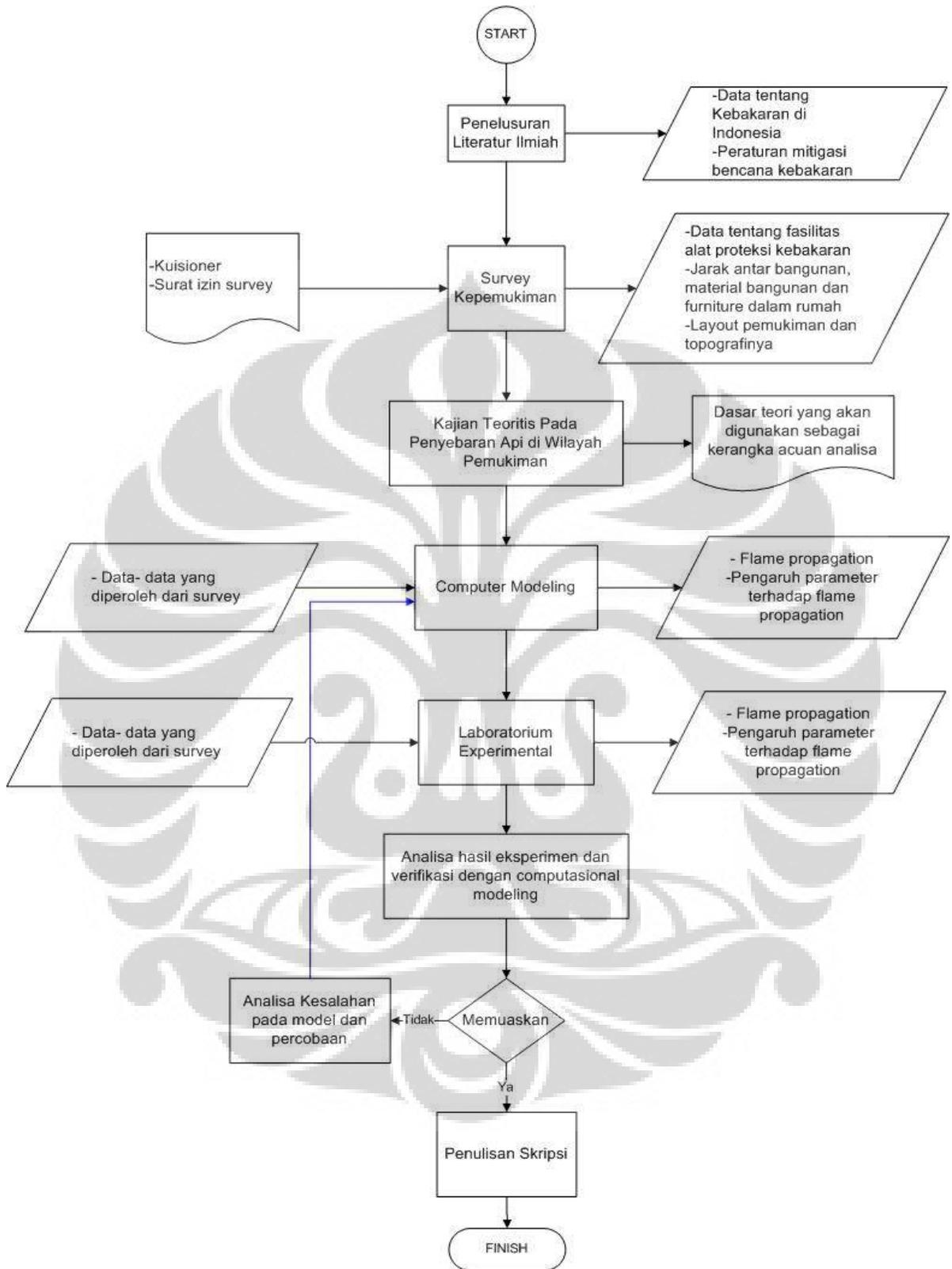
4. Melakukan eksperimen

- Pemodelan eksperimen menggunakan *software* FDS

- Melakukan eksperimen skala laboratorium

5. Analisa data

Berdasarkan hasil dari tahap 1-4 maka akan dilakukan Analisa penyebaran api pada untuk mengetahui pengaruh setiap parameter terhadap laju kecepatan penjarangan api. Untuk melihat alur kegiatan dan metodologi penelitian dapat merujuk Gambar I-9.



Gambar I-9. Alur pengerjaan penelitian

I.5 Sistematika Penulisan

Pada proses penulisan hasil penelitian mengenai penyebaran api antar rumah pada pemukiman penduduk, penulis membaginya dalam lima bab yang pada masing-masing bab tersebut terdiri atas beberapa sub bab. Penyajian skripsi dari hasil penelitian ini, akan dimulai dari latar belakang permasalahan hingga sampai kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian yang dilakukan. Kerangka dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi teori-teori sebagai landasan dan pendukung dalam melakukan kegiatan penelitian.

BAB III PEMODELAN dan EKSPERIMENTAL

Bab ini berisikan semua yang terkait dengan computer modeling terhadap kasus ini yang berisikan penjelasan mengenai skenario pemodelan, meliputi input file tentang geometri, vent, material properties dan ignition fire. Selain itu juga berisi tentang penjelasan alat-alat yang digunakan dalam penelitian dan juga kalibrasi alat yang diperlukan. Dan dijelaskan pula mengenai langkah-langkah dan prosedur serta kondisi yang dilakukan dalam penelitian dan pengambilan data.

BAB IV HASIL dan ANALISA

Bab ini berisi data-data hasil penelitian, perhitungan data-data tersebut, grafik, serta analisis mengenai hasil yang diperoleh. Bagian ini akan membahas data-data yang terkumpul dari pemodelan dan eksperimen. Dari data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisa untuk mendapat kesimpulan sesuai dengan tujuan yang telah dicantumkan

BAB V KESIMPULAN dan SARAN

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



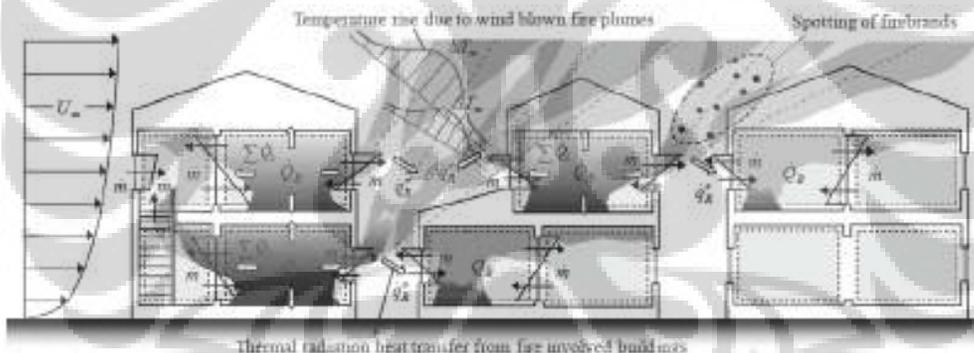
BAB II DASAR TEORI

II.1 Karakteristik Perpindahan Api dari Bangunan ke Bangunan

Dalam penyebaran api antar bangunan ada beberapa mekanisme yang dapat memicunya, antara lain : a) Radiasi termal dari gedung yang terbakar ke gedung di dekatnya, b) Naiknya temperatur karena tiupan *fire plumes* c) Berpindah dikarenakan adanya *firebrands* yang terbang akibat tiupan angin. Selain adanya beberapa fenomena diatas, perpindahan api diasumsikan terjadi bila satu dari beberapa kondisi ini terjadi:

- Jika fluks kalor yang diterima melalui bukaan melebihi nilai kritis objek.
- Jika temperatur dari permukaan *flameable material* pada bangunan melebihi temperatur kritisnya.
- Jika *firebrands* dengan energi yang cukup jatuh pada area yang mudah menyala pada bangunan sekitar.

pada tulisan ini penulis tidak mengkaji *firebrands* sebagai salah satu unsur penyebab penyebaran kebakaran.



Gambar II-1. Faktor penyebab perpindahan api pada kebakaran antar bangunan. [5]

II.1.1 Radiasi Termal dari Api Terhadap Bangunan

Pada kasus ini, diasumsikan panas yang diterima oleh gedung yang berdekatan dari gedung yang terbakar merupakan akibat dari gas panas di dalam ruangan yang terbakar dan api yang berada pada daerah jendela. Radiasi dari api pada jendela akibat *flashover* direpresentasikan dengan suatu titik sumber panas X merupakan fungsi dari intensitas radiasi. Jika semua *heat flux* dilewatkan pada sebuah bola dengan radius tertentu maka akan memiliki energi radiasi yang identik dari sumber panas X , radiasi kalor yang dipindahkan ke bangunan sebelah yang memiliki separasi s memiliki pendekatan seperti persamaan dibawah ini:

$$q''_R = \varepsilon \left(\frac{\chi_R \dot{Q} \cos \theta}{4\pi s^2} \right) \quad (2.1)$$

Dengan ε adalah emisivitas, χ_R adalah fraksi dari radiasi heat lose terhadap total heat release dan θ merupakan sudut antara dinding target dan garis pandang dari titik X. *Virtual heat release rate* \dot{Q} di evaluasi berdasarkan penjumlahan dari *heat loss* oleh konveksi melalui jendela dan *heat release rate* dari gas bahan bakar diluar *compartement*. Pada bangunan pada pemukiman padat penduduk konfigurasi bangunanya sangat komplek, efek dari penghambatan radiasi oleh bangunan tetangga juga menjadi perhatian dalam perhitungan *heat flux*.

II.1.2 Meningkatnya Temperatur Akibat dari Tiupan Pada Fire Plumes

Saat *plume* dihembus oleh angin, area yang dilalui oleh angin akan diselubungi oleh *plume*. Dengan asumsi bahwa efek dari difusi oleh angin tidak terjadi dan temperatur naik sepanjang lintasan ΔT_m pada kebakaran bangunan ini sama halnya dengan pemanasan suatu titik pada *atmosphere* yang diam. Distribusi temperatur dari *fire plume* tegak lurus dengan lintasanya $\Delta T(r)$ dan diasumsikan mengikuti gaussian model, terlihat seperti Gambar II-5.

$$\frac{\Delta T(r)}{\Delta T_m} = \exp \left[- \left(\frac{r}{b_r} \right)^2 \right] \quad (2.2)$$

Dengan b_r adalah setengah dari lebar dan r merupakan jarak radial. Untuk menyederhanakan, angin diasumsikan kencang sehingga profil dari angin tidak dipengaruhi oleh *fire plume*. Dengan jarak radial r merupakan jarak terdekat dari bangunan yang menjadi target, nilai dari sudut inklinasi θ dari *fire plume* dibutuhkan untuk menghitung nilai r . Sudut inklinasi θ didapat dari formula yang dikembangkan oleh Yokoi, yaitu

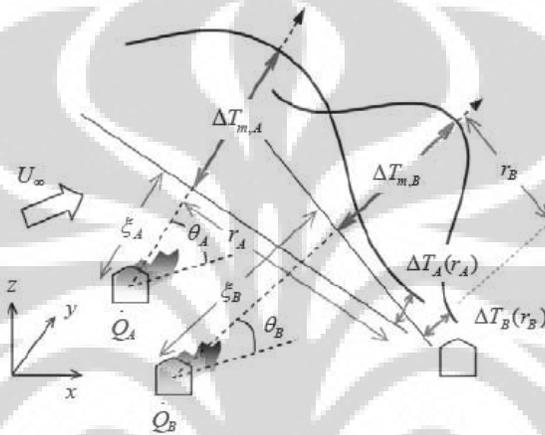
$$\tan \theta = 0.1 \Omega^{*3/4} \quad (2.3)$$

$$\Omega^* = \frac{U_\infty}{\left(\frac{\dot{Q} g}{c_p \rho_\infty T_\infty} \right)^{1/3}}$$

Dengan Ω^* adalah kecepatan angin yang tak berdimensi, U_∞ adalah kecepatan angin \dot{Q} merupakan *heat release rate* per unit panjang *heat source*, g adalah percepatan gravitasi dan T_∞ adalah temperatur ambient. Pada urban *fire* yang

melibatkan banyak bangunan, sebuah bangunan yang spesifik pada urban area bisa saja mengakibatkan efek yang tumpang tindih dari *fire plume* yang awal di suatu tempat yang melawan arah angin. Asumsikan jika *thermal properties* dari suatu *fire plumes* bebas terhadap *fire plumes* yang lain, keadaan tumpang tindih tersebut diadopsi untuk mengestimasi dari kenaikan keseluruhan temperatur ambient di sekitar bangunan yang dikaji.

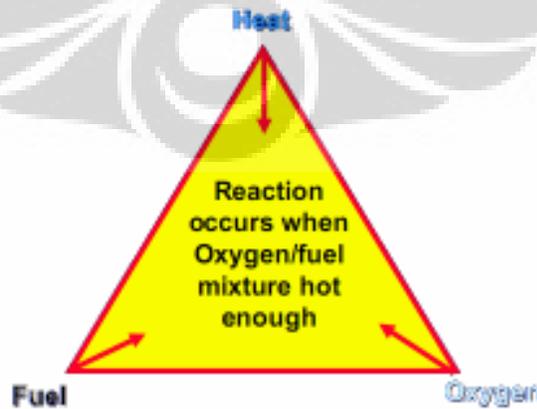
$$\Delta T = \left(\sum_{i=1}^N \Delta T_i^{3/2} \right)^{2/3} \quad (2.4)$$



Gambar II-2. Efek dari wind-blown fire plumes pada penyebaran api. [5]

II.2 Compartement Fire

Istilah Compartement Fire digunakan untuk mendeskripsikan api yang berkembang di dalam suatu ruangan tertutup. Ada 3 hal yang sangat menentukan nyala suatu api dalam Compartement yaitu Heat (Panas), Oksigen, dan Bahan Bakar jika digambarkan dalam segitiga akan menjadi sebagai berikut :

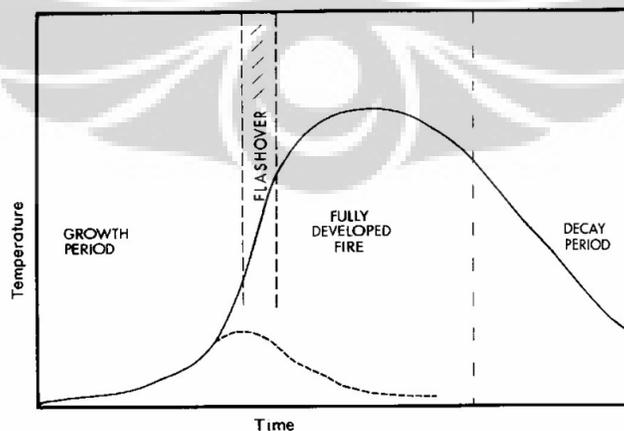


Gambar II-3 Segitiga Nyala Api

Dalam ruangan api dapat bermula dari beberapa sebab tetapi umumnya kebakaran yang terjadi dalam Compartement disebabkan dari salah satu dari 3 sebab berikut :

1. *Pilot Ignition*, biasanya dimulai karena ada nya bahan yang mudah terbakar (flammable material) yang bermula oleh suatu pemicu misalnya api ataupun percikan listrik.
2. *Auto Ignition*, dimana api bermula dengan sendirinya karena temperatur ruang yang cukup tinggi dimana diruangan tersebut terdapat bahan yang dapat terbakar tanpa dimulai oleh suatu pemicu.
3. *Spontaneous Combustion in Bulk Fuels*, situasi ini lebih jarang terjadi dibandingkan oleh 2 sebab diatas. Penyebab api ini adalah dari suatu bongkahan bahan bakar solid yang mengalami *self-heating* dari hasil proses biologi, proses kimia, ataupun dari oksidasi dari pengeringan minyak yang menyebabkan *smoldering* dari bagian dalam dari bahan bakar.

Periode nyala api dalam compartement sama dengan periode nyala api pada umumnya, dimulai dengan ignition sehingga mengalami *growth period* setelah itu terjadi flashover sehingga api berkembang dengan sempurna dan setelah itu mengalami decay.



Gambar II-4. Periode Nyala Api dalam Compartement [1]

II.3 *Pemodelan Pergerakan Api dan Asap*

Munculnya *performance based regulation* tentang *fire safety* baru – baru ini dan semakin kompleknya desain suatu bangunan telah mendorong peningkatan dalam penggunaan teknologi komputer dalam memodelkan ataupun mensimulasikan pergerakan asap dan api dalam suatu ruangan maupun bangunan. Untuk dapat menerapkannya secara benar, *user* harus cukup mengerti mengenai dasar – dasar dari pemodelan untuk mendapatkan keakuratan dan kevalidasian terhadap hasil yang diperoleh. Bagian ini akan memberikan pembahasan secara umum terhadap tipe – tipe pemodelan dengan komputer yang digunakan dalam *fire safety engineering design*.

II.3.1 Probabilistic Models for Building Fire Safety

Sebenarnya *probabilistic* model tidak memberikan secara langsung prinsip – prinsip *physic* dan *chemical* pada api, tetapi membuat *statistical prediction* terhadap perubahan dari satu tahapan pertumbuhan api ketahapan selanjutnya. *Probabilistic model* dapat dikombinasikan dengan berbagai macam cara dengan *deterministic model* ke bentuk *hybrid models*. Dalam hal ini model diasumsikan mengikuti *probabilistic model*. Dengan demikian, *input deterministic model* diperlakukan sebagai variable acak. Metodologi ini telah digunakan untuk *risk assessment* dalam menganalisis ketidakyakinan pada *deterministic model*. Tiga bentuk dasar dari *probabilistic models* secara umum digunakan dalam *fire safety engineering*, yaitu : *network*, *statistical*, dan model simulasi. Masing – masing dari ketiganya dihubungkan dengan *uncertainties associated* dengan proses perumbuhan api.

Network Model adalah sebuah representasi grafik, atau *route* dari suatu objek ,energi, informasi, atau logic yang dapat mengalir, atau bergerak dari satu titik ke titik yang lainnya. *Decision trees* adalah satu tipe *network model*, dimana setiap peristiwa dihubungkan dengan sebuah *fork* (cabang dari *tree*) yang menggambarkan dua atau lebih keluaran yang mungkin dari sebuah peristiwa.

Statistik Model meliputi deskripsi dari random fenomena dengan sebuah distribusi probabilitas yang tepat. Distribusi probabilitas dapat dianggap sebagai sebuah fungsi matematika yang mendefinisikan probabilitas dari sebuah peristiwa. Beberapa dari model statistical menggunakan prinsip – prinsip teori probabilitas untuk mengkombinasikan distribusi probabilitas dari dua atau lebih variable acak.

Simulation Model digunakan untuk menggambarkan simulasi komputer dimana perbedaan set dari sebuah kondisi diuji coba sebagai jumlah terbesar untuk

melihat bagaimana efek keluarannya. Prosedur simulasi yang paling umum digunakan adalah *Monte Carlo Simulation*.

II.3.2 Deterministic Models

Pada umumnya *deterministic model* digunakan dalam *fire safety engineering design* pada sebuah bangunan yang dapat dibagi kedalam beberapa jumlah kategori yang tergantung pada tipe permasalahan yang dialamatkan. Beberapa kategori permasalahan utama adalah perpindahan asap dan kalor dalam ruang tertutup, aktivasi *detector* atau *sprinkler*, evakuasi manusia, dan *profile temperature* dalam struktur elemen. *Deterministic computer* yang digunakan untuk simulasi perpindahan asap dan kalor dalam ruangan tertutup biasanya menggunakan tipe zonal atau tipe CFD.

Model khusus untuk simulasi aktivasi *detector* dan *suppression device* pada saat ini telah dikembangkan. Hasil dari *zone model* akan mengasumsikan beberapa temperature rata - rata untuk *upper part* dari ruang tertutup dan tidak menggambarkan secara akurat kondisi *device* / peralatan yang ada di level *ceiling*. Hal ini mendorong perkembangan program khusus untuk *ceiling jet calculation* untuk memprediksi waktu dimana api akan terdeteksi atau *sprinkler* akan aktif. Salah satu program yang digunakan adalah DETACT Model. CFD model juga dapat digunakan untuk perhitungan permasalahan tersebut karena aliran fluida dimodelkan dengan detail dan tidak dibutuhkan secara spesifik terhadap *ceiling jet calculation*.

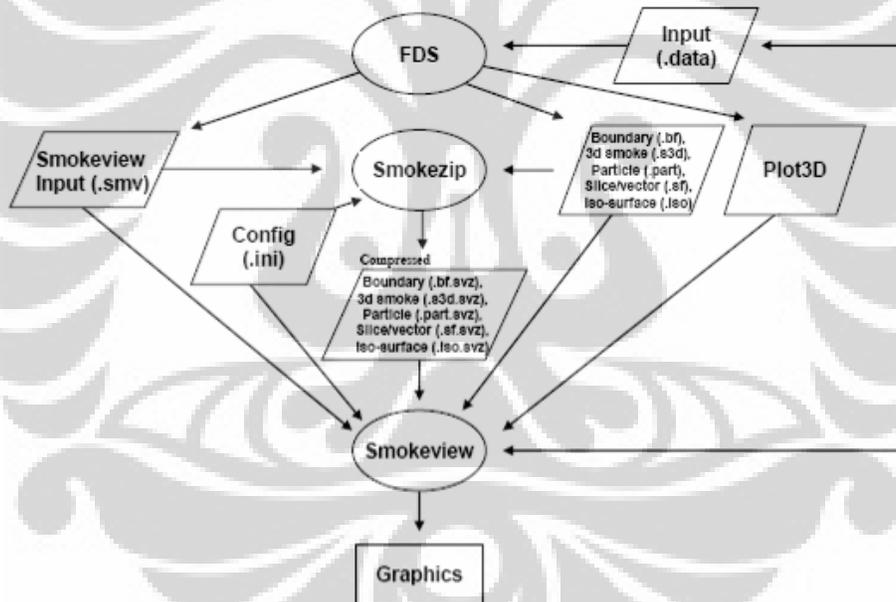
Model untuk simulasi evakuasi manusia dapat berupa *probabilistic*, *deterministic*, atau keduanya. Tipe model *deterministic* biasanya meliputi sedikit atau tanpa *physic* dan akan menjadi luas sekali yang didasarkan pada informasi yang terkumpul dari statistik dan eksperimen evakuasi. Beberapa model evakuasi *deterministic* hanya akan mencoba menggambarkan pergerakan manusia, lainnya akan mencoba menghubungkan pergerakan dengan perilaku. Semuanya itu menggambarkan ruangan tertutup sebagai sebuah *network*, yang dapat berupa *fine* atau *coarse*. *Coarse network* tersusun dari *node – node* dan *arcs*, dimana *occupant* akan ditempatkan pada *node – node* tersebut dan berjalan sepanjang *arcs*. Sedangkan model *fine network* akan mendiskripsikan geometri dengan lebih akurat.

Pada saat ini juga sudah banyak sekali *computer code* yang sudah dikembangkan untuk perhitungan *thermal* dan respon mekanik dari elemen bangunan terhadap api. Hal ini didasarkan pada penurunan persamaan *heat transfer* dan *solid*

mechanic, dimana biasanya diselesaikan menggunakan *finite element* atau *finite difference method*.

II.3.3 Fire Dynamic Simulator (FDS) [7]

Fire Dynamic Simulator (selanjutnya disingkat menjadi FDS) merupakan program computer dengan basis Deterministik model tipe field (CFD) yang menyelesaikan persamaan atur yang menggambarkan mengenai perkembangan api. Program tersebut merupakan program Fortran yang membaca parameter masukan (input) dari text file, menghitung solusi numerik melalui persamaan atur, dan membuat file keluaran (output) sesuai yang telah didefinisikan oleh user melalui input file. Output file yang diperoleh dapat berupa temperatur dalam domain, konsentrasi asap dalam domain, dan yang terpenting untuk penelitian ini adalah animasi perkembangan api pada domain. Animasi tersebut tidak dapat dilihat langsung menggunakan FDS, namun menggunakan *companion program* yaitu Smokeview.



Gambar II-5. Alur kerja Fire Dynamic Simulator (FDS) dan companion programnya.

Untuk lebih memahami kejadian atau pemodelan menggunakan FDS terlebih dahulu *governing equations*, *assumptions* dan *numerics* serta *limitation* yang berlaku pada pemodelan ini harus dipahami. *Hydrodynamic model* FDS menyelesaikan secara numerik dari persamaan Navier-Stokes yang diperuntukan untuk *low-speed, thermally-driven flow* pada perpindahan asap dan panas dari api. Inti dari algoritma ini merupakan suatu bentuk eksplisit dari *predictor – corrector* dari kejadian yang akurat

secara *space* dan waktu. Pada pendekatan turbulensinya digunakan Large Eddy Simulation dan dimungkinkan untuk menampilkan Direct Numerical Simulation jika grid cukup baik.

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

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

Pada pemodelan menggunakan FDS terdapat beberapa batasan, diantaranya adalah:

1. Pemodelan digunakan untuk *low speed flow*.
2. Pada Pemodelan FDS dianjurkan menggunakan rectilinear geometri untuk mendapatkan hasil yang baik.
3. Pemodelan dapat digunakan secara lebih reliable jika heat transfer dari api ditetapkan secara spesifik.
4. Dalam pemodelan ini combustion model menggunakan mixture fraction – based yang lebih cocok digunakan pada proses pembakaran dengan well – ventilated fires.
5. Pada model radiasi soot content dapat mempengaruhi adsorpsi dan emisi dari radiasi panas. Selain itu perpindahan radiasi didekati dengan diskritisasi 100 solid angle dan untuk target yang jauh distribusi bisa menjadi tidak uniform, kesalahan ini biasa disebut “Ray Effect”.

II.4 Analisis Dimensional Dan Keserupaan [17]

Analisa dimensional digunakan untuk membangun suatu bilangan yang tak berdimensi yang menghubungkan karakter suatu model dengan karakter dari *prototype* atau keadaan yang sesungguhnya. Ini dilakukan agar dalam mengamati fenomena dari keadaan yang sebenarnya para peneliti tidak harus melakukan observasi pada keadaan tersebut secara langsung tetapi cukup mengobservasi modelnya, pada umumnya berupa *scaling* dari keadaan yang ingin diamati. Metode yang umum digunakan dalam memperoleh fungsi tak berdimensi ada beberapa diantaranya:

1. Theorema Pi Buckingham
2. Metode *Partial Differential Equation*
3. Metode *Dimensional Analysis Relationship*

II.4.1 Theorema Pi Buckingham

Pada persoalan engineering sering dilakukan pendekatan keserupaan untuk menganalisa suatu fenomena di alam yang akan dibawa kedalam lab experimentation. Adabanyak faktor yang mendorong berkembangnya ilmu ini salah satunya biaya eksperimen yang lebih kompetitif. Selain itu fenomenanya menjadi lebih gampang dikontrol dan diatur sehingga lebih mudah memperoleh yang diinginkan. Tetapi pada metode analisa dimensi dan keserupaan terdapat beberapa kesulitan seperti dalam menentukan variabel yang mempengaruhi fenomena dan jumlah pi yang dibutuhkan.

Melalui teori dasar analisis dimensional yang dinyatakan sebagai berikut:

“Jika suatu persamaan berisi k variabel yang serba sama secara dimensi, hal itu dapat dikurangi melalui hubungan antara k-r produk tak berdimensi bebas, dimana r adalah jumlah minimum dari dimensi rujukan yang diperlukan untuk menjelaskan variable”

Teori ini dinamakan teori pi buckingham, teori pi didasarkan pada gagasan dari keserbasamaan (*dimensional homogeneity*). Pada dasarnya kita menganggap bahwa untuk setiap persamaan yang signifikan secara fisik, yang mengandung variabel, seperti

$$u_1 = f(u_2, u_3, \dots, u_k) \quad (2.5)$$

dimensi variabel sebelah kiri dengan tandayang sama harus sama dengan dimensi dari setiap bentuk yang berlaku bagi masing-masing variabel disebelah kanan dengan

tanda yang sama. Untuk itu kita dapat kembali mengatur persamaan menjadi kumpulan dari produk tak berdimensi:

$$\Pi_1 = \phi(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{k-r}) \quad (2.6)$$

Jumlah dari bentuk pi yang diperlukan lebih kecil dari jumlah variabel orisinal k, dimana r ditentukan oleh jumlah minimum dimensi rujukan yang diperlukan untuk menjelaskan daftar orisinal dari variabel. Ada pun untuk penentuan bentuk Pi kita dapat menggunakan salah satu metode yang tersedia diantaranya “metode pengulangan variabel (*method of repeating variabel*)” langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Catat lah semua variabel yang berkaitan dengan kasus
2. Nyatakan setiap variabel dalam dimensi dasar
3. Tentukan berapa jumlah pi-nya
4. Pilihlah jumlah variabel berulangnya, di mana jumlah yang diperlukan sama dengan dimensi rujukan
5. Buatlah sebuah bentuk pi dengan melakukan perkalian antara satu variabel tak berulang dan variabel yang berulang masing-masing akan menghasilkan pangkat yang akan membuat suatu kombinasi tak berdimensi.
6. Ulangi langkah lima untuk setiap variabel yang tersisa
7. Periksa semua hasil pi dan pastikan semuanya tak berdimensi
8. Nyatakan bentuk akhirnya sebagai hubungan antar bentuk pi dan carilah arti dari bentuk tersebut.

II.4.2 Metode Partial Differential Equation

Pada metode ini, pengguna haruslah terlebih dahulu memahami *governing equation* dari suatu kejadian fisik dan dari sanalah kita turunkan *dimensionless group*. Agar lebih mudah dipahami kita ambil suatu kasus pada analisis dimensional terhadap aliran tunak. Governing equation untuk aliran tunak dua dimensi tanpa adanya perbedaan tekanan adalah:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.7)$$

Dengan kondisi batas :

$$y = 0, u = v = 0$$

$$y \rightarrow \infty, u = u_\infty$$

$$x = 0, u = u_\infty$$

Persamaan konservasi masa untuk yang lain perlu dibuat tetapi pada akhirnya akan memberikan informasi yang sama untuk komponen kecepatan sumbu y. Variabel yang tak berdimensi yang dipilih adalah :

$$\begin{aligned}\hat{u} &= u / u_{\infty}, & \hat{v} &= v / v_{\infty} \\ \hat{x} &= x / l, & \hat{y} &= y / l\end{aligned}$$

Variabel tak berdimensi di atas kita substitusikan ke persamaan 2.7 dan dihasilkan:

$$\hat{u} \frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{x}} + \hat{v} \frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{y}} = \left(\frac{\mu}{\rho u_{\infty} l} \right) \frac{\partial^2 \hat{u}}{\partial \hat{y}^2} \quad (2.8)$$

Fungsi bilangan tak berdimensi yang sama bisa didapat dengan Theorema PI Buckingham. Pada metode kedua ini parameter yang disubstitusikan ke persamaan 2.7 sering disebut *normalizing parameter*

II.4.3 Dimensional Analysis Relationship

Metode yang ketiga merupakan suatu cara yang sederhana tetapi memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi, metode ini didasarkan pada identifikasi relationship setiap parameter yang ada pada persamaan. Untuk kasus pada metode ini kita gunakan fenomena fisik yang sama dengan metode kedua. Mari kita gunakan pendekatan *control volume* untuk fluida pada lapisan batas dan menggunakan Newton's law untuk viskositas. Dimana hubungan gradient / derivative mungkin saja berlaku, hanya dalam bentuk dimensional digunakan untuk membentuk *relationship*. Lebih dari itu formula yang lebih presisi dari persamaan *control volume momentum* tidak perlu dicari, tetapi itu hanya mendekati bentuk fungsionalnya.

$$\rho u^2 (x \times l) \sim \mu \frac{u}{y} (x \times l) \quad (2.9)$$

Dalam bentuk tak berdimensi:

$$\rho \left(\frac{u}{u_{\infty}} \right)^2 \left(\frac{x}{l} \right) \sim \left(\frac{\mu}{u_{\infty} l} \right) \left(\frac{u / u_{\infty}}{y / l} \right) \left(\frac{x}{l} \right) \quad (2.10)$$

Oleh karena itu,

$$\frac{u}{u_{\infty}} \equiv \hat{u} = \text{function}(\hat{x}, \hat{y}, \text{Re})$$

II.4.4 Keserupaan

Teori model secara cepat dikembangkan dengan menggunakan prinsip-prinsip analisis dimensional. Telah diperlihatkan bahwa setiap soal yang diberikan dapat dijelaskan dalam bentuk sekelompok pi,

$$\Pi_1 = \phi(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n) \quad (2.11)$$

Dalam memformulasikan hubungan ini, hanya diperlukan pengetahuan umum dari fenomena fisik dan variabel yang terlibat. Harga fisik dari variabel tidak diperlukan untuk mengerjakan analisis dimensional. Hal ini juga dapat digunakan untuk menjelaskan sifat dari sebuah prototipe tertentu, hubungan yang serupa dapat ditulis untuk sebuah model dari proto tipe, yaitu

$$\Pi_{1m} = \phi(\Pi_{2m}, \Pi_{3m}, \dots, \Pi_{nm}) \quad (2.12)$$

di mana bentuk dari fungsi akan sama selama fenomena yang sama terlibat, baik untuk prototipe maupun model. Variabel pi dengan tanda subscib m digunakan untuk merancang model dari prototipe

bentuk pi dapat dikerjakan sehingga Π_1 berisikan variabel yang diperkirakan didapat dari pengamatan pada model. Oleh karena itu jika model dirancang dan dioperasikan pada kondisi

$$\Pi_{2m} = \Pi_2, \Pi_{3m} = \Pi_3, \dots, \Pi_{nm} = \Pi_n$$

maka dengan asumsi awal bahwa bentuk Φ akan sama untuk model dan prototipe, kita akan memperoleh

$$\Pi_1 = \Pi_{1m}$$

Persamaan diatas adalah persamaan perkiraan yang diinginkan dan mengidikasikan bahwa pengukuran harga Π_{1m} yang diperoleh melalui model akan sama dengan Π_1 yang sesuai dengan prototipe, selama bentuk pi yang lain sama. Kondisi yang ditetapkan dari persamaan-persamaan diatas melengkapi kondisi rancangan model, juga disebut sarat keserupaan atau hukum model.

BAB III PEMODELAN DAN EKSPERIMENTAL

III.1 Computer Modeling

Pada pemodelan ini akan disimulasikan sebuah compartement dan sebuah dinding yang letaknya saling diatur. Pemodelan ini akan mensimulasikan 5 skenario diantaranya:

1. Simulasi penyebaran api pada compartement dengan jarak dinding 1.5 meter.
2. Simulasi penyebaran api pada compartement dengan jarak dinding 3 meter.
3. Simulasi penyebaran api pada compartement dengan jarak dinding 4.5 meter.
4. Simulasi penyebaran api pada compartement dengan jarak dinding 3 meter dengan tambahan atap.
5. Simulasi penyebaran api pada compartement dengan jarak dinding 3 meter dengan menggunakan sprinkler.

Compartement ini merepresentasikan sebuah ruangan permanen yang akan dilihat bagaimana proses pembakaran yang terjadi dalam ruangan tersebut dan dampak bagi dinding disebelahnya. Pada simulasi ini *external boundary conditions* dipilih *open* kecuali pada bagian z minimum digunakan *concrete* sebagai tanah atau jalan dan diasumsikan temperature initial 30 °C dengan *humidity* 75%, serta simulasi dilakukan dalam keadaan tidak dipengaruhi angin dan tingkat kemiringan lahan 0°. Pemodelan serta ukuran dari compartement tersebut mengacu pada ukuran compartement pada percobaan yang dilakukan oleh Ming Wang, Jonathan Perricone, Peter Chang, dan J Quintiere mengenai scale modelling compartement.

III.1.1 Domain

Dalam setiap pembuatan simulasi komputer perbandingan besar *domain* dan *grid* merupakan hal yang sangat mendasar. Besarnya *grid* dapat mempengaruhi keakuratan hasil simulasi. kondisi sampai pada level tertentu dimana perubahan *grid* tidak mempengaruhi hasil simulasi suatu *grid* bisa disebut *fine*. Idealnya dalam proses pembuatan simulasi komputer *builder* hendaklah melakukan penelusuran *grid* dari *grid*

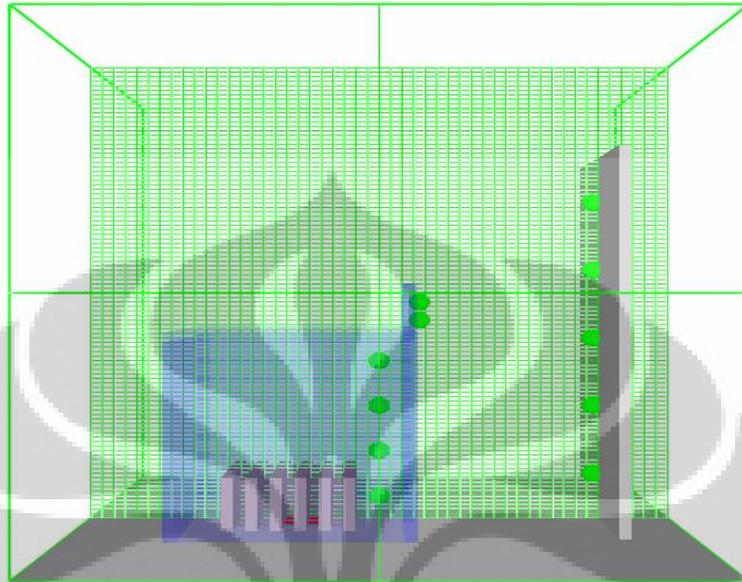
paling kasar (*coarse mesh*) dan memperbaikinya bertahap hingga ditemukan *grid* yang tepat (*fine mesh*) untuk mensimulasikan fenomena fisik tersebut.

Dalam pelaksanaan simulasi umumnya waktu yang ditempuh dapat berkisar antara 2 hari sampai 5 hari tergantung dari *grid* yang dipilih. Oleh karena itu penulis memilih besar *grid* berdasarkan jurnal dan validasi yang keluar dari NIST sebagai *vendor* atau dari pihak lain sebagai *user*. Dalam penelusuran penulis terhadap besar *grid*, penulis memperoleh beberapa contoh simulasi diantaranya:

- “Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry Road NE Washington D.C., May 30, 1999” oleh Daniel Madrzykowski Robert L. Vettori. Dalam simulasi ini mereka menggunakan *grid* dengan ukuran 0.2 m x 0.2 m x 0.1 m untuk mensimulasikan model dengan ukuran 10 m x 6 m x 5.1 m. Dari simulasi ini ingin diperoleh data *temperature*, HRR, *velocity* dan *oxygen concentration*.
- “Simulation of the Dynamics of a Fire in a Two-Story Duplex -Iowa, December 22, 1999” oleh Daniel Madrzykowski, Glenn P. Forney dan William D. Walton. Pada simulasi ini ukuran domainnya 13.4 m x 6 m x 5.4 m dan dibagi dalam *grid* dengan ukuran 0.2 m x 0.2 m x 0.2 m. Simulasi ini bertujuan untuk memperoleh *temperature* dan penyebaran api dalam boundary.
- “Evaluation of the Ability of Fire Dynamic Simulator to Simulate Positive Pressure Ventilation in the Laboratory and Practical Scenarios (Colonial House Practical Scenario)” oleh Stephen Kerber. Pada simulasi ini digunakan *grid* ukuran 0.15 m x 0.15 m x 0.15 m untuk ukuran domain 16.4 m x 13.9 m x 10 m, domain dibagi menjadi tiga dengan *grid* yang sama agar bisa diproses dengan *parallel processing*. Simulasi ini menghasilkan data *temperature*, HRR, *oxygen concentration* dan *velocity*.

Dari beberapa referensi diatas untuk pertumbuhan api pada bangunan umumnya digunakan *grid* dengan ukuran 0.1 m x 0.1 m x 0.1 m atau lebih besar. Jika kita merujuk pada FDS 5 user guide halaman 31, disarankan untuk simulasi pertumbuhan api pada bangunan digunakan *grid* dengan ukuran 0.1 m x 0.1 m x 0.1 m seperti kutipan ini “a cell size of 10 cm may be “adequate,” in some sense, for evaluating the spread of smoke and heat through a building from a sizable fire, but may not be appropriate to study a very small, smoldering source”. Inti pemilihan *grid* sangat tergantung dari data apa yang ingin diperoleh. Penulis pada simulasi ini

menggunakan *grid cubic uniform* 0.1 m x 0.1 m x 0.1 m dan menggunakan *single mesh*.



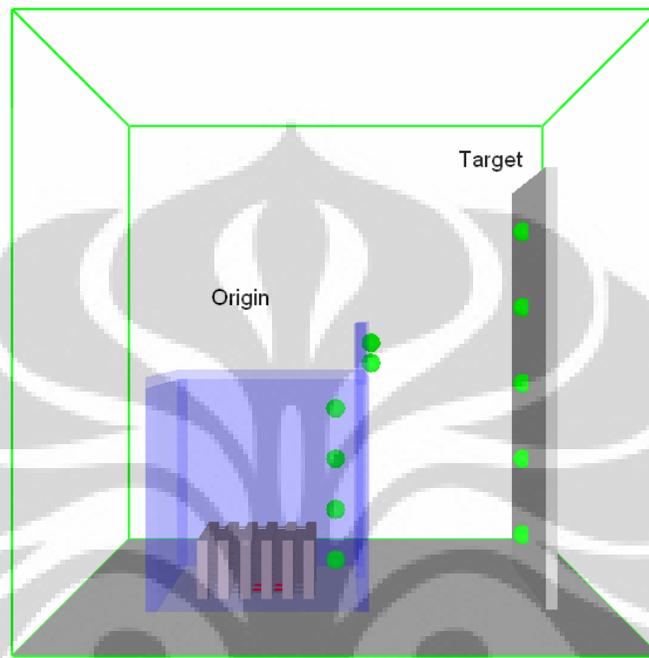
Gambar III-1 Mesh Pada Simulasi Compartement Fire

III.1.2 Geometri

Pada percobaan ini Compartement yang digunakan akan berukuran 40cm x 40cm x 40cm yang dimaksudkan untuk merepresentasikan sebuah ruangan yang diskalakan dengan ukuran 1:10. Di depan Compartement diletakkan sebuah dinding yang bertujuan untuk mengukur Heat Flux yang dihasilkan dari hasil pembakaran yang terjadi dalam ruangan. Dinding yang diletakkan di seberang mempunyai dimensi 40cm x 2cm x 80 cm. Untuk peralatan digunakan pengukur Heat Flux yang diletakkan pada dinding dengan penempatan pada tengah dinding dan bervariasi pada ketinggian. Flux paling bawah diletakkan pada 15 cm dari tanah dan setiap flux berjarak 15 cm dari flux yang dibawahnya, pada dinding terdapat total 5 pengukur Heat Flux. Selain dari pengukur Heat Flux ada pula pengukur Temperatur yang diletakkan pada beberapa titik pada ruangan juga pada mesh yang ada di depan compartement, dalam compartement pengukur temperatur diletakkan sebanyak 4 titik dimana pengukur pertama berjarak 5 cm dari tanah dan pengukur berikutnya diletakkan 10 cm diatas pengukur pertama dan seterusnya.

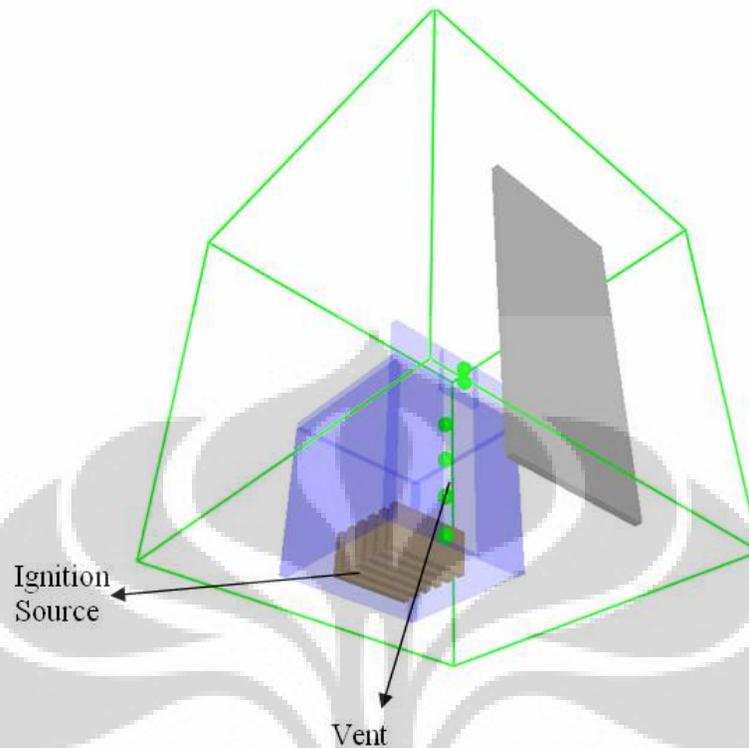
Pada simulasi ini dapat dilihat beberapa nama yang digunakan untuk mengistilahkan beberapa penempatan. Pada Compartement dimana terjadi

pembakaran dinamakan dengan Origin dan dinding disebelahnya dinamakan Target. Sumber Api diistilahkan sebagai Ignition Source sedangkan Buka-an Area pada Compartement disebut dengan Vent. Penamaan-penamaan ini dimaksudkan untuk memudahkan pengidentifikasian.



Gambar III-2 Layout Compartement

Pada Percobaan dengan menggunakan atap, atap berukuran 15cm x 40 cm dan diletakan pada ketinggian 40 cm pada dinding di sebelahnya.



Gambar III-3 Ignition Source dan Vent

Pada Simulasi ini Vent yang digunakan adalah Vent dengan bukaan sebesar 40cm x 10 cm. Vent diperlukan untuk menyuplai Oksigen yang ada dalam Compartment. Untuk Ignition Source digunakan sebuah tumpukan kayu yang disusun yang disebut dengan Wood Crib. Wood Crib ini menggunakan kayu dengan massa jenis 7gram/cm^3 dengan susunan sehingga mencapai 700 gram. Pada sekenario ini api bermula pada dasar compartment dengan fluks 1000 kw/m^2 , sampai api mengalami flashover dari compartment sehingga menyebar ke dinding disebelahnya.

III.1.3 Material Properties

Terdapat berbagai material dalam pemodelan ini, dengan material yang mayoritas penyebab perpindahan api merupakan material dari kayu. Material lain yang ikut serta dalam proses penyebaran api dalam pemodelan ini antara lain kayu, concrete, dan water. Material yang digunakan dalam pemodelan ini dapat dilihat pada Tabel III.1 :

Table III-1 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	Char	140	1.1	0.08	-	-
2	Concrete	2100	0.88	1	-	-
3	Kayu	700	1.25	0.15	430	16090
4	Water	1000	4.19	0.6	2260	-

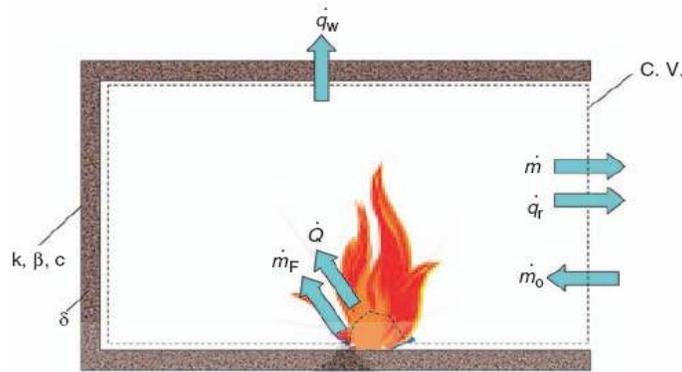
III.2 Eksperimental

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan eksperimen dan hal lain yang berkaitan dengan eksperimen tersebut. Eksperimen pada penelitian ini dilakukan untuk mengadakan *cross check* terhadap *trend* dari perilaku parameter yang diamati. Pada simulasi pengaruh angin dan kemiringan lahan tidak ada, sehingga untuk mencapai hal tersebut eksperimen yang dilakukan diluar ruangan dilakukan di lahan yang datar dan daerah sekitar eksperimen tertutup.

Idealnya dalam penelitian ini eksperimen dilakukan dengan ukuran *full scale* atau 1:1 dengan simulasi, agar tingkat kesalahan menjadi jauh lebih kecil. Akan tetapi karena keterbatasan kapasitas tempat yang ada maka dilakukan eksperimen dengan skala laboratorium yaitu dengan perbandingan 1:10 terhadap geometri pada *computer modeling*.

III.2.1 Analisis Keserupaan Model

Pada eksperimen ini, *reduced-scale* eksperimen memiliki pendekatan menggunakan karakteristik pada *reduced-scale compartment fire*. Oleh karena itu analisa bilangan tak berdimensi yang digunakan adalah bilangan tak berdimensi pada *scaling compartment fire*. Pada *compartment fire* api terbakar di dalam ruangan yang berventilasi dan temperatur gas di dalam *compartment* tergantung dari *burning rate* dari bahan bakar yang dipengaruhi perbedaan antara *heat generation rate* api (Q) dan *heat loss rate* melalui kondisi batas *compartment* (q). Untuk lebih mudah memahami fenomena ini bisa dilakukan ilustrasi pendekatan seperti Gambar III-4 dibawah ini.



Gambar III-4 Pemodelan compartment fire [13]

Dari fenomena di atas dapat dikelompokkan beberapa variabel yang terkait kedalam bentuk bilangan tak berdimensi:

Korelasi untuk *heat generation*

Untuk kelompok pertama diperoleh korelasi *heat generation*, untuk bilangan tak berdimensi dari fenomena ini kita mempergunakan *Zukoski number*, yang merupakan rasio dari *fire power* terhadap *enthalphy flow rate*

$$\Pi_1 = \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g} l^{5/2}} \quad (3.1)$$

Dari bilangan tak berdimensi diatas didapat hubungan antara *heat generation* terhadap penskalaan geometri ialah $\dot{Q} \sim l^{5/2}$.

Korelasi untuk *heat loss*

Pada hubungan *heat loss* untuk eksperimen, secara umum terdapat dua cara dalam proses tersebut. Pertama, *heat loss* yang keluar melalui bukaan pada *compartment* yang. Kedua *heat loss* melalui dinding dari *compartment*. *Heat loss* melalui bukaan *compartment fire* dipengaruhi oleh luas area dari ventilasi dan *gas emissivity* dari *soot*, *heat loss* dari ventilasi bisa diformulasikan menjadi:

$$\dot{q}_v = A_{vent} \sigma_g [\varepsilon_g (T^4 - T_\infty^4) + (1 - \varepsilon_g)(T_w^4 - T_\infty^4)] \quad (3.2)$$

dari persamaan di atas terdapat variabel *gas emissivity* ε , maka jika asumsikan dinding merupakan *blackbodies* , maka:

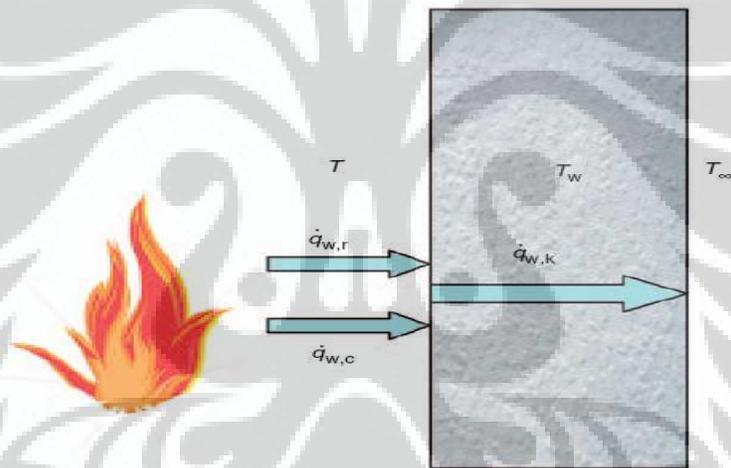
$$\varepsilon_g \sim 1 - e^{-k_s} \quad (3.3)$$

Dari persamaan di atas diperoleh bilangan tak berdimensi yang menghubungkan heat loss melalui ventilasi pada eksperimen yang merupakan rasio dari radiasi yang diemisikan terhadap radiasi oleh *blackbody*:

$$\Pi_2 = \kappa l \quad (3.4)$$

Dari persamaan di atas didapatkan hubungan antara *heat loss* melalui ventilasi *compartment* terhadap penskalaan geometri ialah $\kappa \sim l^{-1}$.

Setelah memperoleh korelasi *heat loss* melalui bukaan untuk eksperimen, sekarang kita teruskan pada yang kedua yaitu *heat loss* melalui dinding. Pada *heat loss* melalui dinding terdapat tiga mekanisme perpindahan panas yang memainkan peranan penting yaitu, pertama perpindahan panas radiasi dari api ke dinding, kedua perpindahan panas secara konveksi dari api ke dinding dan ketiga perpindahan panas secara konduksi dari dinding ke luar *bondary* atau lingkungan. Untuk lebih mudahnya dapat secara ilustrasi dilihat seperti Gambar III-5 dibawah ini.



Gambar III-5 Heat Loss melalui dinding compartment [13]

Dari keterangan diatas dapat dirumuskan perpindahan panas melalui dinding *compartment* adalah:

$$\dot{q}_w = \dot{q}_{w,k} = \dot{q}_{w,r} + \dot{q}_{w,c} \quad (3.5)$$

Radiasi dari dinding *blackbody* dapat dirumuskan menjadi:

$$\dot{q}_r \sim \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4) A_w \quad (3.6)$$

Dari formulasi di atas diperoleh bilangan tak berdimensi yang menghubungkan perpindahan panas secara radiasi dari api ke dinding di dalam compartment. Bilangan ini merupakan rasio radiasi api terhadap *enthalpy flow*:

$$\Pi_3 = \frac{\sigma T_\infty^3}{\rho_\infty c_p \sqrt{gl}} \quad (3.7)$$

Dari persamaan di atas didapat hubungan perpindahan panas secara radiasi di dalam *compartment* terhadap penskalaan geometri ialah $T_\infty \sim l^{1/6}$. Untuk yang kedua perpindahan panas secara konveksi antara api dengan dinding di dalam *compartment* dapat dirumuskan menjadi:

$$\dot{q}_c \sim h_c A_w (T - T_w) \quad (3.8)$$

Dari formulasi di atas diperoleh bilangan tak berdimensi yang menghubungkan perpindahan panas secara konveksi dari api ke dinding di dalam *compartment*. Bilangan ini merupakan rasio perpindahan panas konveksi di dalam *compartment* terhadap *enthalpy flow*:

$$\Pi_4 = \frac{h_c}{\rho_\infty c_p \sqrt{gl}} \quad (3.9)$$

Dari persamaan di atas didapat hubungan perpindahan panas secara konveksi di dalam *compartment* terhadap penskalaan geometri ialah $h_c \sim l^{1/2}$. Untuk yang ketiga perpindahan panas secara konduksi pada dinding *compartment* dapat dirumuskan menjadi:

$$\dot{q}_k \sim \frac{k_w A_w (T_w - T_\infty)}{\delta_T} \quad (3.10)$$

Dari formulasi di atas diperoleh bilangan tak berdimensi yang menghubungkan perpindahan panas secara konduksi pada dinding *compartment*. Bilangan ini merupakan rasio perpindahan panas konduksi pada dinding *compartment* terhadap *enthalpy flow* dan rasio antara ketebalan material secara termal terhadap ketebalan material:

$$\Pi_5 = \frac{(k \rho c)_w^{1/2}}{\rho_\infty c_p g^{1/4} l^{3/4}} \quad (3.11)$$

$$\Pi_6 = \left(\frac{\rho c}{k} \right)_w^{1/2} \left(\frac{g}{l} \right)^{1/4} \delta_w \quad (3.12)$$

Dari dua persamaan di atas didapat hubungan perpindahan panas secara radiasi di dalam *compartment* terhadap penskalaan geometri ialah $(k\rho c)_w \sim l^{3/2}$ dan $\delta_w \sim l^{1/4}$.

Dari persamaan di atas terdapat beberapa relasi yang sulit dipenuhi pada eksperimen kali ini seperti $\kappa \sim l^{-1}$ yang dapat dilakukan dengan mengubah bahan bakar menjadi material mampu bakar yang lain yang menghasilkan banyak *shoot*, $h_c \sim l^{1/2}$ dapat dipenuhi dengan mengganti fluida atau mengubah aliran serta korelasi $T_\infty \sim l^{1/6}$ yang dapat dipertahankan dengan mengubah suhu ambient. Untuk itu diperlukan beberapa strategi dan pendekatan tambahan untuk mempertahankan karakter dari *compartment fire* pada eksperimen ini. Pada penelitian ini dilakukan pendekatan mengacu pada pendekatan yang dilakukan oleh Quintiere di dalam buku *Fundamental of Fire Phenomena* di halaman 389 [14]. Dari pendekatan tersebut didapatkan formulasi:

$$\dot{q}'' \sim \left(\frac{k_w}{\delta_w} \right) T \sim l^0 \quad (3.13)$$

Strategi ini memberi penyederhanaan pada korelasi yang dibentuk untuk *heat loss* pada *compartment* sehingga korelasi yang diperlukan untuk hal ini menjadi $T \sim l^0$, $\delta_w \sim l^{1/4}$ dan $k_w \sim \rho_w \sim l^{1/4}$. Selain bilangan tak berdimensi yang didapat dari *heat gain* dan *heat loss*, tentu bilangan tak berdimensi lain:

$$\Pi_7 = \frac{t}{\sqrt{l/g}} \quad (3.14)$$

Bilangan tak berdimensi ini memberikan hubungan penskalaan waktu pada eksperimen terhadap penskalaan geometri, $t \sim l^{1/2}$.

Pada eksperimen ini terdapat relasi yang harus dipertahankan antara *full scale simulation* dan *lab scale simulation*. Relasi ini didapat dari penurunan analisa bilangan tak berdimensi di atas. Relasi pada eksperimen dirangkum dalam Tabel III-2 di bawah.

Table III-2 Relasi yang menghubungkan parameter full scale dan reduced scale

No.	Relasi	Fungsi
1	$\dot{Q} \sim l^{5/2}$	Menentukan jenis bahan bakar dan jumlahnya
2	$T \sim l^0$	Profile dan besar temperature yang tidak dipengaruhi geometri
3	$k_w \sim \rho_w \sim l^{1/4}$	Menentukan material dinding
4	$\delta_w \sim l^{1/4}$	Menentukan tebal dinding
5	$t \sim l^{1/2}$	Memberi informasi waktu yang digunakan dalam eksperimen

III.2.2 Bahan & Peralatan Eksperimen

Pada pelaksanaan eksperimen ini digunakan beberapa alat dan bahan, dari alat dan bahan itu ada yang merupakan alat atau bahan utama dalam proses pengambilan data ini. Material atau bahan yang digunakan pada eksperimen ini dipilih berdasarkan korelasi bilangan tak berdimensi yang ada. Pada eksperimen ini terdapat relasi yang harus dipertahankan antara *full scale simulation* dan *lab scale simulation*. Relasi ini didapat dari penurunan analisa bilangan tak berdimensi di atas. Adapun material yang mengikuti relasi bilangan tak berdimensi di atas adalah, wood cribs yang digunakan sebagai material mampu bakar di dalam rumah dan maket rumah sendiri. Uraian mengenai perhitungan dan analisa pemilihan material akan diuraikan pada sub-sub bab di bawah ini. Bahan yang digunakan dalam eksperimen ini antara lain tercantum pada Table III-3

Table III-3 Material properties dari bahan-bahan eksperimen

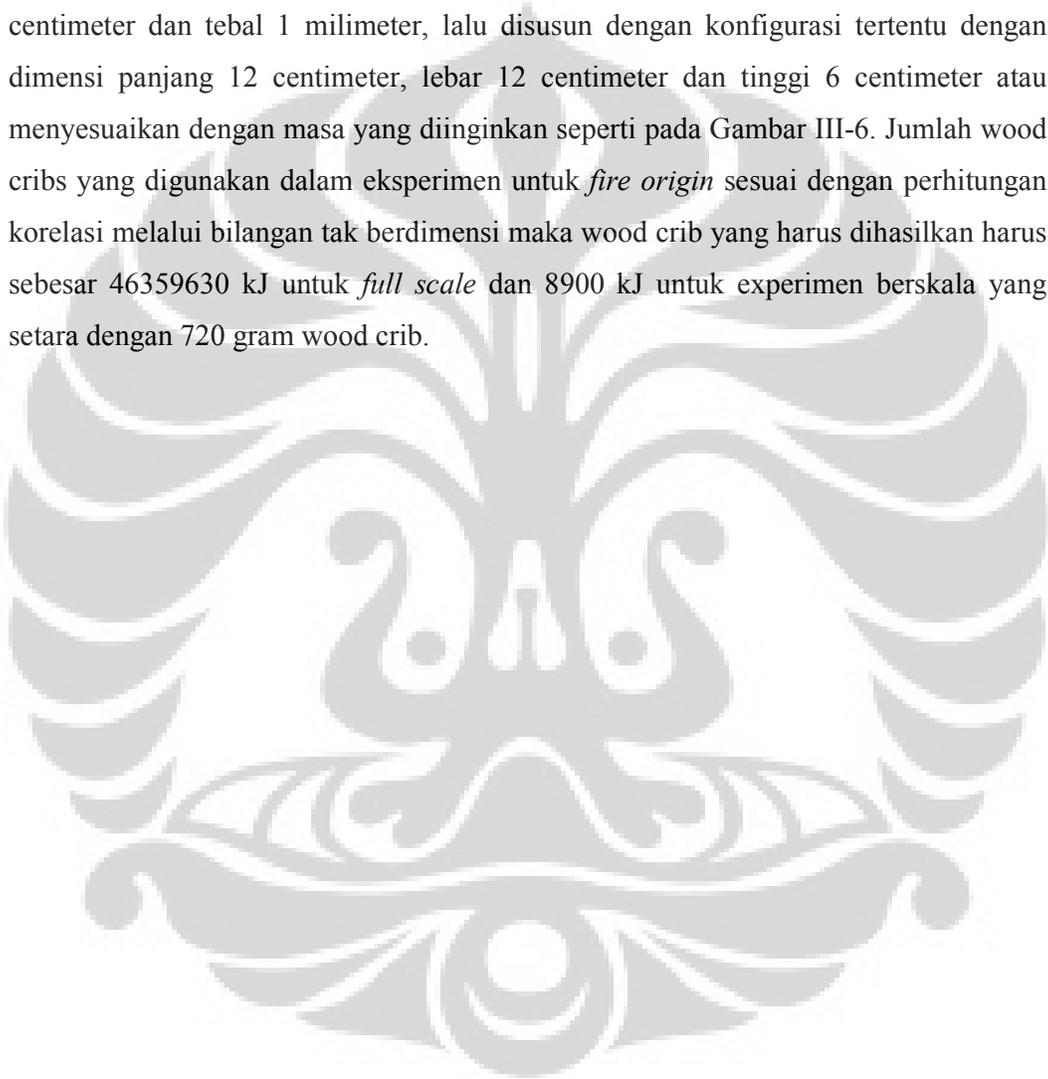
No.	Nama	Densitas (kg/m ³)	Kalor jenis (kJ/kg K)	Konduktivitas thermal (W/m K)	Heat of combustion (kJ/kg)	Tebal (mm)
1	Asbes	577	1.050	0.15	-	±3
2	Wood cribs	700	1.4	0.12	12400	±1

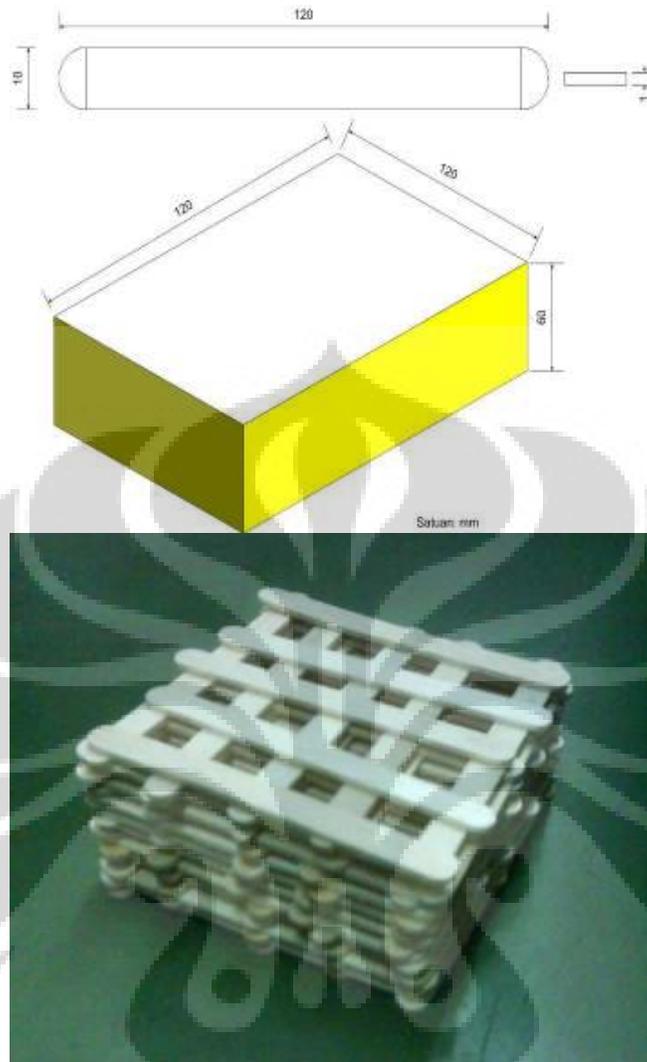
Sedangkan alat utama yang digunakan ialah Termokopel, *Data Logger* atau *Data Acquisition* untuk meretrieve data secara *continuiue*, Heat Flux Meter, seperangkat komputer yang terdiri dari sebuah Notebook yang digunakan sebagai *server* dan alat *display*. Secara garis besar alur data dimulai dari proses *sensing* temperature oleh termokopel dan menghasilkan perbedaan tegangan yang diteruskan ke *data logger* melalui kabel. Pada *data logger*, inputan yang diterima dalam bentuk beda tegangan di ubah menjadi nilai temperature, melalui kabel data diteruskan ke CPU untuk di

simpan lalu dari CPU ditampilkan melalui monitor. Alat sensor temperature, termokopel, dan juga Heat Flux Meter sebelum penggunaan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu.

III.2.2.1 *Wood cribs*

Wood cribs dalam bentuk stik digunakan sebagai bahan bakar dalam eksperimen ini. Sebatang *stick wood cribs* memiliki panjang 12 centimeter, lebar 1 centimeter dan tebal 1 milimeter, lalu disusun dengan konfigurasi tertentu dengan dimensi panjang 12 centimeter, lebar 12 centimeter dan tinggi 6 centimeter atau menyesuaikan dengan masa yang diinginkan seperti pada Gambar III-6. Jumlah wood cribs yang digunakan dalam eksperimen untuk *fire origin* sesuai dengan perhitungan korelasi melalui bilangan tak berdimensi maka wood crib yang harus dihasilkan harus sebesar 46359630 kJ untuk *full scale* dan 8900 kJ untuk eksperimen berskala yang setara dengan 720 gram wood crib.





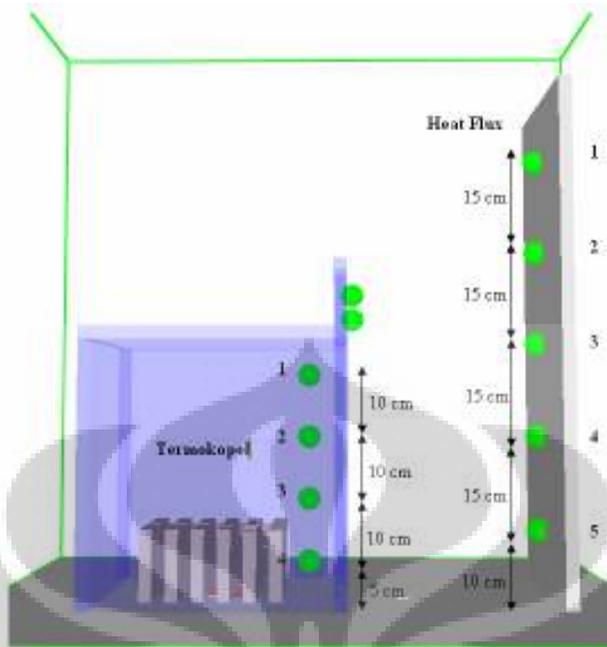
Gambar III-6 Wood Cribs

III.2.2.3 Peralatan pengambil data

Peralatan pengambil data terdiri dari:

1. Termokopel: sebagai probe atau alat sensing temperature.
2. Heat Flux Sensor : untuk mengukur Heat Flux yang terjadi
3. Data logger (ADAM) yang menggunakan VisidaQ sebagai interface: sebagai pengolah dan pengumpul informasi dari termokopel.
4. Set komputer: digunakan sebagai *operating sistem*, *server* dan *display* hasil.

Untuk peralatan sensor digunakan termokopel tipe K dengan diameter 1.5 mm yang disambung ke data logger dengan kabel yang panjangnya 5 meter. Untuk Layout Flux dan Termokopel adalah sebagai berikut :



Gambar III-7 Layout alat pada eksperimen



Gambar III-8 Peralatan Pengambilan Data

Sesuai dengan prosedur pengambilan data yang ada terlebih dahulu semua alat pengambil data harus di kalibrasi terlebih dahulu, maka pada eksperimen ini termokopel dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Pada proses kalibrasi ini dilakukan dua tahap pertama menggunakan air untuk mengkalibrasi termokopel pada suhu rendah setelah itu dilanjutkan pengkalibrasian menggunakan minyak kelapa untuk kalibrasi termokopel pada suhu sedang. Sedangkan untuk kalibrasi termokopel pada suhu tinggi tidak dapat dilakukan karena tidak tersedia alat dan sarana yang menunjang. Adapun tahapan kalibrasi yang dilakukan adalah:

1. Menyiapkan peralatan kalibrasi antara lain termometer standar, wadah kalibrasi, heater, alat pengambil data dan fluida yang digunakan (air dan minyak kelapa)
2. mengisi wadah kalibrasi dengan air lalu memanaskanya dengan heater.
3. Mencatat suhu yang tertera pada termometer standar dan data logger setiap 3 menit sampai pada suhu 100°C
4. Lalu melanjutkan proses yang sama untuk minyak kelapa hanya saja minyak kelapa digunakan hingga mencapai suhu 150°C
5. Setelah semua data terkumpul dibuat persamaan garis interpolasi terhadap titik pengukuran dan diperoleh persamaan relasi antara pembacaan dan yang nilai sebenarnya.
6. Memasukan persamaan kalibrasi ke dalam persamaan data logger

III 2.3 Prosedur Eksperimen

Pada eksperimen ini dilakukan di luar ruangan dengan pembatasan area eksperimen menggunakan terpal dan eksperimen dilakukan di atas meja yang dilapisi material tahan api. Adapun prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menghidupkan komputer, data logger serta mengatur dan menyamakan waktu antara data logger dan penunjuk waktu praktikan (dilakukan hanya pada tahap awal set-up visidaq).
2. Persiapan *wood cribs* sebagai bahan bakar agar posisi di dalam compartement.
3. Mengatur posisi compartement dengan target sehingga sesuai dengan kondisi yang diskenariokan.
4. Mengatur posisi termokopel pada dinding target & Origin. Serta melakukan pengecekan terhadap ketinggian termokopel sesuai yang diinginkan.
5. Mengatur posisi kamera untuk dokumentasi (jika diinginkan)
6. Menghidupkan *software* data logger(VisidaQ).
7. Menghidupkan api dalam rumah dengan melakukan pijuan pada *wood cribs* yang berada ditengah.
8. Mencatat waktu mulai ignition.

9. Setelah bahan bakar pada origin habis biarkan beberapa waktu terlebih dahulu sambil melihat suhu pada display hingga suhu mendekati ambien dan setelah itu berhentikan visidaq
10. Ganti *file name* pada data yang masuk agar tidak terhapus oleh proses logging berikutnya.
11. Bersihkan sisi pembakaran dan lanjut teruskan sekenario berikutnya



BAB IV HASIL DAN ANALISIS

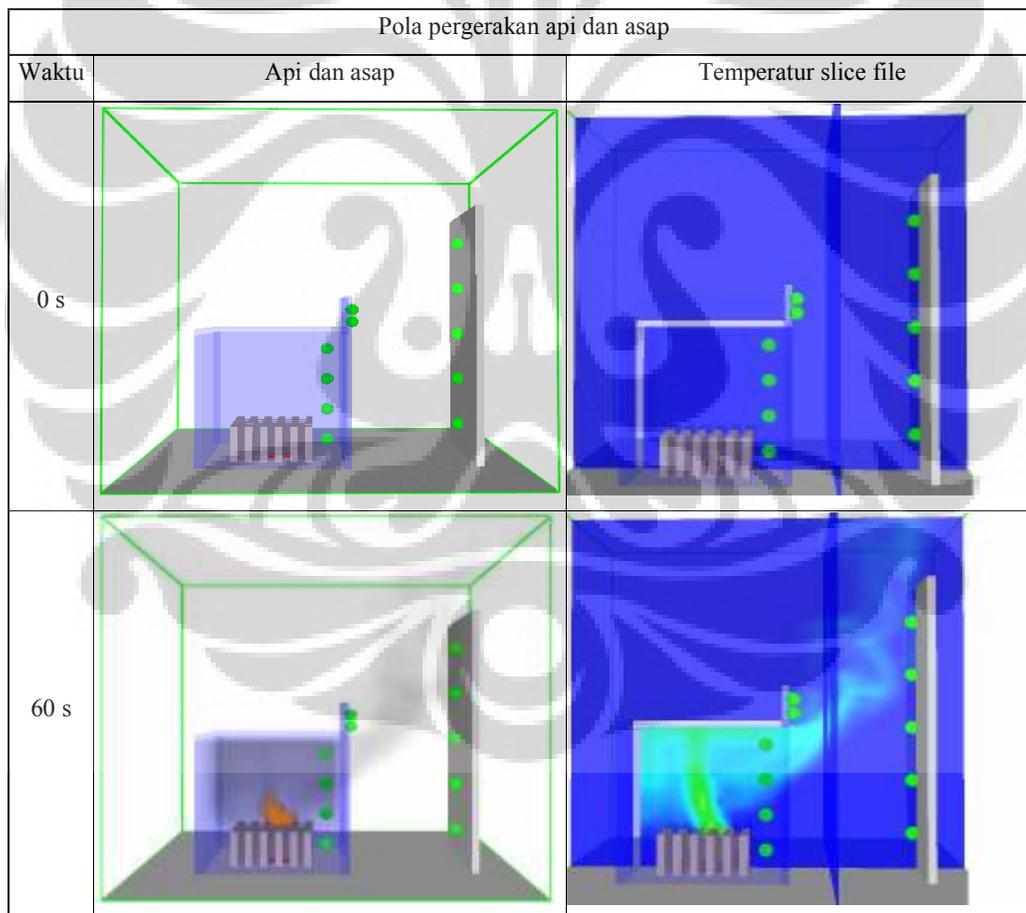
IV.1 Pola Penyebaran

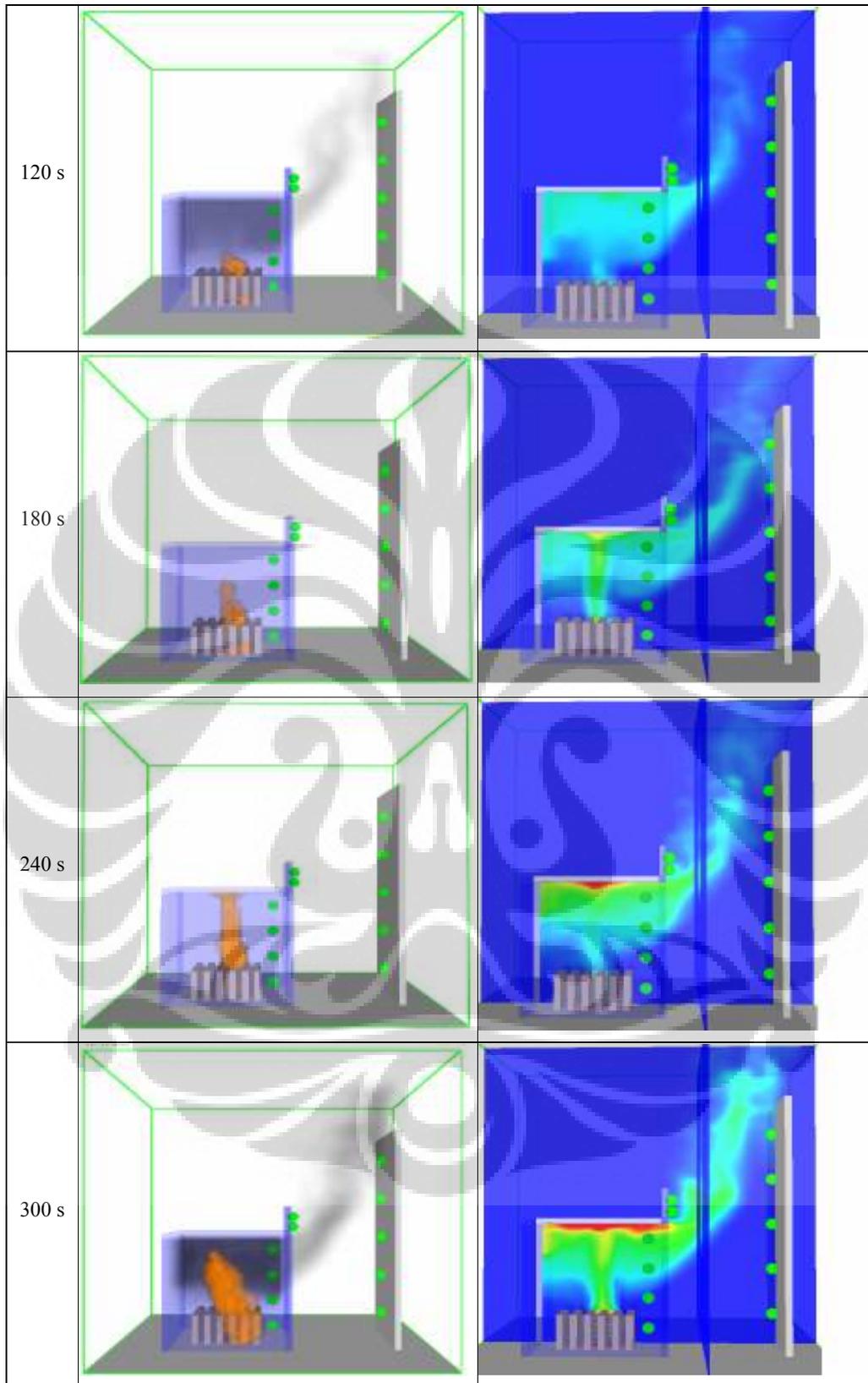
Pada bab ini akan dijabarkan mengenai pola penyebaran dari origin terhadap target, yang akan dibagi pada dua sub-bab yaitu :

1. Pola Pergerakan Api dan Asap pada Fire Origin
2. Pola Penyebaran Perpindahan Api dan Asap Pada Compartment

Dimana pada sub-bab diatas akan dijelaskan secara visual mengenai penyebaran api yang terjadi dan akibat dari fire plumes yang terjadi didalam compartment.

IV.1.1 Pola Pergerakan Api dan Asap pada Fire Origin





Gambar IV-1 Temperatur Slice File

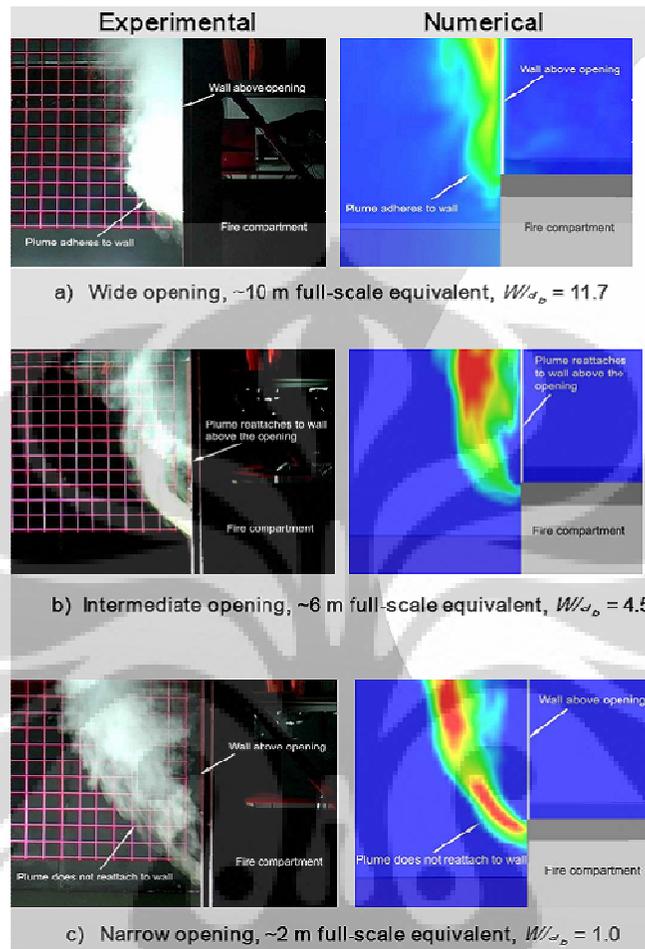
Pada proses pertumbuhan api dalam rumah sebagai sumber api (*fire origin*) pertumbuhannya sangat dipengaruhi dari posisi terjadinya atau lokasi dari *ignition* dan objek yang ada di rumah. Selain itu laju pembakaran dari objek yang ada pada *fire origin* sangat dipengaruhi oleh tebal dinding, posisi dan besar bukaan ventilasi, karena pada *compartment fire burning rate* (laju pembakaran) dari bahan bakar sangat dipengaruhi dari besarnya *supply* udara dan *heat* hasil pembakaran yang diterima oleh bahan bakar, hal ini telah coba dibuktikan oleh Y Utiskul pada model *compartment fire* dalam jurnalnya yang berjudul “*Compartment Fire Phenomena Under Limited Ventilation*”.

Dapat dilihat dari Gambar IV.1 bahwa temperatur dalam compartment dapat mencapai suhu 680 ° C sementara waktu untuk api dalam compartment mengalami *flashover* sulit ditentukan karena *flashover* merupakan peristiwa sesaat atau peristiwa transisi. Pada *flash over* ditandai dengan keluarnya asap secara paksa dari *compartment*. Ini merupakan akibat dari asap hasil pembakaran pada *compartment* sudah terlalu banyak dan memberikan kenaikan tekanan yang cukup untuk asap terdorong keluar. Asap hasil pembakaran di dalam *compartment* semakin banyak akibatnya oksigen tertekan lebih ke bawah, *supply* udara yang semakin menipis mengakibatkan api berusaha mendorong penghalang dan bergerak ke arah sumber udara segar. Hal ini terlihat pada gambar pergerakan api dan asap untuk pada waktu 300 s api mengejar udara ke bagian yang lebih rendah. Hal ini mengakibatkan proses pembakaran yang awalnya terjadi pada kondisi yang memiliki *supply* oksigen baik menjadi kekurangan oksigen. Sedangkan naiknya suhu didalam *fire origin* dikarenakan *heat generation* yang disebarkan secara radiasi langsung oleh api maupun yang disebarkan asap melalui konveksi merata di dalam ruangan.

IV.1.2 Pola Penyebaran Perpindahan Api dan Asap Pada Compartment

Pola gerakan api dan asap pada antar bangunan mempunyai banyak faktor yang mempengaruhi, diantaranya adalah pola dari *fire plumes* yang terbentuk. Pada *compartment fire*, *plumes* yang terjadi sangat bergantung dari panjang dan lebar bukaan (jendela) yang terdapat pada *compartment*. Hal ini telah dikaji oleh R Harrison dan M J Spearpoint pada penelitian mereka yang berjudul “**Entrainment**

Characteristics of the Thermal Spill Plume". Prilaku dari pola *plumes* dapat dilihat pada Gambar IV-2 di bawah ini.



Gambar IV-2 Karakteristik Fire Plumes

Dari hasil simulasi dilihat profil fire plumes yang terjadi dan hubungannya dengan penyebaran api yaitu sebagai berikut :

Range	60 s	120 s	360 s	600 s
1.5 m				
3 m				
4.5 m				
3 m atap				
3 m sprinkler				

Gambar IV-3 Pola Penyebaran Api dan Asap

Dalam simulasi Fire Dynamic Simulator dapat dilihat pergerakan api dan asap dari origin pada beberapa skenario yang telah ditentukan. Terlihat bahwa api sudah mulai menyala pada menit pertama dan membesar seiring dengan berjalannya waktu. Pada skenario ini rata-rata *flashover* terjadi pada menit ke 6 dimana api sudah menjadi *fully developed fire*. Pada skenario 1.5 meter terlihat bahwa api sudah mengenai bagian dari dinding target dimana akumulasi pergerakan api terlihat pada titik tengah dari ketinggian pada target, sedangkan pada skenario 3 meter akumulasi api terjadi pada titik yang lebih tinggi dibandingkan dengan skenario 1.5 meter, sedangkan pada skenario 4.5 meter api berkumpul pada titik yang hampir sama dengan skenario 3 meter walaupun intensitas api tidak sebanyak skenario 3 meter. Pada skenario 3 meter dengan menggunakan atap mendarat terlihat bahwa setelah terjadi *flashover* api dan asap menyebar dan berakumulasi di dua titik yaitu yang pertama adalah dibawah atap dan yang kedua terdapat di atas atap tersebut hal ini akan dijelaskan pada sub-bab

yang berikutnya. Pada percobaan dengan menggunakan sprinkler pada jarak 3 meter terlihat bahwa api tetap mengalami flashover pada menit ke 10 tetapi intensitas api tidak sehebat dibandingkan dengan simulasi tanpa menggunakan sprinkler. Secara umum dari pengamatan visual ini terlihat bahwa jarak dan ketinggian rumah target sangat mempengaruhi pola dan pergerakan dari *fire plumes* yang berasal dari *fire origin*. Dan *fire plumes* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pola penyebaran api antar bangunan.

IV.2 Heat Flux dan Temperature

Jika ingin mengkaji perpindahan api antar bangunan, terlebih dahulu perlu diketahui sedikit tentang proses pembakaran untuk memberi pandangan yang sama pada proses tersebut. Setiap proses pembakaran (*combustion*) ada 3 faktor yang harus ada, yaitu:

1. Bahan bakar (*fuel*)
2. Oksigen
3. Panas (*Heat*)

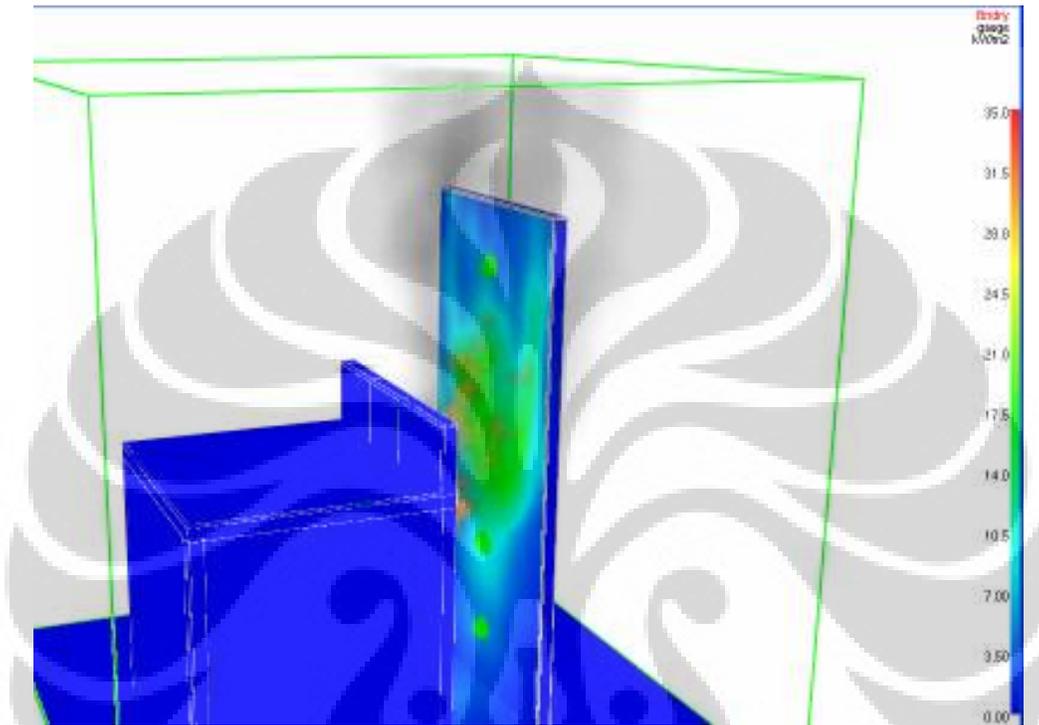
ketiga faktor ini disebut segitiga api. Jika dilihat faktor ketiga dari segitiga api adalah *heat*, jadi setiap benda mampu bakar yang akan terbakar harus memiliki energi yang cukup pada kondisi tersebut untuk mengalami proses pembakaran. Energi yang dimiliki benda tersebut dapat diperoleh dari luar lingkungan (*external heating*) ataupun dikarenakan bertambahnya energi pada lingkungan dikarenakan proses pada lingkungan dimana benda mampu bakar berada. Jumlah energi yang cukup yang dimiliki oleh benda untuk terbakar setidaknya harus melebihi dari energi aktivasi benda tersebut untuk terbakar. Energi aktivasi benda sangat tergantung dari kondisi benda itu sendiri. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan di laboratorium pembakaran (*Fire Safety Lab*) tahun 2006 untuk kayu tropis dengan ketebalan 1-3 cm dan pemberian *heat constan* pada kayu melalui *heater* didapatkan untuk kayu tropis nilai *critical heat flux* mencapai 9.6 kW/m^2 , informasi lebih detail seperti Gambar IV-4 dibawah.

Specimen	Critical heat flux (kWm^{-2})
GU wood - along grain	9.6
GU wood - across grain	6.4
MDF	4.5

Gambar IV-4. Nilai critical heat flux untu piloted ignition.[8]

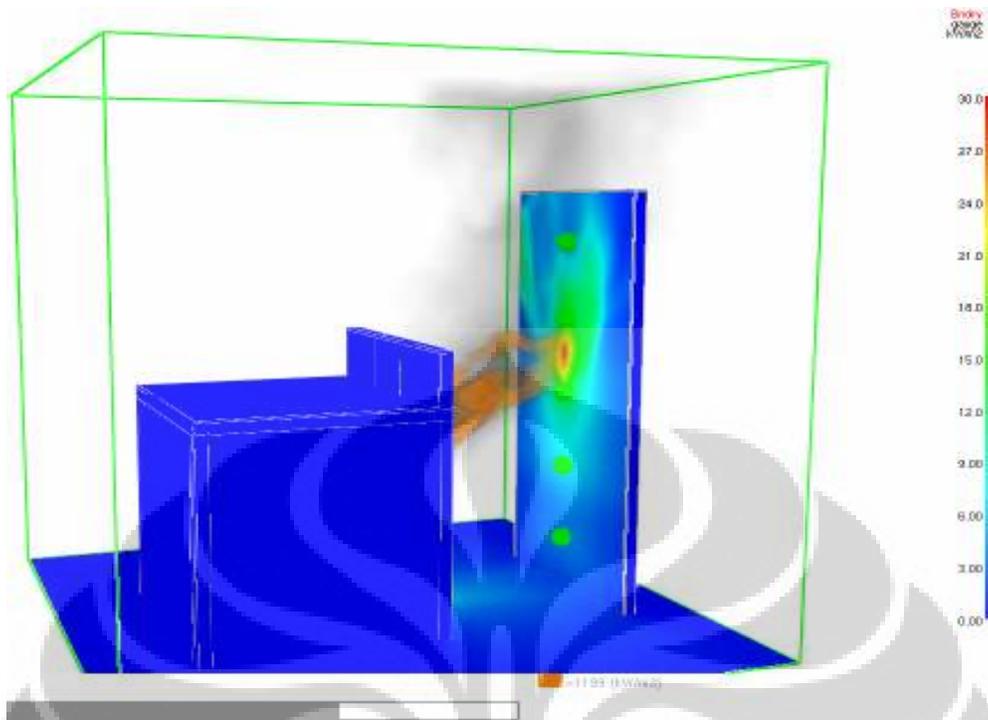
Berikut merupakan beberapa hasil simulasi dengan menggunakan Fire Dynamic Simulator untuk mengukur Persebaran Heat Flux yang terjadi :

1.5 meter



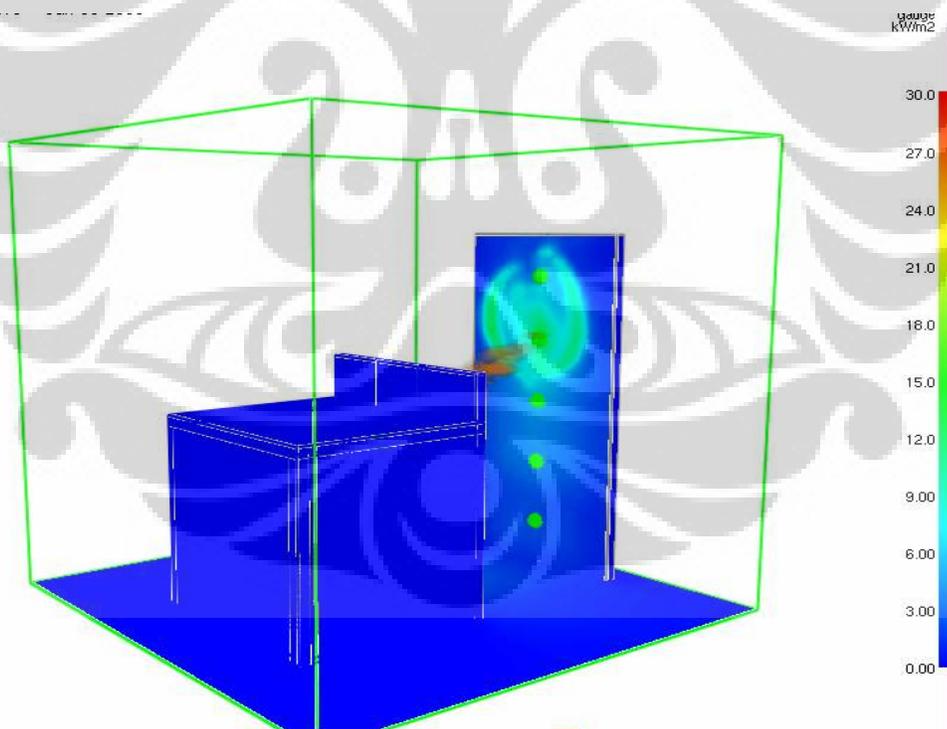
Gambar IV-5 Flux 1.5 meter

3 meter



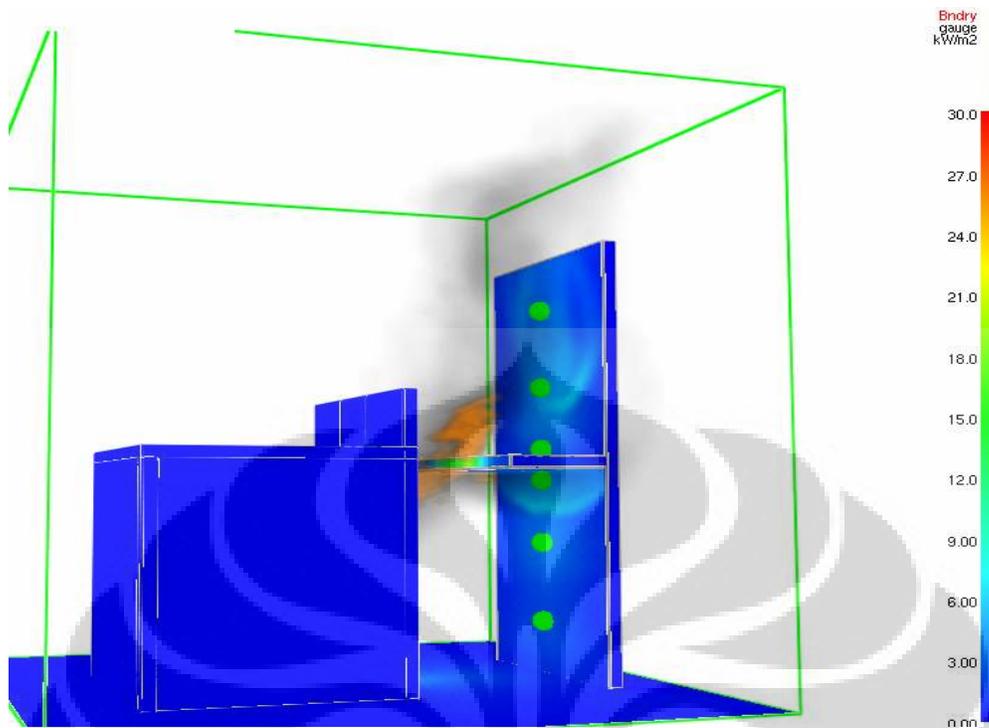
Gambar IV-6 Flux 3 meter

4.5 meter



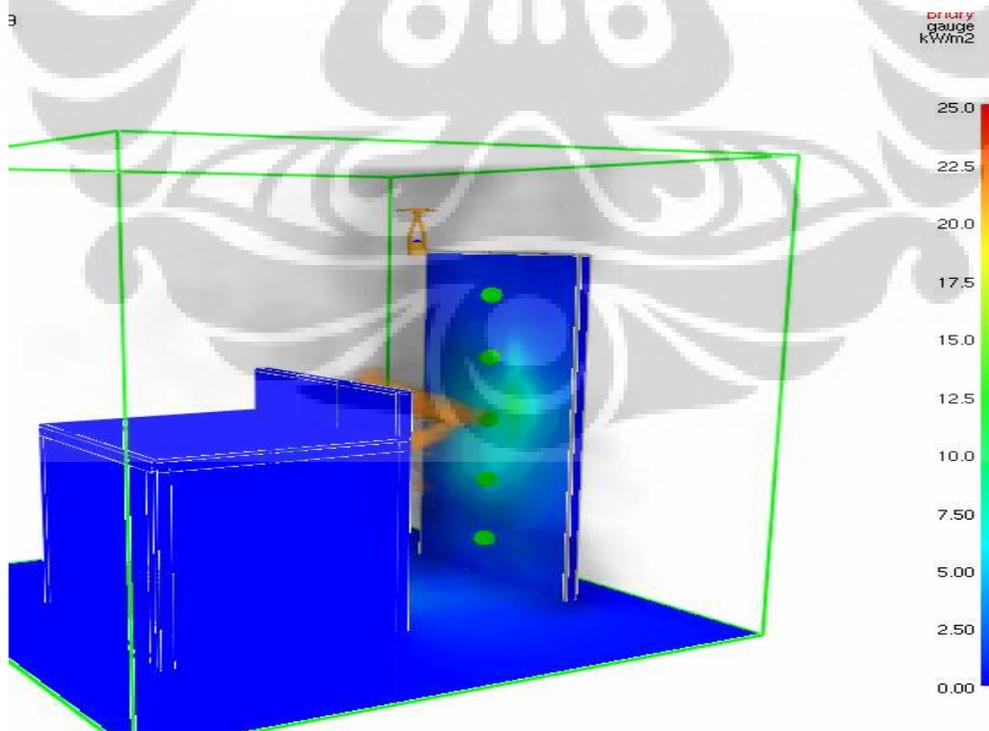
Gambar IV-7 Flux 4.5 meter

3 meter dengan menggunakan atap mendatar



Gambar IV-8 Flux 3 meter dengan atap

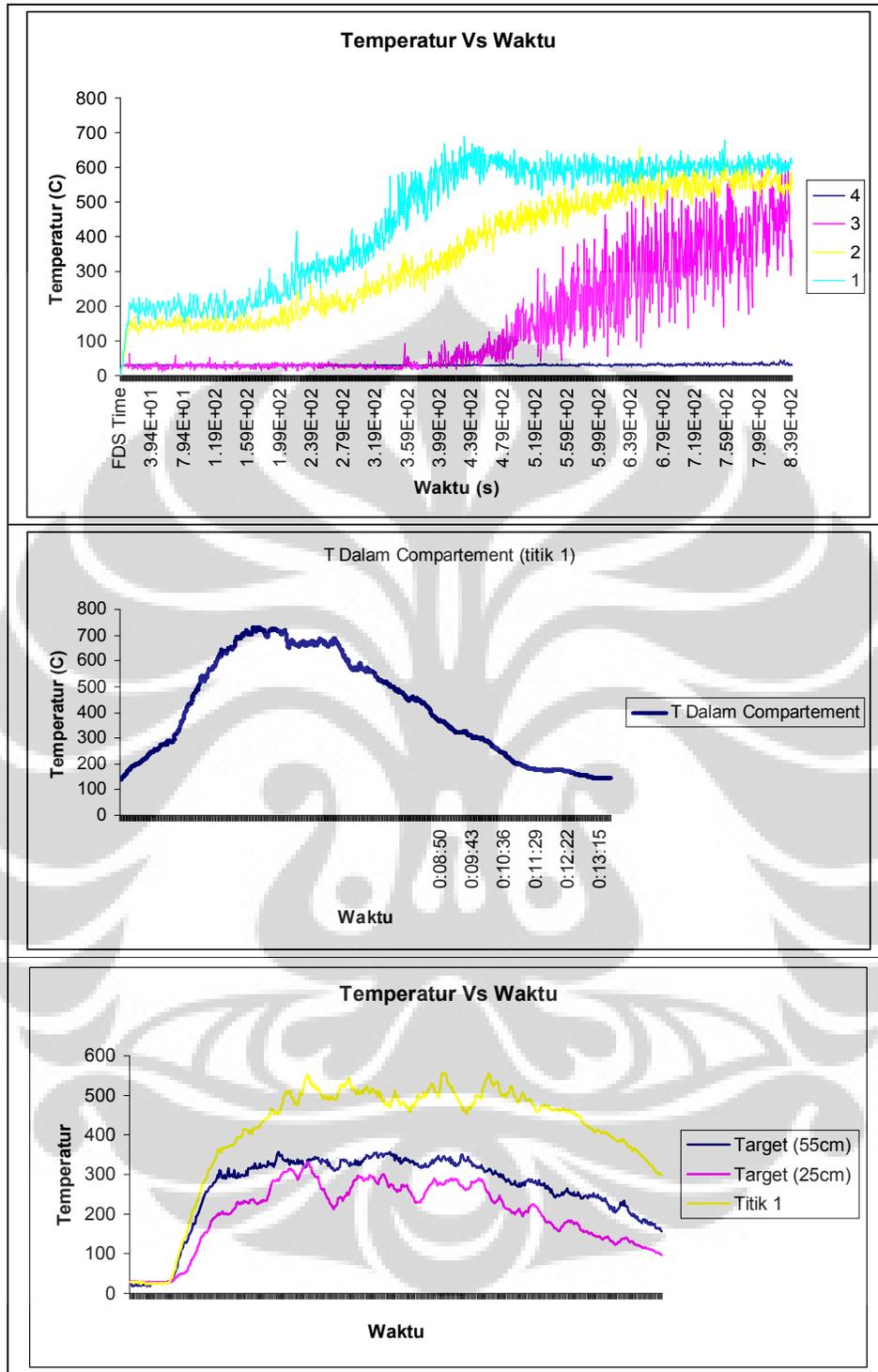
3 meter dengan menggunakan sprinkler pada jalan



Gambar IV-9 Flux 3 meter dengan sprinkler

Dari Gambar-gambar diatas dapat dilihat pola persebaran Heat Flux yang terjadi pada kompartemen pada waktu 600 sekon, pada skenario 1.5 meter Heat Flux tersebar dengan Luas Permukaan yang paling luas dibandingkan dengan skenario lainnya, hal ini dikarenakan jarak yang dijangkau api lebih pendek dibandingkan dengan skenario lain. Pada skenario 3 meter Heat Flux masih relatif besar hingga mencapai keadaan lebih dari 25 kW/m^2 walaupun hanya sesaat, jika dibandingkan dengan critical heat flux terbesar pada kayu pada Gambar IV.4 jelas sekali bahwa nilai critical heat flux sudah jauh terlampaui. Pada skenario 4.5 meter api terlihat berkumpul di titik nomor 2 dapat dilihat bahwa pergerakan api akan semakin keatas jika jarak diregangkan. Sementara pada skenario 3 meter dengan menggunakan atap, Heat Flux terakumulasi di bagian depan dari atap, dan juga bagian bawah dari atap jika dilihat dengan menggunakan FDS maka terlihat bahwa api mengikuti bentuk dari atap tersebut. Untuk skenario 3 meter dengan menggunakan sprinkler walaupun sudah dilakukan upaya pemadaman dengan menggunakan sprinkler standart tetapi Heat Flux tetap terakumulasi hingga lebih dari 10 kW/m^2 sehingga walaupun sudah terpasang sprinkler kondisi demikian masih berbahaya bagi rumah yang berbahan dasar kayu.

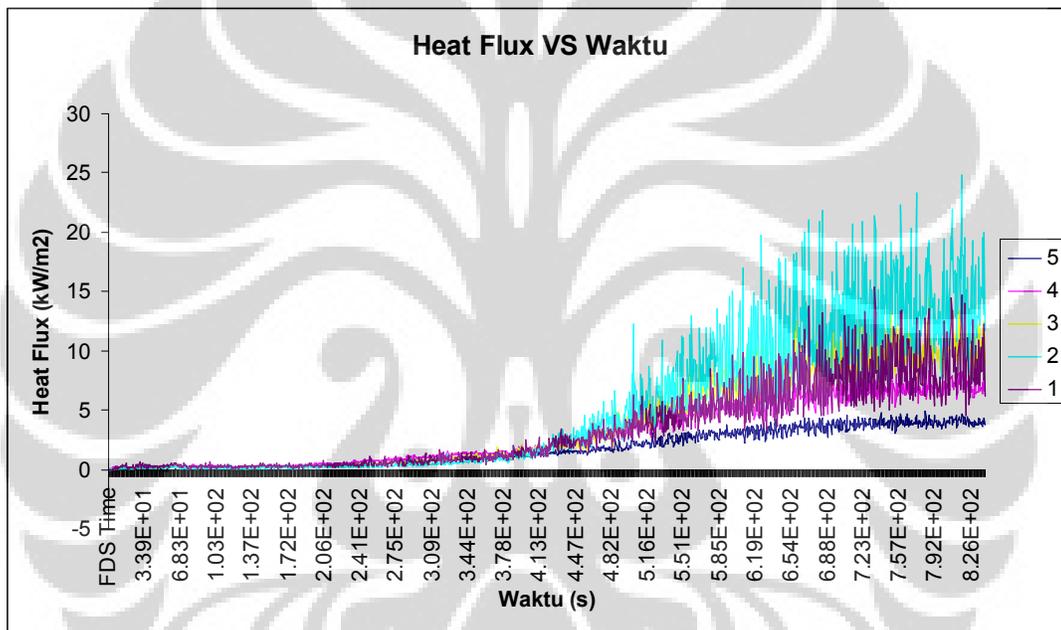
Pada simulasi FDS ini ditempatkan beberapa alat yang bertujuan untuk mengukur Heat Flux dan Temperatur di titik-titik tertentu yang akan dibandingkan dengan hasil pengukuran eksperimen laboratorium. Penempatan peralatan dan susunan layout eksperimen telah dijelaskan pada Bab sebelumnya dapat dilihat dari Gambar III-7. Hasil yang diperoleh dari pengukuran adalah sebagai berikut :



Gambar IV-10 Distribusi Temperatur Pada FDS (atas) , Pada Experimen 3 meter (tengah), dan Pada Experimen 1.5 meter

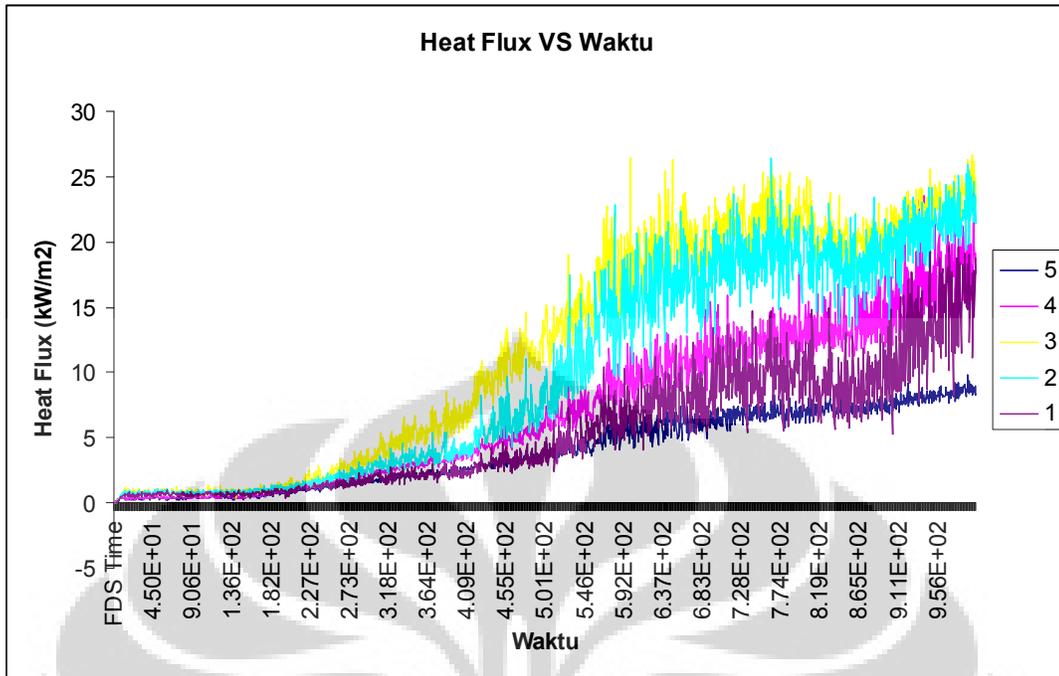
Dari hasil perbandingan temperatur diatas dapat terlihat bahwa baik simulasi maupun experimen temperatur maximum menyentuh angka hingga lebih dari 700 °C, tetapi dapat dilihat dari Gambar IV-10 bahwa terjadi perbedaan waktu sewaktu terjadi *flashover* hal ini dikarenakan percobaan pada experimen di laboratorium terbakar lebih cepat karena penambahan faktor additif untuk mempercepat proses pembakaran. Tapi walaupun demikian tren data dan temperatur maksimum yang merupakan titik kritis yang diperoleh kurang lebih sama . Sementara data Heat Flux yang didapat dari FDS adalah sebagai berikut :

Untuk Heat Flux pada 3 meter



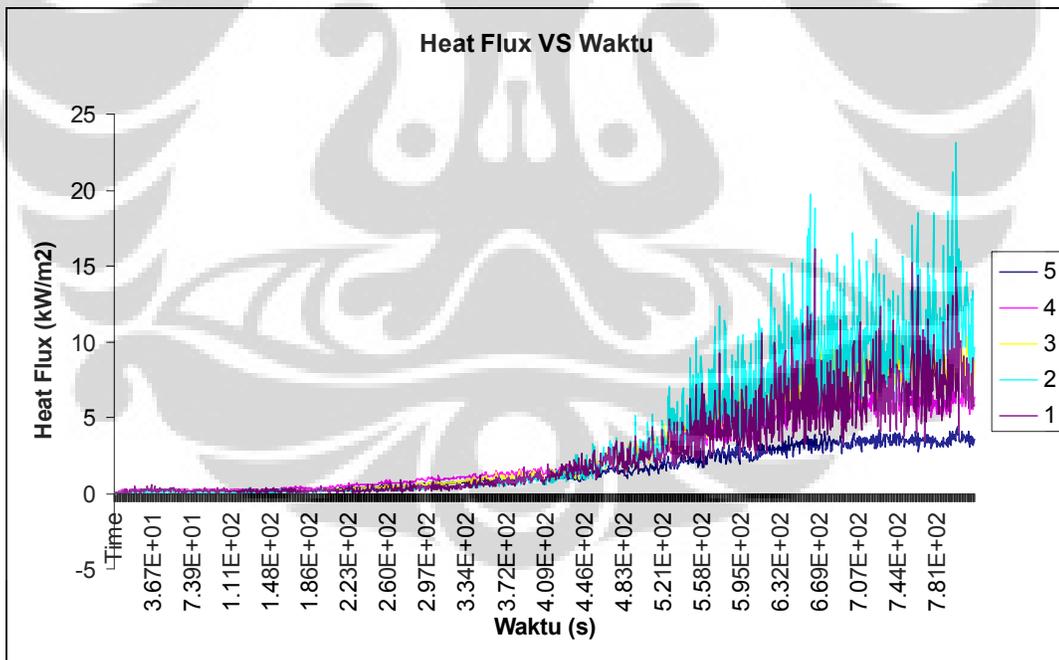
Gambar IV-11 Heat Flux FDS jarak 3 m

Untuk Heat Flux pada 1.5 meter



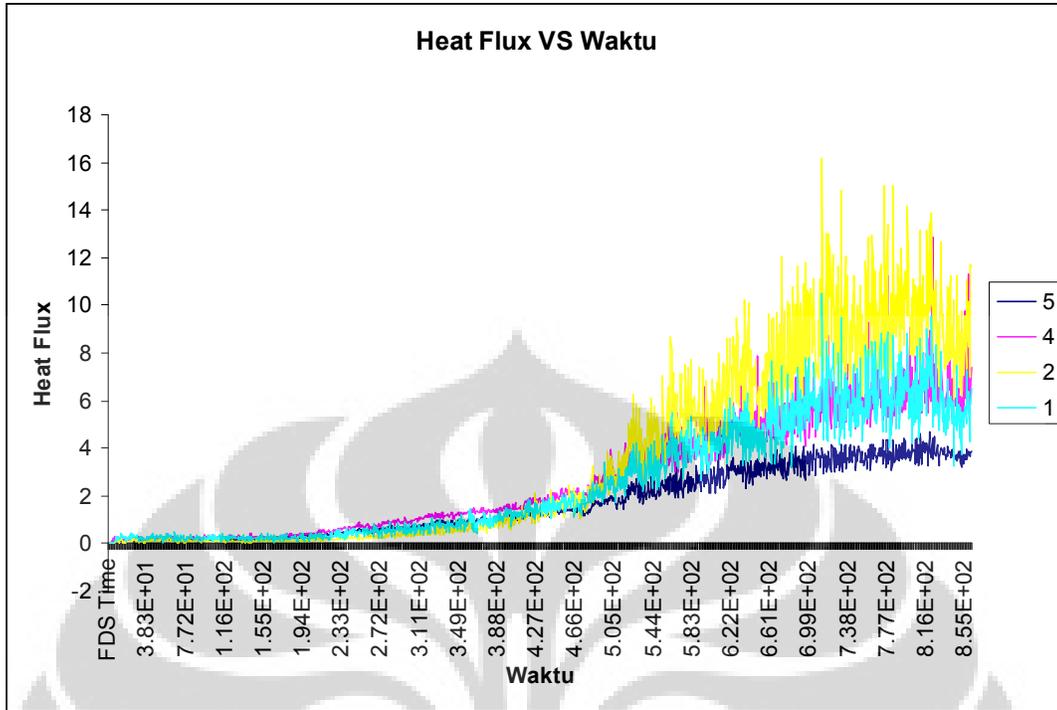
Gambar IV-11 Heat Flux FDS jarak 1.5 m

Untuk Jarak 4.5 meter

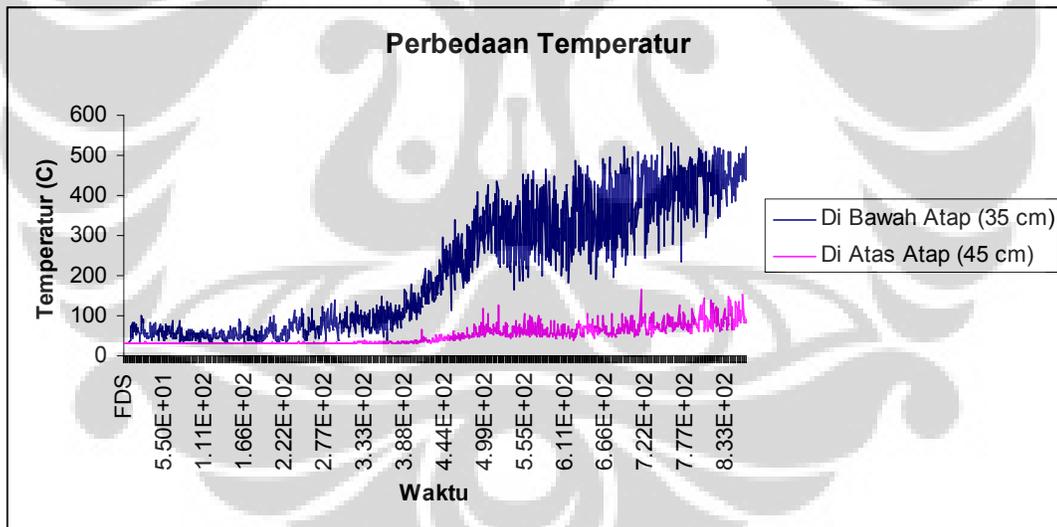


Gambar IV-12 Heat Flux FDS jarak 4.5 m

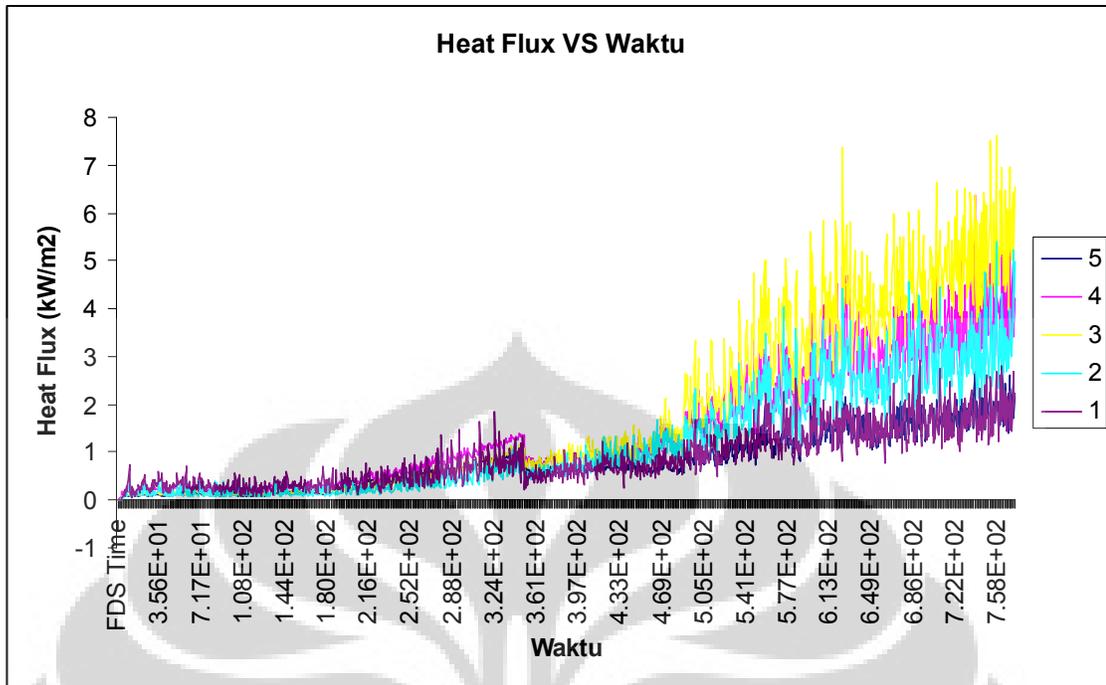
Untuk Jarak 3 meter dengan menggunakan atap



Gambar IV-13 Heat Flux FDS jarak 3 m atap
 Tambahan untuk Perbedaan temperatur diatas dan dibawah atap :

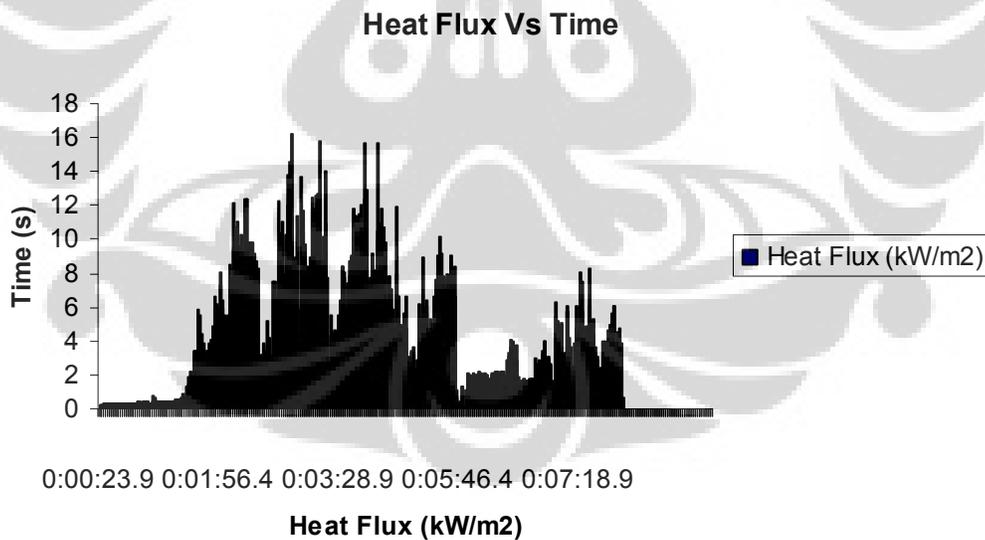


Gambar IV-14 Perbedaan Temperatur atas dan bawah atap
 Untuk Jarak 3 meter dengan menggunakan sprinkler



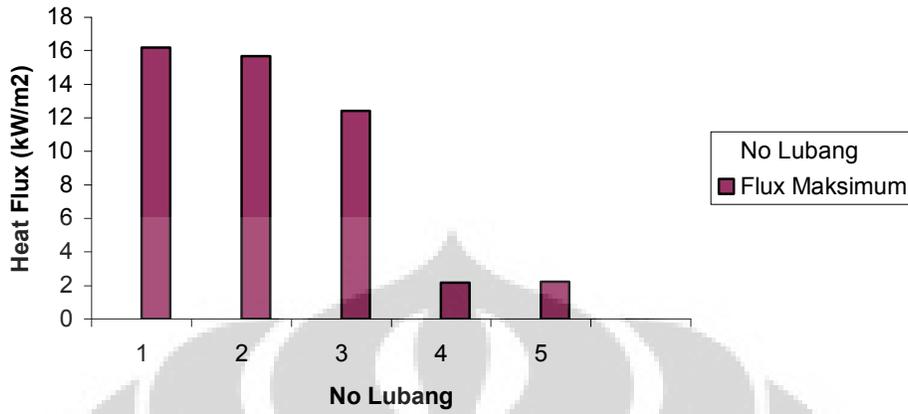
Gambar IV-15 Heat Flux FDS jarak 3 m (sprinkler)

Sebagai data pembandingan, grafik berikut ini merupakan data yang diambil dari hasil experiment yang dilakukan di laboratorium :



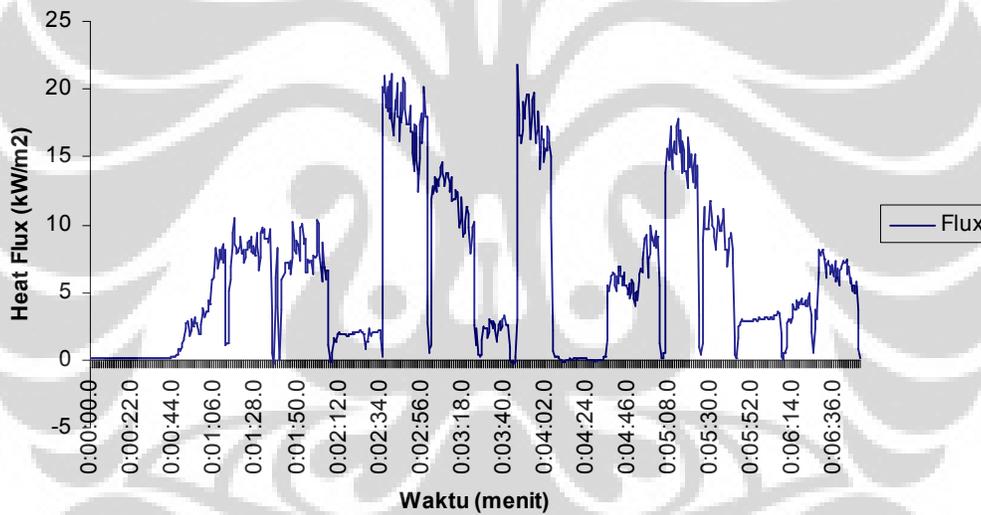
Gambar IV-16 Heat Flux Experimen Jarak 3 m

Flux Maksimum Berdasarkan Lubang



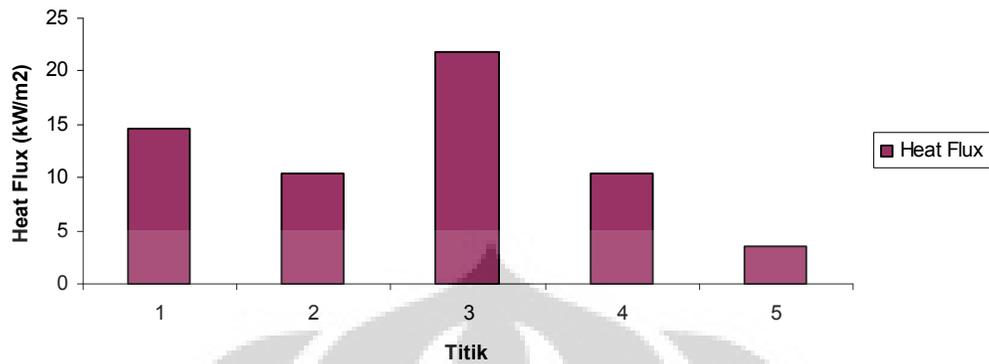
Gambar IV-17 Flux Maximum Pada Skenario 3 meter (Eksperimen)

Heat Flux VS Waktu



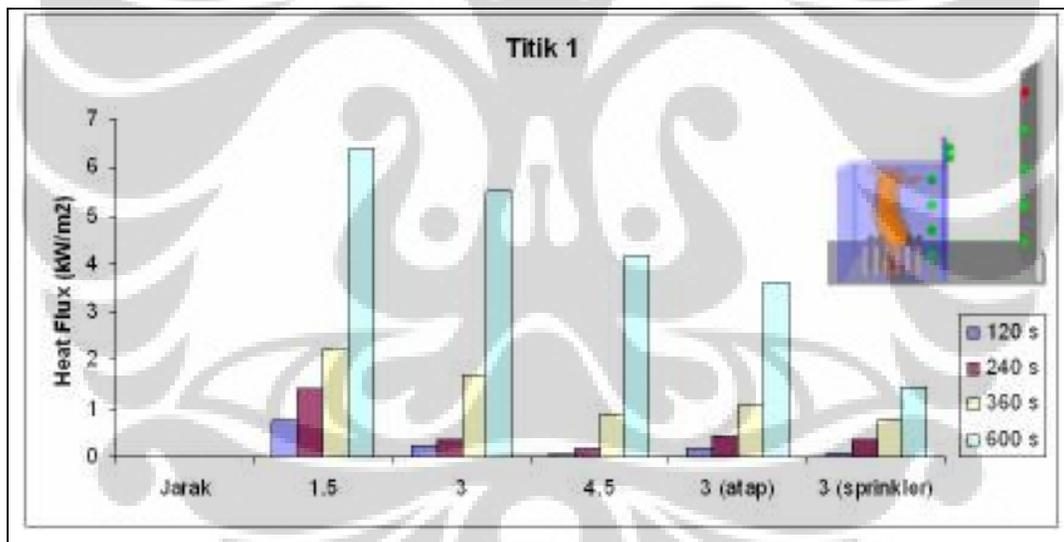
Gambar IV-18 Heat Flux Experimen Jarak 1.5 m

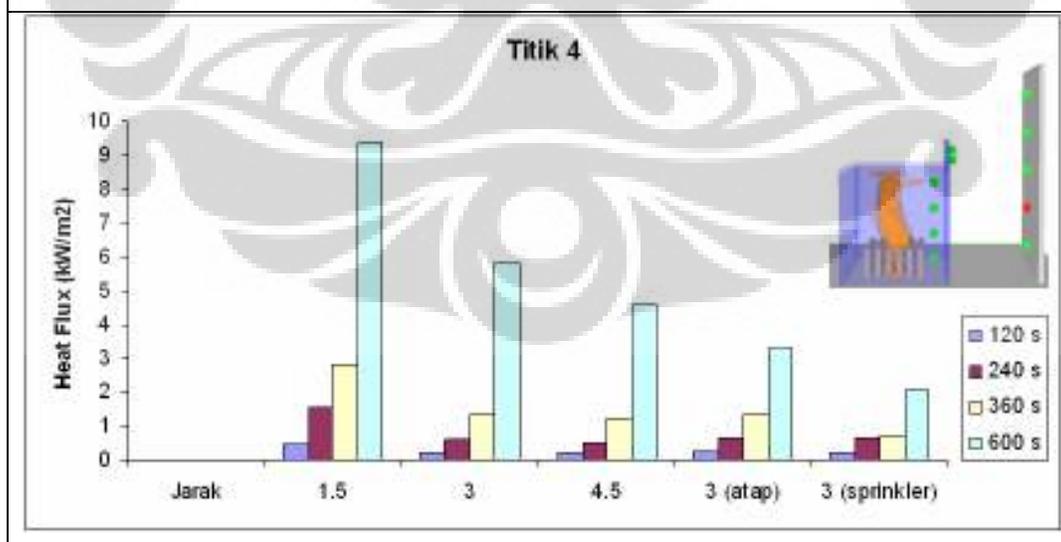
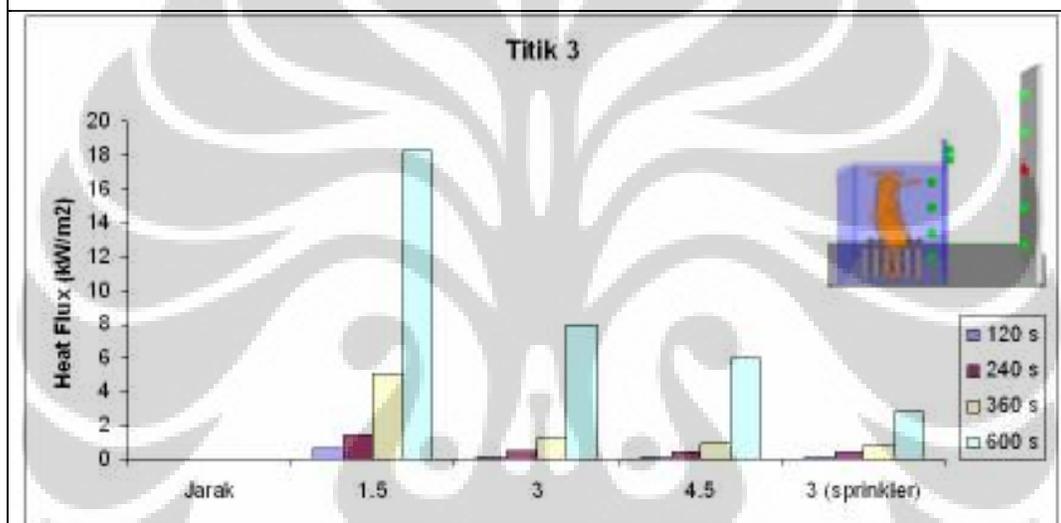
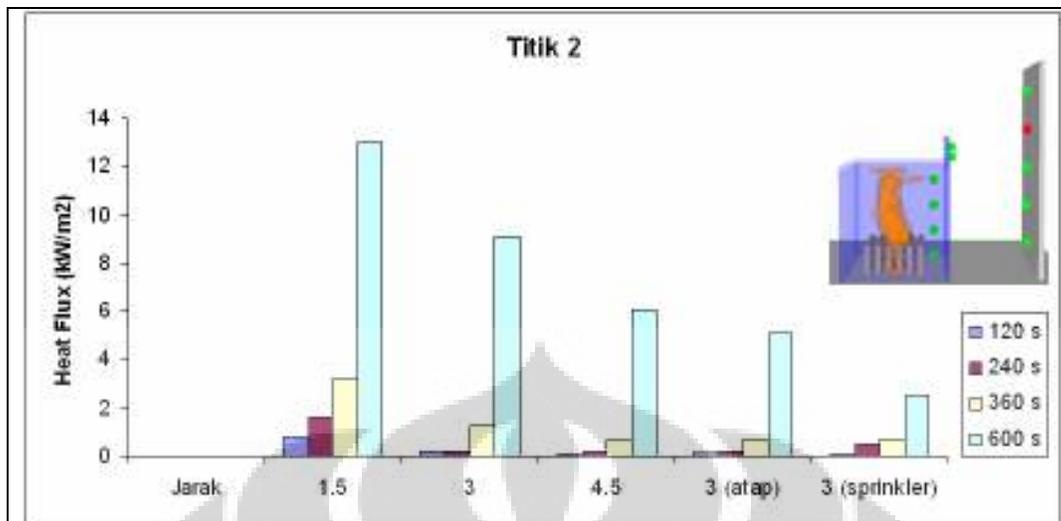
Heat Flux Maksimum Pada Titik

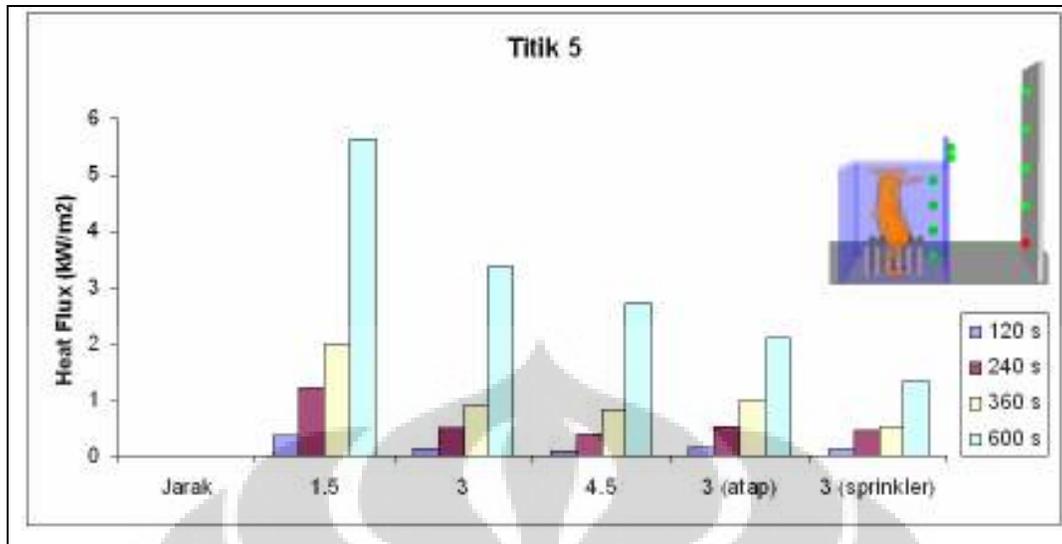


Gambar IV-19 Flux Maximum Pada Skenario 1.5 meter (Eksperimen)

Dari gambar-gambar diatas maka dapat melihat bahwa distribusi heat flux yang terjadi pada keseleruhan simulasi, sementara untuk Untuk perbandingan setiap titik-titik yang berbeda dapat dilihat dari grafik-grafik berikut :







Gambar IV-20 Heat Flux Pada Titik-Titik Target

Gambar IV-17 m

erupakan gambar yang menjelaskan flux yang tercatat pada titik-titik yang terletak pada dinding target pada jenjang waktu 120 detik, 240 detik, 360 detik, dan 600 detik. Dilihat dari gambar bahwa persebaran Heat Flux dominan terjadi pada titik 3 pada percobaan dengan menggunakan skenario 1.5 meter yang mencapai angka 18 kW/m^2 pada menit ke 10, Untuk persebaran pada scenario 3 meter dan 4.5 meter flux terlihat besar pada titik 2 walaupun angka maksimum yang dihasilkan kedua skenario cukup berbeda untuk skenario 3 meter didapat hasil yaitu 9.1 kW/m^2 sedangkan untuk 4.5 meter didapat hasil 6.1 kW/m^2 (keduanya pada menit ke 10). Pada scenario 3 meter dengan atap tercatat flux yang tinggi pada titik 2 tetapi walaupun berjarak sama dengan scenario 3 meter ternyata hasil yang ditunjukkan berbeda flux yang ditunjukkan pada menit ke 10 adalah 5 kW/m^2 , disini dapat dilihat bahwa api tertahan di bagian atap dan dapat dilihat dari tabel perbandingan temperatur bahwa di bagian bawah atap panas lebih berkumpul dibandingkan dengan bagian atas. Pada scenario 3 meter dengan sprinkler dapat dilihat bahwa setelah menit ke 6 sprinkler baru mulai menyala dan memadamkan api yang keluar namun ternyata flux yang diukur pada dinding masih mencapai 2.85 kW/m^2 pada titik 3.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui Penulisan Skripsi ini penulis telah mencoba untuk menganalisa karakteristik dari penyebaran api dimulai dari growth periode hingga mencapai titik kritis dimana dapat membakar bangunan yang ada di sebelahnya. Beberapa Efek telah di teliti dengan hasil seperti di bawah ini :

- a) Material bangunan dan *heat flux* dari sebuah rumah sebagai sumber api memainkan peranan yang penting dalam penyebaran api.
- b) Menyediakan jarak antar rumah yang lebih luas dapat memberikan dampak yang sangat berarti dalam penanganan bencana kebakaran. Karena memperlambat proses penyebaran dan memberikan akses yang lebih layak untuk pemadam kebakaran.
- c) Semakin dekat jarak antar bangunan maka persebaran api akan semakin luas dan target yang terbakar akan lebih dekat dengan origin api, sementara penambahan jarak akan membuat fire plumes menaik dan mengenai posisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan origin api.
- d) Penggunaan atap dapat menahan laju heat flux yang terjadi, sementara untuk dinding yang terletak di bawah atap heat flux yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang diatasnya.
- e) Penggunaan sistem proteksi kebakaran berupa sprinkler dapat menghambat laju pertumbuhan api.

Menurut penulis penelitian ini sangat penting untuk dilanjutkan keaspek yang lebih fundamental seperti pengaruh sudut atap dan kanopi terhadap serapan *heat flux*, dan pengaruh persebaran api di dataran tinggi dan miring, dan proses evakuasi dari kompleks perumahan dengan berbagai variasi untuk dikaji lebih dalam. Selain itu menurut penulis hasil penelitian ini akan memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi lagi jika dilakukan dengan skala yang lebih besar lagi dan sebaiknya bahan bakar pada *compartment* diganti dengan material yang *liquid* karena lebih homogen sehingga *burn rate* lebih stabil antara eksperimen satu dan yang lainnya sehingga pemodelan lebih baik.

DAFTAR ACUAN

- [1] Drysdale, D., An Introduction to Fire Dynamics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] Fire Code Reform Centre. Project 3 Report: Fire Resistance and Non combustibility, 1999, website: www.abcb.gov.au/index.cfm?objectid=02331E39-9609-BA6A-518350A26375EA5B (seen on 20th May 2009).
- [3] Hasofer, A.M., Beck, V.R., and Bennetts, I.D., Risk Analysis in Building Fire Safety Engineering, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Oxford, UK, 2007.
- [4] Himoto, K., Akimoto, Y., Hokugo, A., and Tanaka, T., Risk and Behavior of Fire Spread in a Densely-built Urban Area, Proceeding (Pre-print) of the 9th IAFSS Symposium, Karlsruhe, Germany (2008).
- [5] Himoto K, et all, Modeling Thermal Behaviors of Window Flame Ejected from Fire Compartment, Fire Safety Journal, Elseiver, 2009.
- [6] Liendhard, "A Heat Transfer Text Book", Phogiston Press, 2001.
- [7] McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H., and Rehm, R., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, National Institute of Standards and Technology, USA, 2007.
- [8] Nugroho, YS, Soesanto, and E. Puspirtono, Effect of Sample Orientation and Thickness on Piloted Ignition of Timber, Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Jakarta, 2006.
- [9] Nugroho, YS et all, "Pengembangan Model Penyebaran Api Kebakaran Antar Bangunan sebagai Instrumen Penyusunan Kebijakan Penataan Pemukiman dan Mitigasi Bencana" Riset Unggulan Universitas Indonesia, Jakarta, 2008.
- [10] Quintiere, J. G., Fundamentals of Fire Phenomena, Jhon Wiley & Sons, 2006.
- [11] Quintiere, J. G., "A Theoretical Basis for Flammability Properties", Fire and Materials, 30, 175-214, 2006
- [12] R Harrison (PhD Candidate) and M J Spearpoint, Entrainment Characteristics of the Thermal Spill Plume, University of Canterbury, New Zeland.
- [13] Wang M, et all, Scale Modeling of Compartment Fires for Structural Fire Testing, Jurnal of Fire Protection Engineering, Sage Publication, 2008.
- [14] Dinas Pemadam Kebakaran DKI Jakarta 2008
- [15] Media Indonesia, Edisi Sabtu 1 Desember 2007.

- [16] SNI 03-1733-2004 : “ Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan”
- [17] Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okishii, Theodore., Fundamental of Fluid Dynamics, New York : Wiley, 2006.
- [18] <http://www.nist.gov>





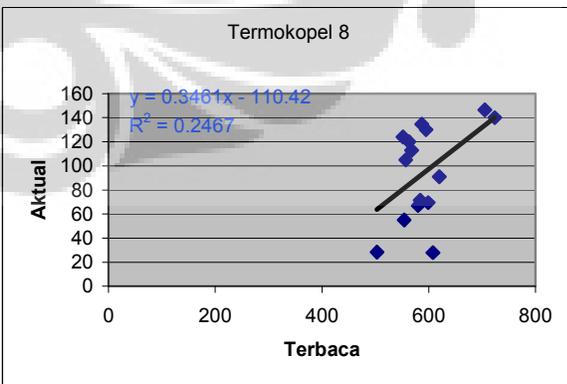
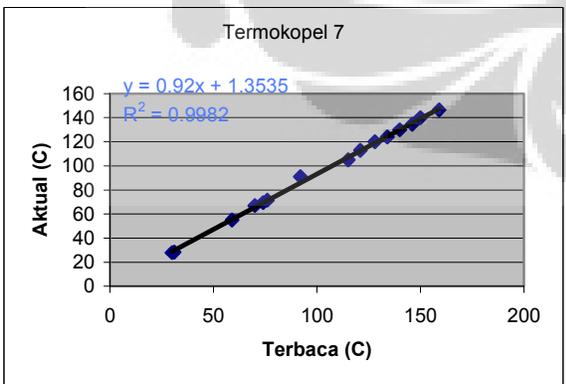
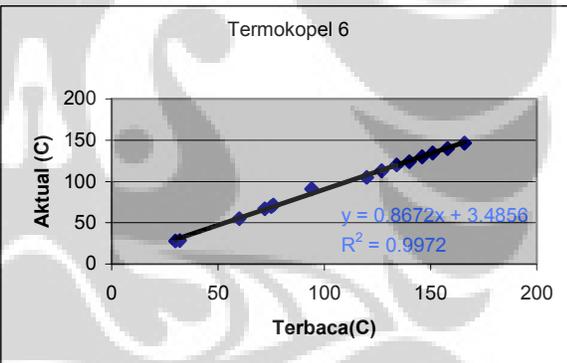
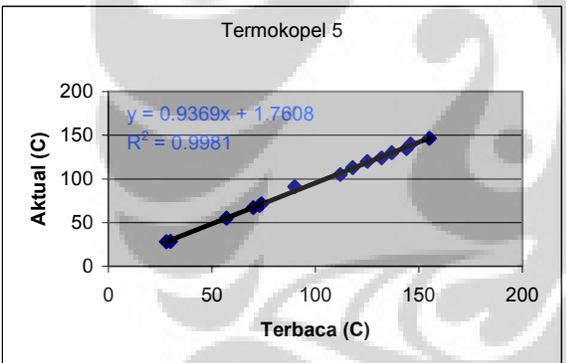
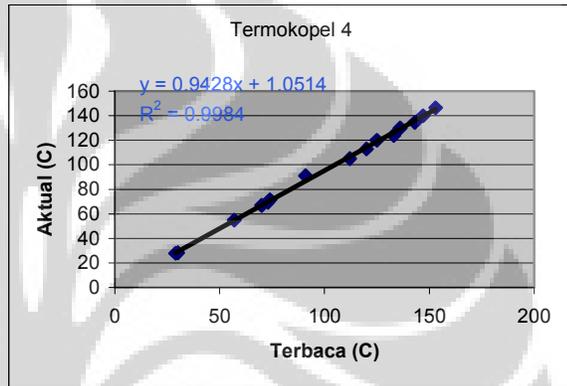
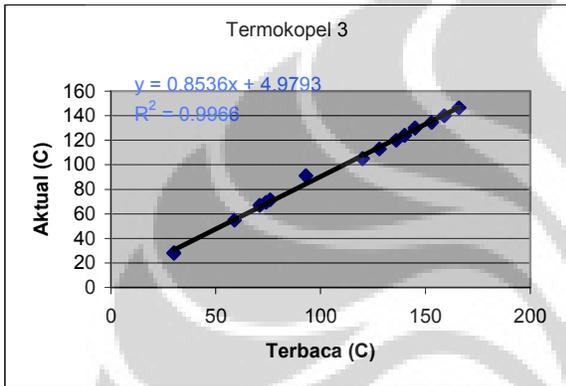
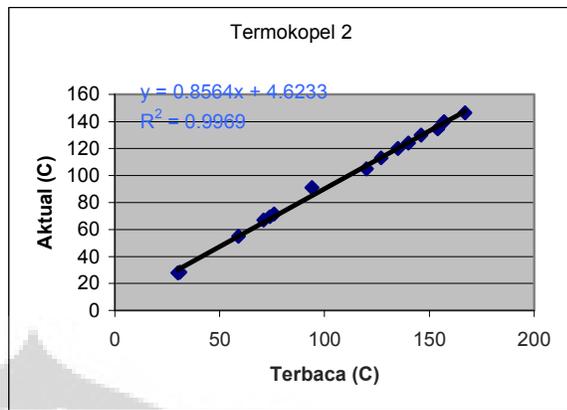
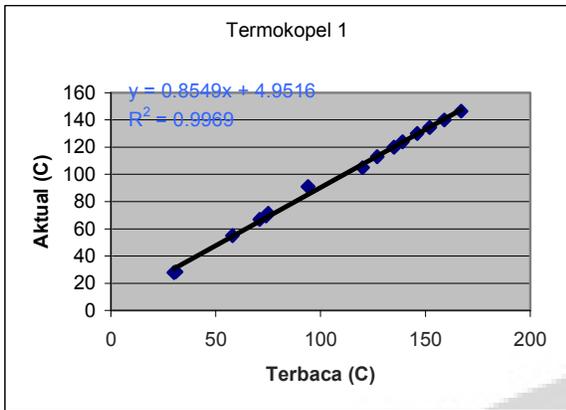
1. Termokopel

a) Termokopel



b) Kalibrasi Termokopel :

No	Standar	TMP1	TMP2	TMP3	TMP4	TMP5	TMP6	TMP7	TMP8
1	27.9	30	30	30	29	28	30	30	608
2	28.4	31	31	30	30	30	32	31	503
3	55	58	59	59	57	57	60	59	554
4	67	71	71	71	70	70	72	70	580
5	69.5	74	74	74	73	73	75	74	599
6	71.5	75	76	76	74	74	76	76	584
7	91	94	94	93	91	90	94	92	620
8	105	120	120	120	112	112	120	115	557
9	113	127	127	128	120	118	127	121	568
10	120	135	135	136	125	125	134	128	563
11	124	139	140	140	133	132	140	134	552
12	130	146	146	145	136	137	146	140	595
13	134.5	152	154	153	143	144	151	146	587
14	140	159	157	159	147	146	158	150	724
15	146.5	167	167	166	153	155	166	159	705



2. Hasil survei



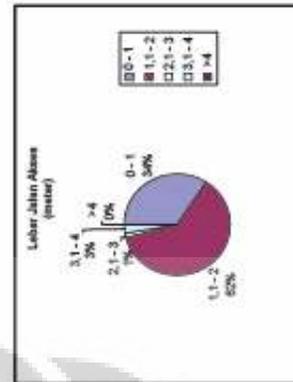
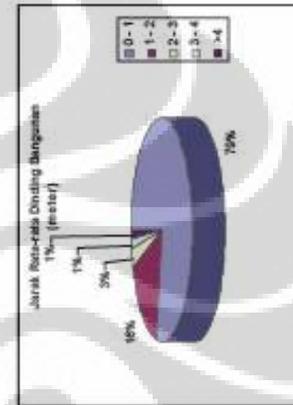
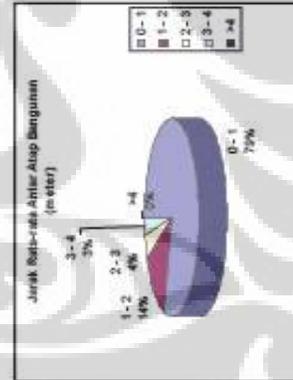
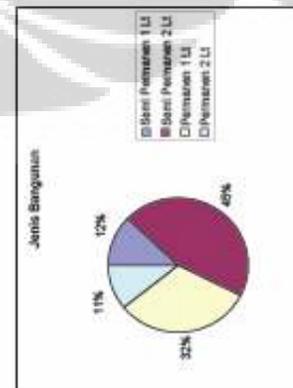
Gambar 1. Pembagian Lokasi 16 Rakun Teranga (RT)



Gambar 2. Distribusi Kapasitas Penduduk



Gambar 3. Rute Jalur Evakuasi



3. *Fire Dynamic Simulator*

