



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH JARAK DAN KETINGGIAN BANGUNAN PADA  
PENYEBARAN API**

**SKRIPSI**

**RIDWAN**

**04 05 02 060 X**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH JARAK DAN KETINGGIAN BANGUNAN PADA  
PENYEBARAN API**

**SKRIPSI**

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

**RIDWAN**

**04 05 02 060 X**


**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI  
DEPOK  
JUNI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **PENGARUH JARAK DAN KETINGGIAN BANGUNAN PADA PENYEBARAN API**

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

Nama : Ridwan  
NPM : 04 05 02 060 X  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 26 Juni 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ridwan

NPM : 04 05 02 060 X

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi :

### **PENGARUH JARAK DAN KETINGGIAN BANGUNAN PADA PENYEBARAN API**

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

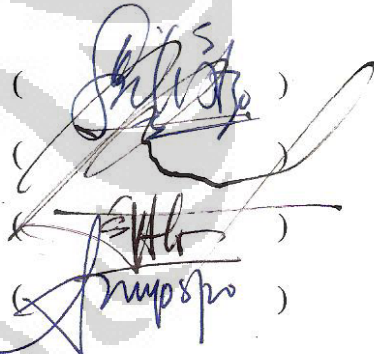
#### **DEWAN PENGUJI**

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

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. I. Made Kartika D., Dipl.Ing

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

Penguji 3 : Dr. Ir. Adi Suryosatyo, M.Eng



(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 9 Juli 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:

### **PENGARUH JARAK DAN KETINGGIAN BANGUNAN PADA PENYEBARAN API**

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

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu yang telah mendidik penulis sejak kecil hingga saat ini. Juga tak lupa pula untuk keluarga besar penulis yang telah menyokong dan memberikan semangat serta membantu kelancaran kuliah penulis.
2. Guru-guru/dosen-dosen penulis yang telah banyak membimbing penulis dalam menjalani karier akademis semenjak TK sampai dengan kuliah S1 reguler di Teknik Mesin Universitas Indonesia.
3. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing skripsi, seluruh dosen teknik mesin dan staf-staf DTM lainnya yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan skripsi ini.
4. Hibah Multi-Disiplin RUUI yang telah bersedia menjadi penyandang dana riset (penelitian ini bagian dari riset “Pengembangan Model Penyebaran Api Kebakaran Antar Bangunan sebagai Instrumen Penyusunan Kebijakan Penataan Pemukiman dan Mitigasi Bencana“).
5. Ketua RW 04 Kel. Kramat Kec. Senen beserta stafnya, 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 survei mengenai penelitian ini.
6. Bapak Johannes Dimyadi yang telah bersedia menyisihkan waktunya untuk membalas *email* saya dan memberi penjelasan tentang FDS.

7. Tim Survei *Fire Spread*: Taufiq S.T, Erlangga A dan Dimas R K yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan data dalam penulisan skripsi ini.
8. Teman-teman Psikologi Universitas Indonesia dan Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan data (survei).
9. Makhadir Muhammad, Imam Taufani, Gilang L dan Andreas P serta rekan-rekan mahasiswa departemen teknik mesin FTUI lainnya yang senantiasa memberikan inspirasi dalam pembuatan laporan ini.
10. Keluarga besar Universitas Indonesia yang senantiasa memberikan semangat dan dukungannya.

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

Penulis juga minta maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak atas kesalahan yang sengaja maupun tidak sengaja selama pelaksanaan survei 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 dimasa yang akan datang.

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

Depok, 26 Juni 2009

Ridwan

NPM 04 05 02 060 X

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

---

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

Nama : Ridwan  
NPM : 04 05 02 060 X  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**PENGARUH JARAK DAN KETINGGIAN BANGUNAN PADA  
PENYEBARAN API**

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

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan



(Ridwan)

## ABSTRAK

Nama : Ridwan

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Jarak dan Ketinggian Bangunan Pada Penyebaran Api

Pada daerah DKI Jakarta dari tahun 2003 – 2007 terjadi peningkatan secara perlahan dalam 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. Untuk mengkaji hal itu dilakukan penelitian ini. Pada penelitian ini, arah penelitiannya difokuskan pada kajian simulasi, eksperimental mengenai pengaruh jarak dan ketinggian bangunan terhadap penyebaran nyala api pada kebakaran antar bangunan di pemukiman penduduk. Pada penelitian ini metode pendekatan dan pengamatan masalah dilakukan dengan pengkajian hasil survei dan simulasi yang dibuat dengan *software* FDS (NIST), sedangkan untuk eksperimen penelitian dilakukan dengan mereduksi skala eksperimen. Dari observasi hasil penelitian ketersediaan jarak dan akses antar bangunan merupakan hal yang penting untuk dikaji dalam penataan pemukiman karena jarak antar bangunan yang cukup akan memberikan kemudahan dalam mitigasi bencana serta yang terpenting pada penyebaran api, jarak yang cukup dapat mengurangi probabilitas bahaya dan resiko. Selain jarak, ketinggian bangunan juga menjadi hal pokok dalam penyebaran api karena keberadaan target yang lebih tinggi pada jarak yang sama akan memberikan dampak probabilitas resiko yang tinggi untuk rasio yang relatif kecil pada lebar jarak antar bangunan terhadap besar jangkauan *plumes*. Selain itu aspek diatas juga dapat memberikan dampak kepada waktu yang tersedia untuk menyelamatkan diri (*life threatening time*).

*Keyword:*

*Penyebaran api, Fire plumes, Heat fluks kritis, Heat radiation, Ignition source, Fire modeling*

## ABSTRACT

Name : Ridwan

Study Programe : Mechanical Engineering

Title : Effect of Building to Building Separation and Building Height  
at Fire Spread

Fire accident in DKI Jakarta from 2003 until 2007 happened increase slowly on personal building fire case and from 2003 until 2008 amount of fundamental percentage object burnt at fire accident in DKI Jakarta for the building of personal occupy the biggest portion reach 45 % from totalizing case. For that we do this research. In this research, we focus at study of computer simulation and laboratory experimental about effect of building separation and height to fire spreading between houses on urban area. The method use for research is evaluation survey result, computer simulation and reduced-scale experiment analisis. From this result of research, availability separation and access between building represent the important matter to be studied in settlement, because enough distance between building will give the amenity in all important mitigation disaster and also at fire spreading, enough building separation can lessen the probability of danger and risk. Besides distance, building height also become the fundamental matter in fire spreading, because higher target existence at same distance will give the high risk probability impact for the ratio of which small relatively at wide apart between building to fire plumes reach. Beside that, aspect above also can give the impact to time which is available to saving occupy life (life threatening time)

*Keyword:*

*Fire spread, Fire plumes, Critical heat flux, Heat radiation, Ignition source, Fire modeling*

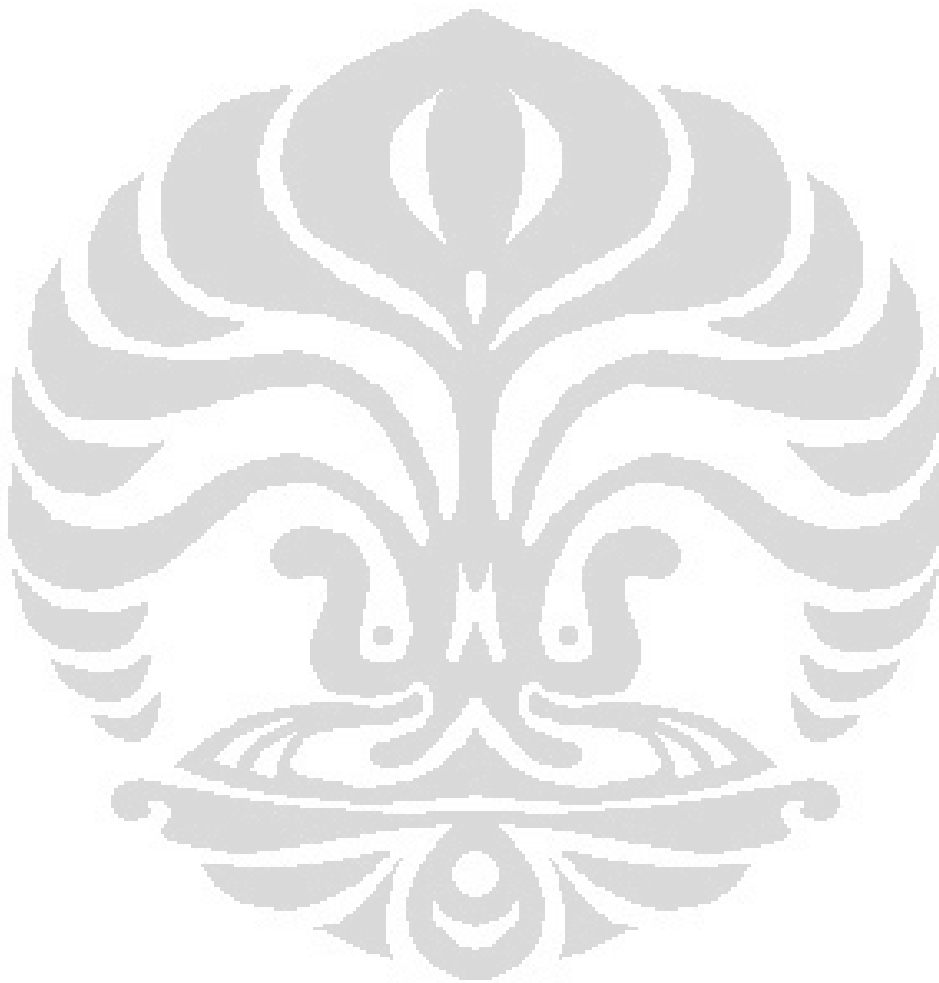
## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR ISTILAH / SIMBOL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penulisan.....	9
I.3 Batasan Masalah.....	9
I.4 Metodologi Penelitian.....	10
I.5 Sistematika Penulisan.....	12
BAB II DASAR TEORI.....	14
II.1 Karakteristik Perpindahan Api dari Bangunan ke Bangunan.....	14
II.2 Pemodelan Pergerakan Api dan Asap.....	16
II.3 Analisis Dimensional Dan Kekerupaan.....	21
II.4 Deskripsi Bangunan.....	25
BAB III PEMODELAN dan EKSPERIMENTAL.....	29
III.1 Computer Modeling.....	29
III.2 Eksperimental.....	35
BAB IV HASIL dan ANALISA.....	49
IV.1 Pola Penyebaran.....	49
IV.2 Heat Flux dan Temperature.....	54
BAB V KESIMPULAN dan SARAN.....	70
DAFTAR ACUAN.....	71
LAMPIRAN.....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1. Frekuensi peristiwa kebakaran DKI Jakarta. [14] .....	1
Gambar I-2. Pokok benda terbakar kebakaran DKI Jakarta 2003 – 2008. [14].....	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 .....	11
Gambar II-1. Faktor penyebab perpindahan api pada kebakaran antar bangunan. [4].....	14
Gambar II-2. Efek dari wind-blown fire plumes pada penyebaran api. [4].....	16
Gambar II-3. Alur kerja Fire Dynamic Simulator (FDS) dan companion programnya. [7].....	19
Gambar III-1. Contoh mesh pada simulasi untuk sekenario 2 .....	31
Gambar III-2. Layout sekenario pemodelan .....	33
Gambar III-3. Layout sekenario tampak samping .....	33
Gambar III-4. Pemodelan compartment fire [16] .....	37
Gambar III-5. Heat loss melalui dinding compartment [16].....	38
Gambar III-6. Layout alat pada eksperimen .....	42
Gambar III-7. konfigurasi susunan wood cribs.....	43
Gambar III-8. Maket rumah bertingkat dua dan bertingkat satu.....	44
Gambar III-9. Perangkat pengambil data.....	45
Gambar III-10. Konfigurasi susunan termokopel .....	46
Gambar IV-1. Pola pergerakan api dan asap pada fire origin.....	50
Gambar IV-2. Karakteristik dari fire plumes. [12] .....	52
Gambar IV-3. Pola pergerakan api dan asap antar rumah, atas) fire origin ke rumah berlantai satu dan bawah) dari fire origin ke rumah berlantai dua.....	53
Gambar IV-4. Nilai critical heat flux untu piloted ignition. [8].....	55
Gambar IV-5. Heat flux pada kanopi A) sekenario 1, B) sekenario 2 dan C) sekenario 3. ....	57
Gambar IV-6. Metode pendekatan radiasi yang diterima objek [13] .....	58
Gambar IV-7. Pendekatan Shokri dan Beyler penjelasanya .....	59
Gambar IV-8. Pengaruh jarak terhadap heat flux yang diterima dinding rumah target.....	60
Gambar IV-9. Pengaruh jarak terhadap temperature dinding target A) Simulasi B) Eksperimen.....	61
Gambar IV-10. Karakter api dan plumes pada proses pembakaran A) area terbuka B) compartment [10].....	64

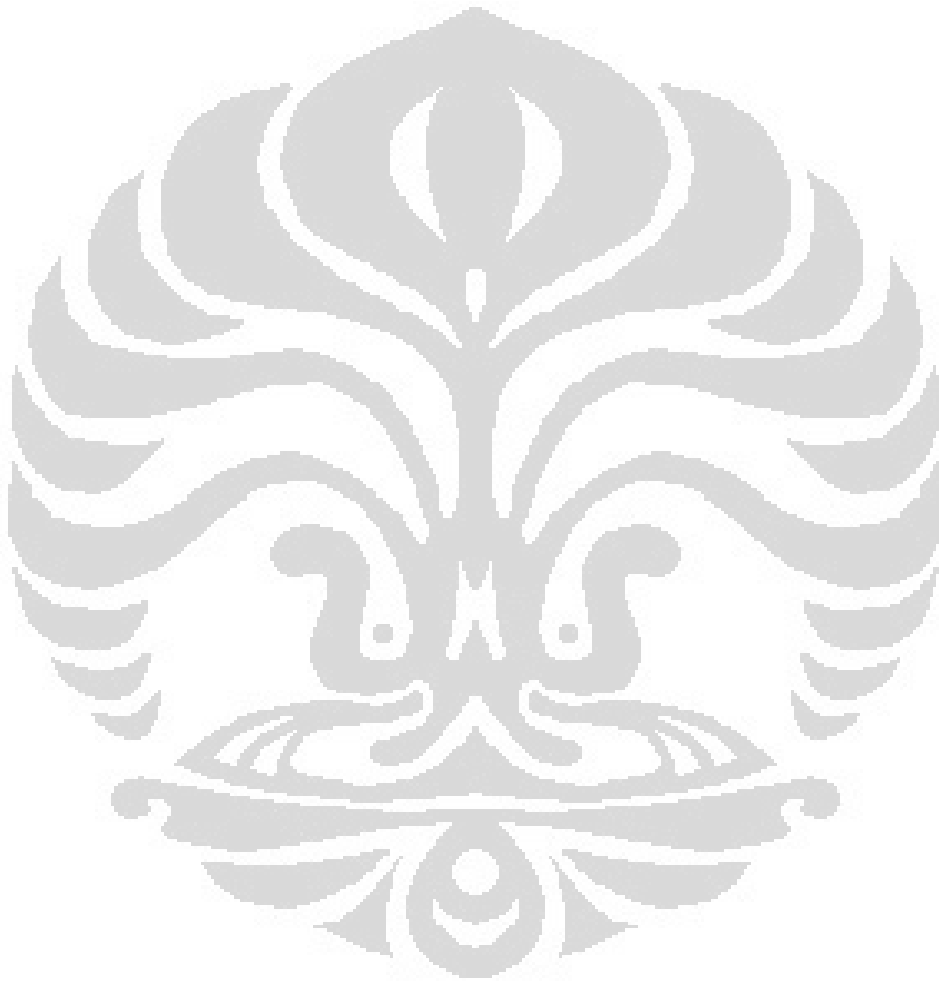
Gambar IV-11. Karakter plumes yang keluar dari jendela pada compartment fire A) Himoto [5] B) Hasil Simulasi C) Eksperimrn .....	65
Gambar IV-12. Profil distribusi temperature plumes A) Di area Terbuka B) Pada jendela .....	66
Gambar IV-13. Profile kecepatan plumes A) simulasi tipe 1 B) simulasi tipe 2..	67
Gambar IV-14. Profile distribusi temperature pada dinding target untuk simulasi dan eksperimen dengan jarak bangunan A) 1.5m B) 3m C)4.5m....	68
Gambar IV-15. Pengaruh jarak dan penambahan ketinggian pada waktu mencapai heat flux kritis yang diterima dinding target.....	69





## DAFTAR TABEL

Tabel I-1. Klasifikasi jalan di lingkungan perumahan. [16] .....	6
Tabel I-2. Cara penanggulangan bencana kebakaran. [9].....	7
Tabel III-1. Summary ukuran mesh pada setiap sekenario.....	31
Tabel III-2. Material properties.....	34
Tabel III-3. Material furniture dan ukuranya .....	35
Tabel III-4. Relasi yang menghubungkan parameter full scale dan reduced-scale	41
Tabel III-5. Material properties dari bahan-bahan eksperimen.....	41



## DAFTAR LAMPIRAN

(A) Gambar hasil Simulasi .....	A-1
1. Heat flux yang diterima oleh dinding rumah target .....	A-1
2. Pengaruh jarak bangunan terhadap heat flux yang diterima dinding target.....	A-3
3. Pengaruh jarak bangunan terhadap profile temperatur dinding target.....	A-4
4. Pengaruh ketinggian bangunan target terhadap profile temperature dinding target.....	A-5
5. Profile kecepatan plumes yang keluar dari asal api (fire origin) .....	A-7
6. Profile dari heat flux pada plumes fire origin .....	A-10
(B) Gambar eksperimen dan hasil eksperimen.....	B-1
1. Layout maket : .....	B-1
2. Termokopel:.....	B-2
3. Profile temperature pada dinding rumah target.....	B-4
4. Foto-foto eksperimen .....	B-6
(C) Gambar survei dan hasil survei.....	C-1
1. Tipe-tipe gang pada pemukiman.....	C-1
2. Hasil survei .....	C-2

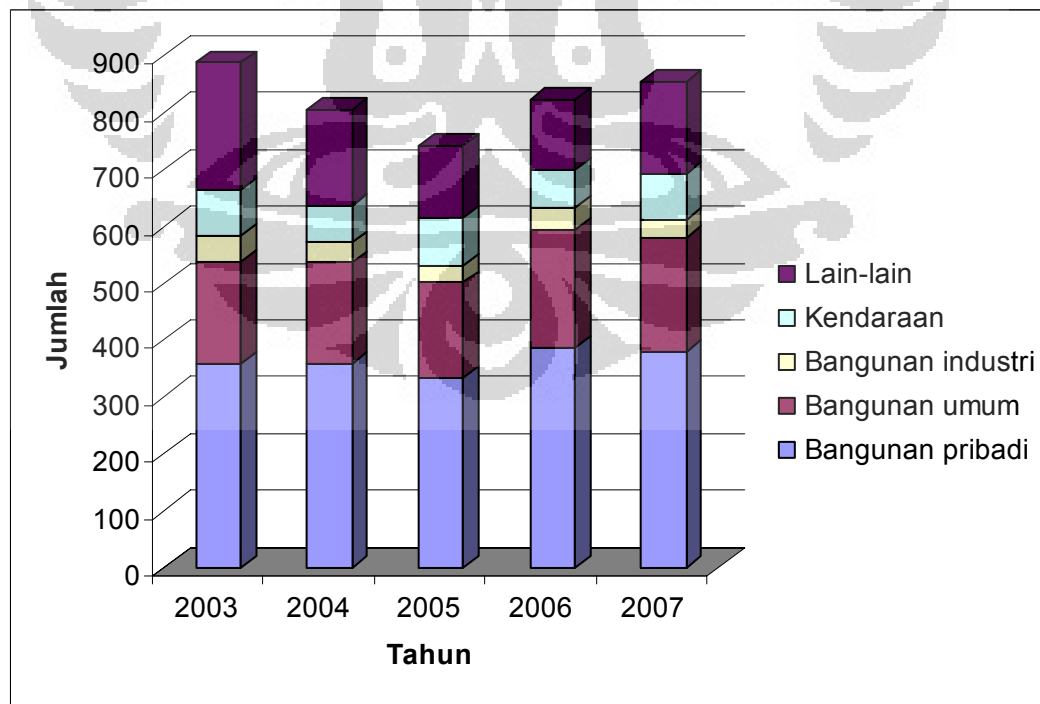
## DAFTAR ISTILAH / SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Dimensi</b>
$A$	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	$(m/s^2)$
$\sigma$	Konstanta Steafan Boltzmant	$(W/m^2K^4)$
$T$	Temperature	$(C \text{ atau } K)$
$V$	Volume	$(m^3)$
$\varepsilon$	Emisifitas	
$\varepsilon_g$	Emisifitas gas	
$\rho$	Densitas	$(kg/m^3)$
$\kappa$	Koefesien absorpsi radiasi	
$\delta$	Ketebalan	$(m)$
$\Pi$	Bilangan tak berdimensi	
<b>Simbol lain</b>		
$\dot{\square}$	per satuan waktu	
$\square''$	per satuan area	
$\square_\infty$	Komponen ambient	
$\square_R$	Komponen radiasi	
$\square_w$	Komponen dinding (wall)	

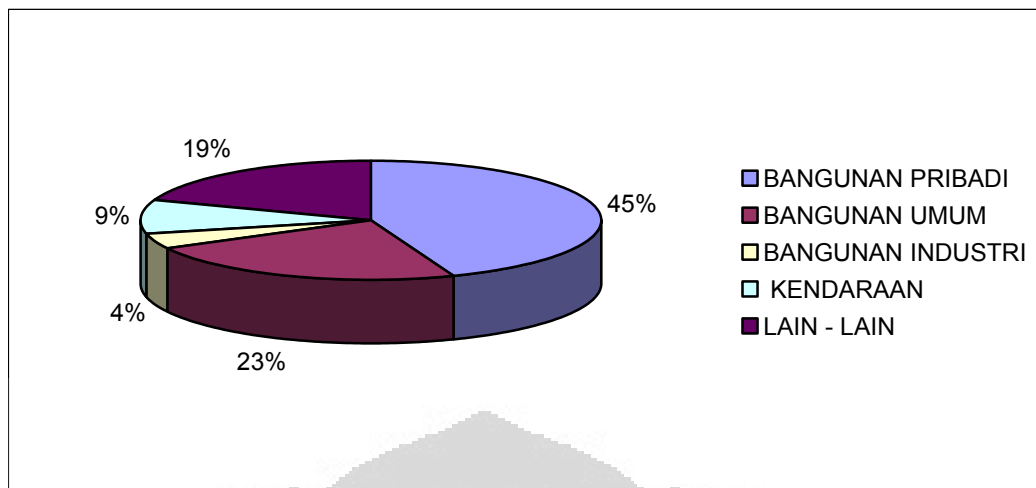
# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Banyaknya kebakaran yang terjadi belakangan ini melanda pemukiman padat penduduk. Sepanjang tahun 2007 (hingga 30 Nopember 2007) telah terjadi 798 kasus kebakaran, dengan kerugian tidak kurang dari Rp. 250 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. [14]



Gambar I-1. Frekuensi peristiwa kebakaran DKI Jakarta. [14]



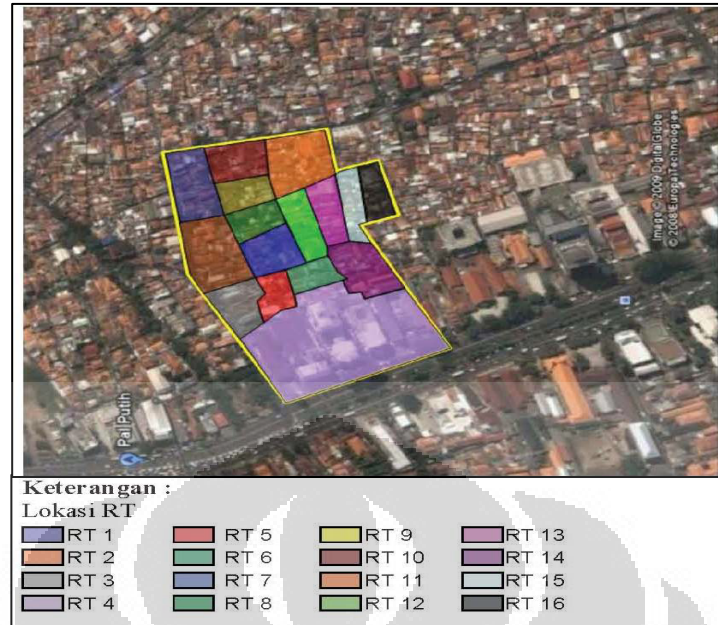
**Gambar I-2. Pokok benda terbakar kebakaran DKI Jakarta 2003 – 2008. [14]**

Penyebab kebakaran umumnya karena ketidaksengajaan (kecerobohan manusia). Sedangkan padatnya bangunan membuat kebakaran cepat menjalar dari sumber api ke bangunan lain. Selain itu padatnya bangunan membuat sulitnya memadamkan api dikarenakan mobil pemadam kebakaran kesulitan mendekati lokasi kebakaran. Pada saat terjadi kebakaran ada 4 hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan bahaya api yaitu : penghuni bangunan (manusia), isi bangunan (harta), srtuktur bangunan, dan bangunan yang letaknya bersebelahan. Tiga hal yang pertama berkaitan dengan bahaya api yang ada pada bangunan yang terbakar, sedangkan hal yang terakhir merupakan pertimbangan bagi bangunan lainnya dan lingkungan komunitas secara menyeluruh. Bahaya utama bagi manusia adalah keracunan akibat terhirupnya asap (*non thermal*), asap akan menyebabkan orang sulit melihat dan mengaburkan pertimbangan akan tindakan yang ingin dilakukan, menghalangi pandangan untuk mencapai jalan keluar dan penyebaran asap ini meliputi wilayah yang cukup luas dan jauh dari sumber api.

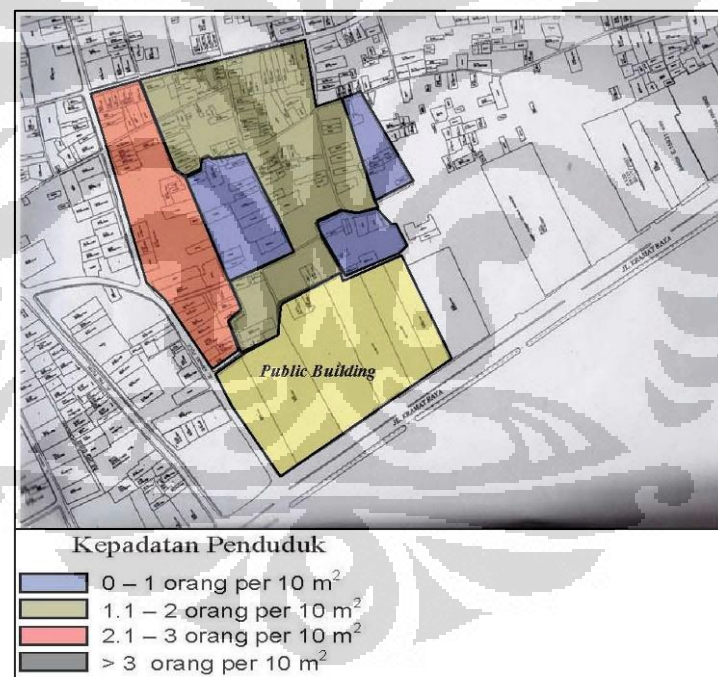
Disisi lain pembangunan perumahan wilayah perkotaan di Indonesia pada saat ini tumbuh sangat cepat. Semakin mahalnya harga lahan di wilayah perkotaan mengakibatkan rasio luas lahan dengan bangunan menjadi semakin kecil. Di jakarta banyak sekali dijumpai dalam pemukiman rumah yang satu menempel dengan yang lain. 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 tim survei melakukan observasi langsung ke lapangan. Survei ini dilakukan di dua lokasi yang berbeda yang meliputi 4 rukun warga (Rw), pada skripsi ini penulis hanya menyampaikan hasil survei di salah satu lokasi saja. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan penulis dan tim survei terhadap wilayah pemukiman padat di DKI Jakarta yaitu daerah Keramat Pulo Rw 04 Jakarta pusat. Wilayah ini dibagi menjadi 16 rukun tetangga dan dari salah satu rukun tetangga (RT) berisikan bangunan publik (RT 04). RW 04 daerah Keramat 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 kita lihat 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 survei sebagian besar lokasi di wilayah ini memiliki kepadatan lebih dari 1jiwa/10m<sup>2</sup> atau setara dengan 1000 jiwa per hektar. Jika kita bandingkan 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**

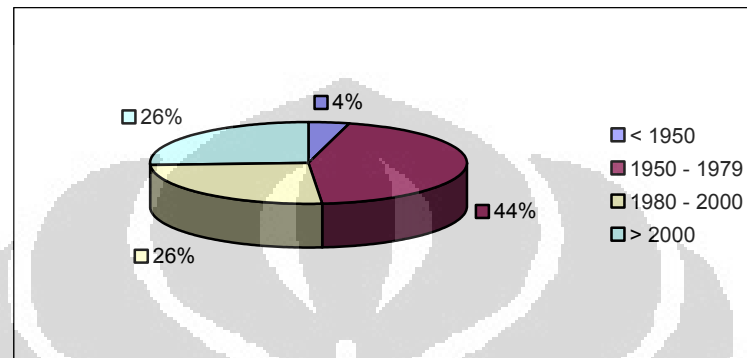


**Gambar I-4. Distribusi kepadatan penduduk**

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 kita



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-7, I-8 dan Tabel I-1 di bawah ini.

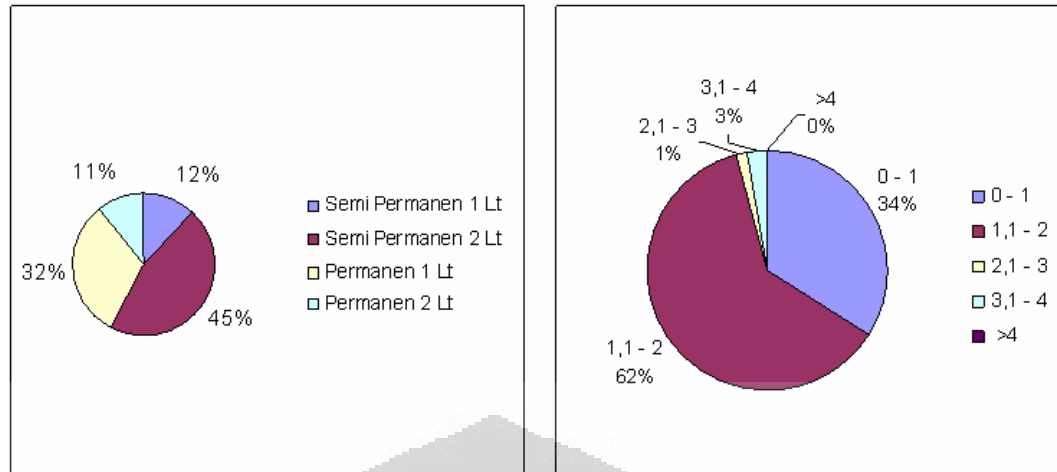


Gambar I-5. Klasifikasi rumah berdasarkan tahun kepemilikan

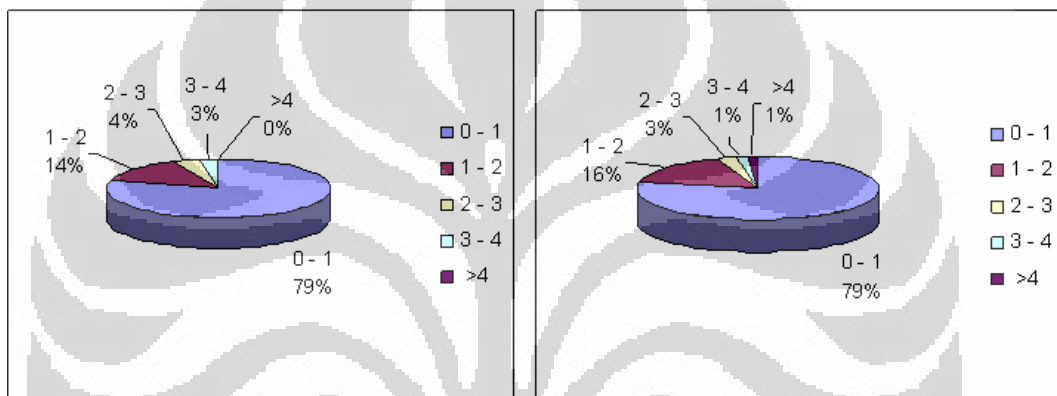


Gambar I-6. Tipe jalan . A) Lebar gang  $\pm$  4 meter, B) Lebar gang  $\pm$  1 meter





Gambar I-7. Data jenis bangunan (kiri) dan lebar jalan akses (kanan)



Gambar I-8. Data jarak antar atap (kiri) dan jarak antar dinding (kanan)

Tabel I-1. Klasifikasi jalan di lingkungan perumahan. [16]

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)	Damaja (m)	Damija (m)	Dawasja Min. (m)		
Lokal Sekunder I	3.0-7.0 (mobil-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 (mobil-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 (mobil-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

Tabel I-2. Cara penanggulangan bencana kebakaran. [9]

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

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

## ***1.2 Tujuan Penulisan***

penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Diperolehnya hasil simulasi komputer dan eksperimen berupa pola penyebaran nyala api antar bangunan sebagai fungsi dari material bangunan, tinggi bangunan dan jarak antar bangunan.
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

## ***1.3 Batasan Masalah***

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

1. Pengaruh jarak antar bangunan terhadap penyebaran nyala api.
2. Pengaruh ketinggian bangunan terhadap penyebaran nyala api.

### ***1.4 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.

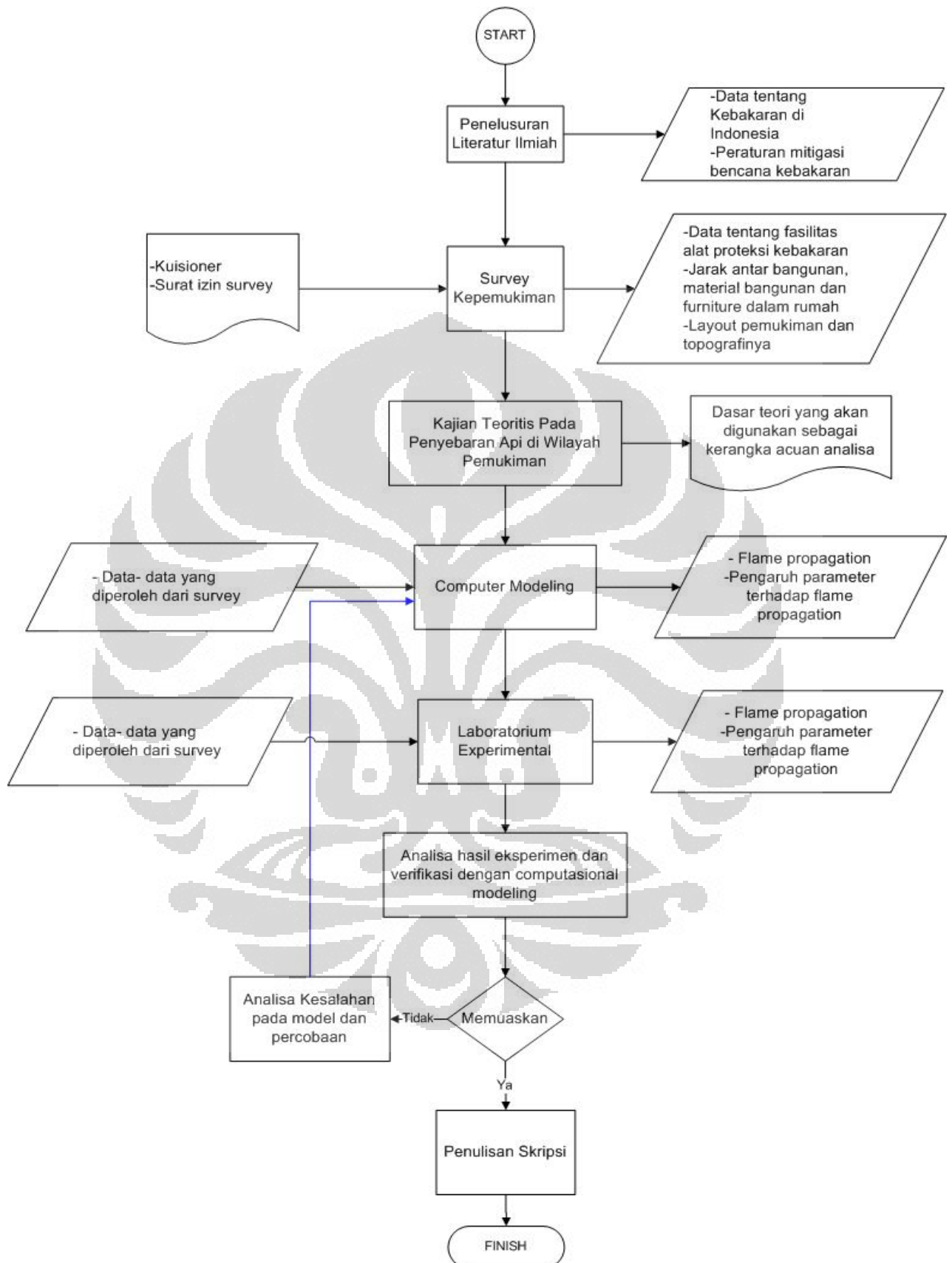
4. Melakukan eksperimen

- 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

### ***1.5 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**

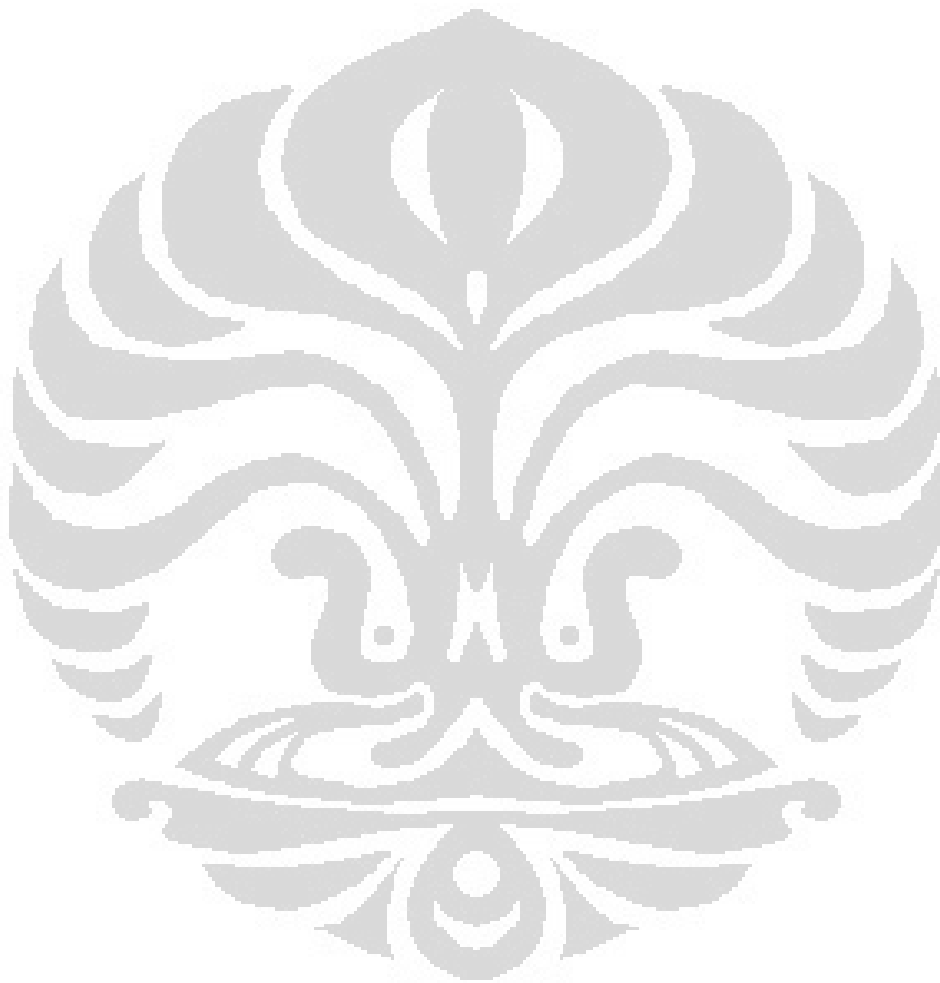
Bab ini berisikan semua yang terkait dengan computer modeling terhadap kasus ini yang berisikan penjelasan mengenai skenario pemodelan, meliputi *input file* tentang geometri, *vent*, material *properties* dan *ignition fire*. Selain itu juga berisi tentang penjelasan alat-alat eksperimen yang digunakan 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.





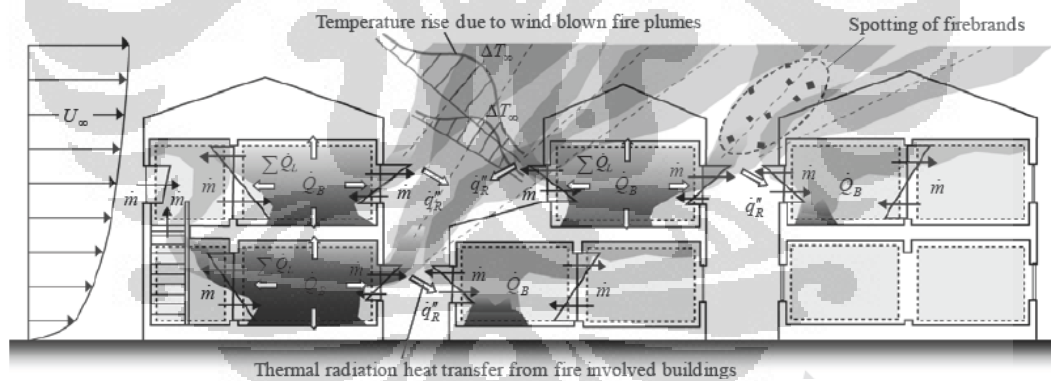
## BAB II DASAR TEORI

### 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 kita tidak mengkaji *firebrands* sebagai salah satu unsur penyebab penyebaran kebakaran.



Gambar II-1. Faktor penyebab perpindahan api pada kebakaran antar bangunan. [4]

#### II.1.1 Radiasi Termal dari Api Terhadap Bangunan

Pada kasus ini, kita mengasumsikan 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 di bawah ini:

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

Dengan  $\varepsilon$  adalah emisivitas,  $\chi_R$  adalah fraksi dari radiasi *heat lose* terhadap total *heat release* dan  $\theta$  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 di luar *compartement*. Pada bangunan pemukiman padat penduduk konfigurasi bangunannya sangat kompleks, 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*. Kita mengasumsikan bahwa efek dari difusi oleh angin tidak terjadi dan temperatur naik sepanjang lintasan  $\Delta T_m$  pada kebakaran bangunan ini sama halnya dengan pemanasan suatu titik pada *atmosphere* yang diam. Distribusi temperatur dari *fire plume* tegak lurus dengan lintasannya  $\Delta T(r)$  dan diasumsikan mengikuti gaussian model, terlihat seperti Gambar II-2.

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

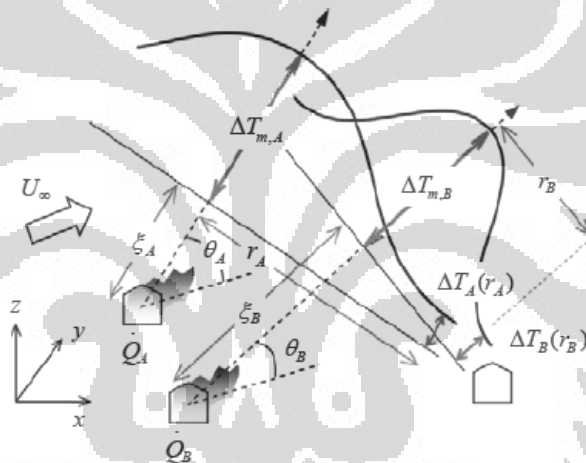
Dengan  $b_r$  adalah setengah dari lebar dan  $r$  merupakan jarak radial. Untuk menyederhanakan, angin diasumsikan kencang sehingga profil dari angin tidak dipengaruhi oleh *fire plume*. Dengan jarak radial  $r$  merupakan jarak terdekat dari bangunan yang menjadi target, nilai dari sudut inklinasi  $\theta$  dari *fire plume* dibutuhkan untuk menghitung nilai  $r$ . Sudut inklinasi  $\theta$  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  $\Omega^*$  adalah kecepatan angin yang tak berdimensi,  $U_\infty$  adalah kecepatan angin,  $\dot{Q}$  merupakan *heat release rate* per unit panjang *heat source*,  $g$  adalah percepatan gravitasi dan  $T_\infty$  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. [4]

## II.2 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 kevalidan 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.2.1 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.2.2 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.

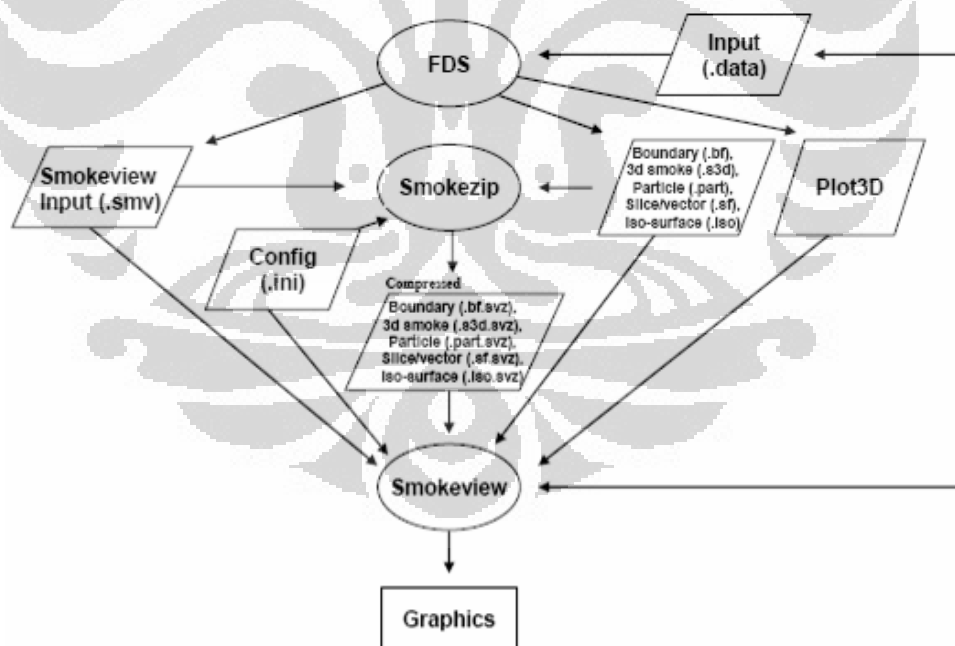
Model khusus untuk simulasi aktivasi *detector* dan *suppression device* pada saat ini telah dikembangkan. Hasil dari *zone model* akan mengasumsikan beberapa temperature rata - rata untuk *upper part* dari ruang tertutup dan tidak menggambarkan secara akurat kondisi *device* / peralatan yang ada di 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.2.3 Fire Dynamic Simulator ( FDS )

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



Gambar II-3. Alur kerja Fire Dynamic Simulator (FDS) dan companion programnya. [7]

Untuk lebih memahami kejadian atau pemodelan menggunakan FDS terlebih dahulu kita harus memahami *governing equations*, *assumptions* dan *numerics* serta *limitation* yang berlaku pada pemodelan ini. *Hydrodynamic model*

FDS menyelesaikan secara numerik dari persamaan Navier-Stokes yang diperuntukan untuk *low speed, thermally-driven flow* pada perpindahan asap dan panas dari api. Inti dari algoritma ini merupakan suatu bentuk eksplisit dari *predictor – corrector* dari kejadian yang akurat secara *space* dan waktu. Pada pendekatan turbulensinya digunakan *Large Eddy Simulation* dan dimungkinkan untuk menampilkan *Direct Numerical Simulation* jika *grid* cukup baik.

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

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

Pada pemodelan menggunakan FDS terdapat beberapa batasan, diantaranya adalah:

1. Pemodelan digunakan untuk *low speed flow*.
2. Pada Pemodelan FDS dianjurkan menggunakan *rectilinear geometri* untuk mendapatkan hasil yang baik.
3. 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.3 Analisis Dimensional Dan Keserupaan***

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 kita 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.3.1 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 variabel”

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 orisinil  $k$ , dimana  $r$  ditentukan oleh jumlah minimum dimensi rujukan yang diperlukan untuk menjelaskan daftar orisinil 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 berdimansi

8. Nyatakan bentuk akhirnya sebagai hubungan antar bentuk pi dan carilah arti dari bentuk tersebut.

### II.3.2 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 :

$$\hat{u} = u/u_\infty, \quad \hat{v} = v/v_\infty$$

$$\hat{x} = x/l, \quad \hat{y} = y/l$$

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.3.3 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,

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

### II.3.4 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  $\Pi_1$  berisikan variabel yang diperkirakan didapat dari pengamatan pada model. Oleh karena itu jika model dirancang dan dioperasikan pada kondisi

$$\Pi_{2m} = \Pi_2, \Pi_{3m} = \Pi_3, \dots, \Pi_{nm} = \Pi_n \quad (2.13)$$

maka dengan asumsi awal bahwa bentuk  $\Phi$  akan sama untuk model dan prototipe, kita akan memperoleh

$$\Pi_1 = \Pi_{1m} \quad (2.14)$$

Persamaan diatas adalah persamaan perkiraan yang diinginkan dan mengindikasikan bahwa pengukuran harga  $\Pi_{1m}$  yang diperoleh melalui model akan sama dengan  $\Pi_1$  yang sesuai dengan prototipe, selama bentuk pi yang lain sama. Kondisi yang ditetapkan dari persamaan-persamaan diatas melengkapi kondisi rancangan model, juga disebut syarat keserupaan atau hukum model.

#### ***II.4 Deskripsi Bangunan***

Bangunan gedung adalah bangunan yang didirikan dan atau diletakkan dalam suatu lingkungan sebagian atau seluruhnya pada, di atas, atau di dalam tanah dan atau perairan secara tetap yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya (kepmen no.10/KPTS/2000). Berdasarkan definisi bangunan di atas, maka bangunan dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan fungsinya sebagai berikut :

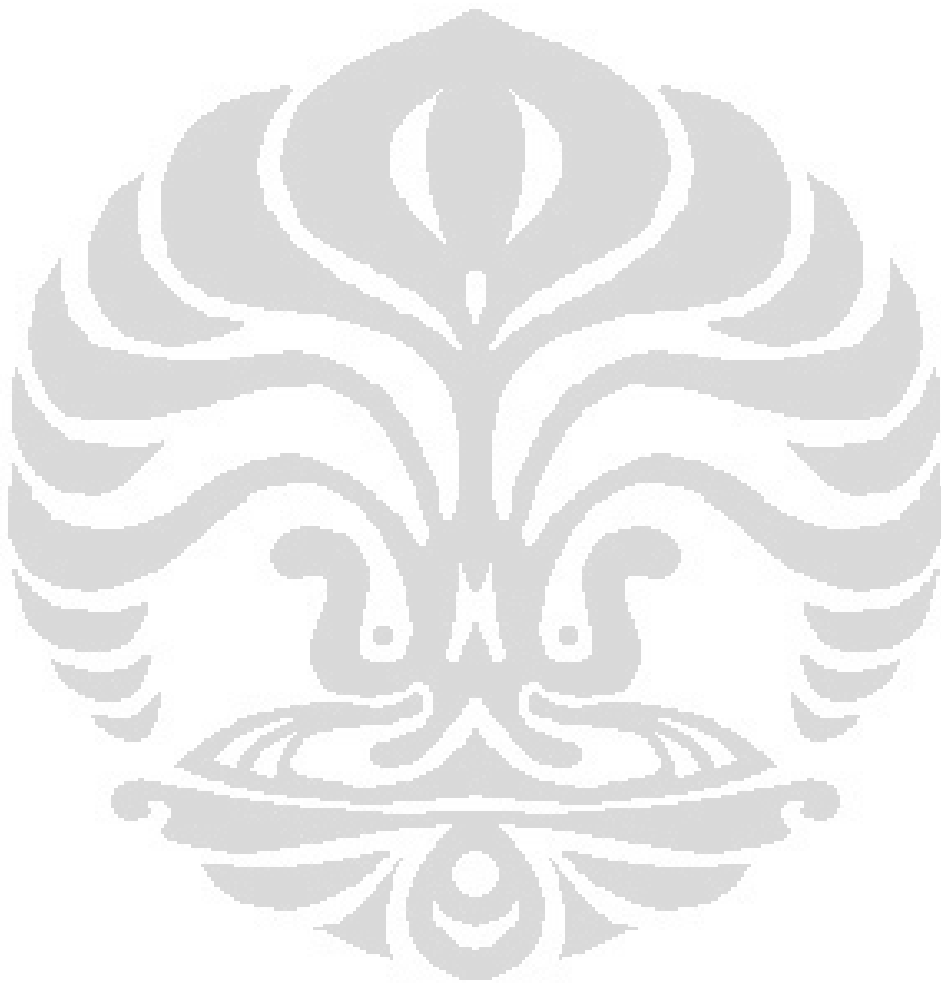
- a. Kelas 1: Bangunan Hunian Biasa, adalah satu atau lebih bangunan yang merupakan:
  - i. Kelas 1a : bangunan hunian tunggal yang berupa:
    - a) Satu rumah tunggal.
    - b) Satu atau lebih bangunan hunian gandeng, yang masing-masing bangunannya dipisahkan dengan suatu dinding tahan api, termasuk rumah deret, rumah taman, unit town house, villa.
  - ii. Kelas 1b : rumah Asrama/kost, rumah tamu, hotel, atau sejenis-nya dengan luas total lantai kurang dari 300 m<sup>2</sup> dan tidak ditinggali lebih dari 12 orang secara tetap, dan tidak terletak di atas atau di bawah bangunan hunian lain atau bangunan kelas lain selain tempat garasi pribadi.

- b. Kelas 2: Bangunan hunian yang terdiri atas 2 atau lebih unit hunian yang masing-masing merupakan tempat tinggal terpisah.
- c. Kelas 3: Bangunan hunian di luar bangunan kelas 1 atau 2, yang umum digunakan sebagai tempat tinggal lama atau sementara oleh sejumlah orang yang tidak berhubungan, termasuk:
  - i. Rumah Asrama, rumah tamu, losmen; atau
  - ii. Bagian untuk tempat tinggal dari suatu hotel atau motel; atau
  - iii. Bagian untuk tempat tinggal dari suatu sekolah; atau
  - iv. Panti untuk orang berumur, cacat, atau anak-anak; atau
  - v. Bagian untuk tempat tinggal dari suatu bangunan perawatan kesehatan yang menampung karyawan-karyawannya.
- d. Kelas 4 : Bangunan Hunian Campuran, adalah tempat tinggal yang berada di dalam suatu bangunan kelas 5, 6, 7, 8, atau 9 dan merupakan tempat tinggal yang ada dalam bangunan tersebut.
- e. Kelas 5: Bangunan Kantor, adalah bangunan gedung yang dipergunakan untuk tujuan-tujuan usaha profesional, pengurusan administrasi, atau usaha komersial, di luar bangunan kelas 6, 7, 8, atau 9.
- f. Kelas 6: Bangunan Perdagangan, adalah bangunan toko atau bangunan lain yang dipergunakan untuk tempat penjualan barang-barang secara eceran atau pelayanan kebutuhan langsung kepada masyarakat, termasuk:
  - i. ruang makan, kafe, restoran
  - ii. ruang makan malam, bar, toko atau kios sebagai bagian dari suatu hotel atau motel
  - iii. tempat potong rambut/salon, tempat cuci umum
  - iv. pasar, ruang penjualan, ruang pameran, atau bengkel
- g. Kelas 7: Bangunan Penyimpanan/Gudang, adalah bangunan gedung yang dipergunakan penyimpanan, termasuk:
  - i. tempat parkir umum
  - ii. gudang, atau tempat pameran barang-barang produksi untuk dijual atau cuci gudang
- h. Kelas 8: Bangunan Laboratorium/Industri/Pabrik, adalah bangunan gedung laboratorium dan bangunan yang dipergunakan untuk tempat pemrosesan

suatu produksi, perakitan, perubahan, perbaikan, pengepakan, finishing, atau pembersihan barang-barang produksi dalam rangka perdagangan atau penjualan.

- i. Kelas 9: Bangunan Umum, adalah bangunan gedung yang dipergunakan untuk melayani kebutuhan masyarakat umum, yaitu:
  - i. Kelas 9a: bangunan perawatan kesehatan, termasuk bagian-bagian dari bangunan tersebut yang berupa laboratorium
  - ii. Kelas 9b: bangunan pertemuan, termasuk bengkel kerja, laboratorium atau sejenisnya di sekolah dasar atau sekolah lanjutan, hall, bangunan peribadatan, bangunan budaya atau sejenis, tetapi tidak termasuk setiap bagian dari bangunan yang merupakan kelas lain
- j. Kelas 10: adalah bangunan atau struktur yang bukan hunian :
  - i. Kelas 10a : bangunan bukan hunian yang merupakan garasi pribadi, *carport*, atau sejenisnya
  - ii. Kelas 10b: struktur yang berupa pagar, tonggak, antena, dinding penyangga atau dinding yang berdiri bebas, kolam renang, atau sejenisnya.
- k. Bangunan-bangunan yang tidak diklasifikasikan secara khusus, bangunan atau bagian dari bangunan yang tidak termasuk dalam klasifikasi bangunan 1 s.d. 10 tersebut, dalam Pedoman Teknis ini dimaksudkan dengan klasifikasi yang mendekati sesuai peruntukannya.
- l. Bangunan yang penggunaannya insidental, bagian bangunan yang penggunaannya insidental dan sepanjang tidak mengakibatkan gangguan pada bagian bangunan lainnya, dianggap memiliki klasifikasi yang sama dengan bangunan utamanya.
- m. Klasifikasi jamak, bangunan dengan klasifikasi jamak adalah bila beberapa bagian dari bangunan harus diklasifikasikan secara terpisah, dan:
  - i. bila bagian bangunan yang memiliki fungsi berbeda tidak melebihi 10 % dari luas lantai dari suatu tingkat bangunan, dan bukan laboratorium, klasifikasinya disamakan dengan klasifikasi bangunan utamanya
  - ii. Kelas-kelas 1a, 1b, 9a, 9b, 10a dan 10b adalah klasifikasi yang terpisah

- iii. Ruang-ruang pengolah, ruang mesin, ruang mesin lif, ruang boiler atau sejenisnya diklasifikasikan sama dengan bagian bangunan di mana ruang tersebut terletak



## BAB III PEMODELAN dan EKSPERIMENTAL

### III.1 Computer Modeling

Pada pemodelan ini kita akan mensimulasikan dua buah rumah yang letaknya saling berdekatan, kedua rumah ini dibatasi oleh sebuah jalan (gang). Untuk simulasi ini kita akan membuat jalan dengan lebar bervariasi. Pemodelan ini akan mensimulasikan 6 skenario diantaranya:

1. Simulasi penyebaran api dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai satu dengan lebar gang 1.5 meter.
2. Simulasi penyebaran api dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai satu dengan lebar gang 3 meter.
3. Simulasi penyebaran api dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai satu dengan lebar gang 4.5 meter.
4. Simulasi penyebaran api dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai dua dengan lebar gang 1.5 meter.
5. Simulasi penyebaran api dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai dua dengan lebar gang 3 meter.
6. Simulasi penyebaran api dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai dua dengan lebar gang 4.5 meter.

Pada skenario ini kita menggunakan dua jenis rumah, rumah satu tingkat dan rumah dua tingkat. Kedua rumah ini merepresentasikan rumah-rumah permanen satu tingkat dan rumah-rumah semi-permanen dua tingkat dari hasil survei. 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°. Geometri, *layout* dan *furniture* yang terdapat dalam skenario ini diupayakan mendekati keadaan nyata dilapangan yang didasarkan pada hasil survei yang telah disebutkan pada bagian latar belakang.



### 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 simulasi ini penulis tidak melakukan hal seperti itu karena kendala batas waktu dalam penulisan skripsi ini. Pada simulasi ini *computing time* satu skenario memerlukan waktu 7 sampai dengan 10 hari bergantung pada terjadinya fenomena atau berapa banyak *grid* yang dipengaruhi oleh fenomena tersebut. 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:

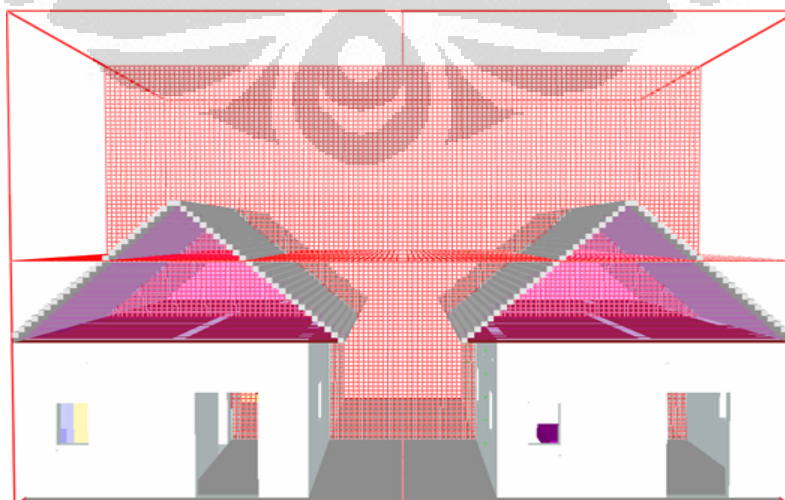
- **“Simulation of the Dynamics of the Fire at 3146 Cherry Road NE Washington D.C., May 30, 1999”** oleh Daniel Madrzykowski Robert L. Vettori. Dalam simulasi ini mereka menggunakan *grid* dengan ukuran 0.2 m x 0.2 m x 0.1 m untuk mensimulasikan model dengan ukuran 10 m x 6 m x 5.1 m. Dari simulasi ini 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 di atas 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*.

Tabel III-1. Summary ukuran mesh pada setiap skenario

Skenario	Co-ordinate / dimension (m)			Number of cells			Cell size		
	X	Y	Z	I bar	J bar	K bar	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
1	0.0/10.5 = 10.5	-0.5/10 = 10.5	0.0/9.0 = 9	105	105	90	0.1	0.1	0.1
2	-1.5/10.5 = 12	-0.5/10 = 10.5	0.0/9.0 = 9	120	105	90	0.1	0.1	0.1
3	-3/10.5 = 13.5	-0.5/10 = 10.5	0.0/9.0 = 9	135	105	90	0.1	0.1	0.1
4	0.0/10.5 = 10.5	-0.5/10 = 10.5	0.0/9.0 = 9	105	105	90	0.1	0.1	0.1
5	-1.5/10.5 = 12	-0.5/10 = 10.5	0.0/9.0 = 9	120	105	90	0.1	0.1	0.1
6	-3/10.5 = 13.5	-0.5/10 = 10.5	0.0/9.0 = 9	135	105	90	0.1	0.1	0.1



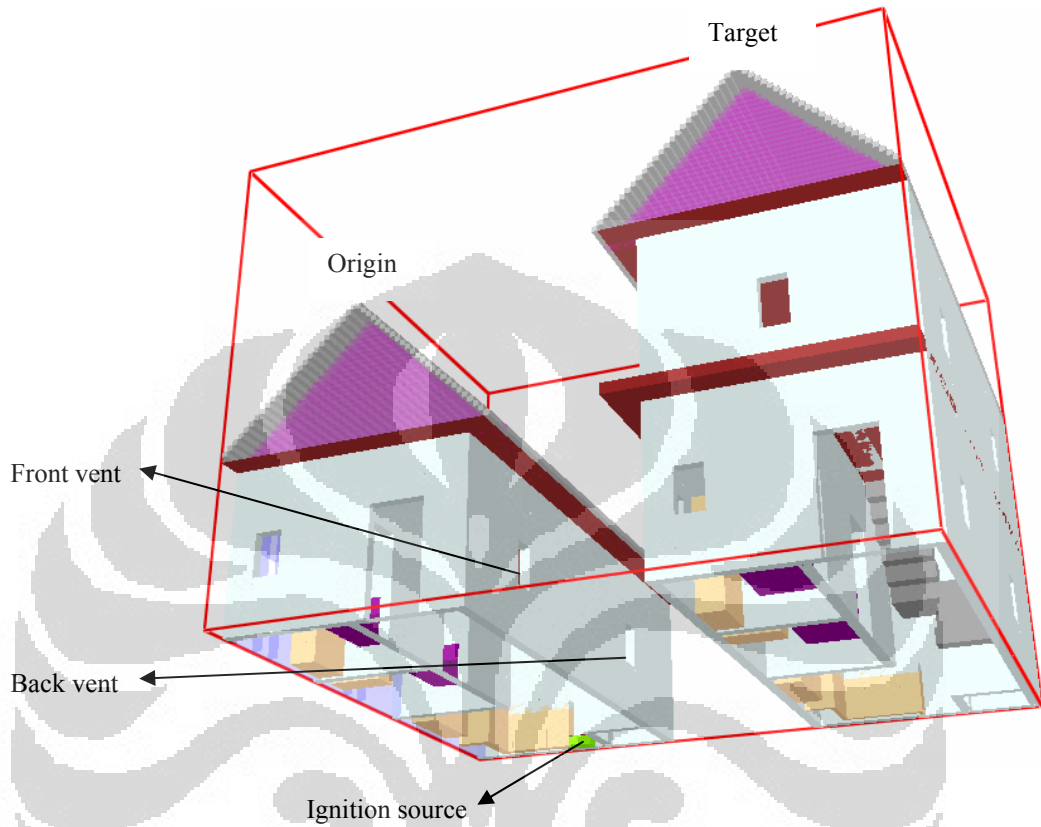
Gambar III-1. Contoh mesh pada simulasi untuk skenario 2

### III.1.2 Geometri

Rumah satu tingkat permanen dan dua tingkat semi permanen, keduanya memiliki luas tanah yang sama dengan panjang 10 m dan lebar 4.5 m dan keduanya memiliki kanopi dengan lebar 0.5 m. Pada rumah satu tingkat memiliki jarak lantai ke langit-langit 3 m dan tinggi rumah keseluruhan termasuk atap 5.6 m, lantai rumah terbuat dari *concrete*, dinding rumah dan atap terbuat dari *gypsum plester* dengan ketebalan dinding 20 cm dan atap 10 cm yang dibuat bersusun, sedangkan langit-langit terbuat dari kayu dengan ketebalan 3 cm. pada rumah ini terdapat dua kamar tidur dan satu kamar mandi, satu ruang lepas dan sebuah dapur yang menyatu dengan ruang keluarga. Kamar tidur memiliki ukuran panjang 3 m dan lebar 2.5 m, sedangkan kamar mandi memiliki ukuran 1.5 m x 1.5 m. Rumah 2 tingkat semi permanen memiliki jarak lantai ke langit-langit tingkat satu dan dua yang sama dengan rumah satu tingkat permanen. Pada rumah ini tinggi keseluruhannya 8.6 m, dinding rumah, atap dan langit-langit juga memiliki ukuran yang sama dengan rumah satu tingkat permanen, hanya saja pada rumah ini terdapat lantai tingkat dua yang terbuat dari kayu dan tangga penghubung tingkat satu dan dua yang terbuat dari *gypsum plester*. Pada rumah ini terdapat 4 kamar tidur, 2 kamar tidur di lantai satu dengan ukuran 3 m x 2.5 m dan 2 kamar tidur di lantai dua dengan ukuran 4 m x 3 m dan 3.5 m x 3 m serta satu kamar mandi di lantai satu dengan ukuran 1.5 m x 1.5 m. Pada rumah ini terdapat 2 ruang lepas yang berada di lantai satu dan dua serta satu dapur yang menyatu dengan ruang keluarga. Sedangkan jarak kedua rumah dibuat bervariasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar III-2 dan III-3 di bawah ini.

Pada model komputer ini kita dapat melihat pemberian beberapa nama untuk geometri atau area tertentu. Pada simulasi ini terdapat label *origin*, maksudnya rumah tersebut merupakan rumah awal terjadinya kebakaran, *target* disini maksudnya rumah merupakan bangunan di sekitar yang terkena dampak akibat terbakarnya rumah asal api atau *origin* dan *ignition source* merupakan label yang diberikan pada benda yang berposisi tertentu pada rumah asal api dimana benda atau posisi tersebut merupakan awal terjadi api di dalam *origin*. Selain itu terdapat label *front vent* dan *back vent* ini diberikan pada 2 jendela rumah *origin* yang posisinya berdekatan dengan target, *front vent* diberikan untuk jendela yang

berada lebih dekat ke arah depan rumah *origin* dan *back vent* diberikan pada jendela yang dekat ke bagian belakang rumah *origin* dari kedua jendela tersebut. Tujuan pemberian label ini hanya untuk mempermudah pengidentifikasian.



**Gambar III-2. Layout skenario pemodelan**



**Gambar III-3. Layout skenario tampak samping**

### III.1.3 Bukaannya (*Vent*)

Pada pemodelan ini, rumah satu (rumah satu tingkat) terdapat 4 pintu dan 5 jendela yang terdiri satu pintu depan dua pintu kamar tidur dan satu pintu kamar mandi serta tiga jendela kamar tidur dan dua jendela ruang tamu. Pintu depan berukuran lebar satu meter dan tinggi dua meter, dua pintu kamar berukuran 95 cm x 1.85 m sedangkan pintu kamar mandi ukurannya 80 cm x 1.8 m dan kelima jendela berukuran 80 cm x 50 cm

Rumah dua (rumah dua tingkat) terdapat 6 pintu dan 10 jendela yang terdiri satu pintu depan empat pintu kamar tidur dan satu pintu kamar mandi serta 6 jendela kamar tidur dan 4 jendela ruang tamu. Pintu depan berukuran lebar satu meter dan tinggi dua meter, empat pintu kamar berukuran 95 cm x 1.85 m sedangkan pintu kamar mandi ukurannya 80 cm x 1.8 m dan kesepuluh jendela berukuran 80 cm x 50 cm.

Tabel III-2. Summary ukuran dan jumlah bukaan

No.	Jenis vent	Jumlah dan Ukuran	
		Rumah berlantai satu	Rumah berlantai dua
1	Pintu masuk	1 buah, 1m X 2m	1 buah, 1m X 2m
2	Pintu kamar tidur	2 buah, 95cm X 1.85m	4 buah, 95cm X 1.85m
3	Pintu kamar mandi	1 buah, 80cm X 1.8m	1 buah, 80cm X 1.8m
4	Jendela	5 buah, 50cm X 80 cm	10 buah, 50cm X 80 cm

### III.1.4 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 plastik, *upholstery* dan *Heptane liquid*. Material yang digunakan dalam pemodelan ini dapat dilihat pada Tabel III-3.

Tabel III-3. Material properties

No.	Nama	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	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	Fabric	100	1	0.1	3000	15000
4	Foam	40	1	0.05	1500	30000
5	Gypsum Plester	1440	0.84	0.48	-	-
6	Heptane Liquid	787	2.24	0.16	880	46112
7	Kayu	700	1.25	0.15	430	16090
8	Plastic	1500	1.5	0.2	3000	5000
9	Water	1000	4.19	0.6	2260	-

Pada sekenario pemodelan ini di dalam rumah terdapat beberapa *furniture*, furniture-furniture ini merupakan benda yang rata-rata dimiliki oleh masarakat yang kami survei rumahnya. *Furniture* itu antara lain kasur, televisi, lemari dan lemari dapur (*kitchen set*). Pada rumah satu terdapat dua buah kasur yang masing-masing terletak di kamar tidur. Terdapat 4 lemari terdiri atas lemari televisi berada di ruang keluarga, dua buah lemari pakaian yang terletak masing-masingnya di kamar dan satu buah lemari dapur. Selain itu pada rumah ini terdapat satu buah televisi dan satu buah tempat penyimpanan bahan bakar yang berisi heptana. Pada rumah dua untuk lantai satunya memiliki furniture yang sama dengan rumah satu hanya saja tidak ada tempat penyimpanan bahan bakar, sedangkan lantai duanya memiliki dua buah kasur dan dua buah lemari pakaian yang masing-masing berada pada kamar tidur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel III-4.

**Tabel III-4. Material furniture dan ukuranya**

No.	Nama	Material	Ukuran (m <sup>3</sup> )	Rumah Tipe 1	Rumah Tipe 2	Posisi
1	Kasur	Fabric dan Foam	1.65 x 1.25 x 0.3	2 buah	4 buah	lantai 1 & 2
2	Lemari pakaian	Kayu dan Water	1 x 0.5 x 2	2 buah	4 buah	lantai 1 & 2
3	Lemari televisi	Kayu dan Water	1.5 x 0.5 x 0.8	1 buah	1 buah	lantai 1
4	Lemari dapur	Kayu, Water dan Gypsum plester (pada bagian atas saja)	1 x 0.5 x 1 dan 2 x 0.5 x 1 (berbentuk L)	1 buah	1 buah	lantai 1
5	Televisi	Plastic	0.5 x 0.5 x 0.45	1 buah	1 buah	lantai 1

### III.1.5 Ignition Fire Source

Pada sekenario ini api bermula di dekat dapur, api bermula dari terbakarnya tempat penyimpanan *Heptane liquid* berukuran 45 cm x 25 cm x 20 cm dengan fluks 1000 kw/m<sup>2</sup>, lalu api menjalar ke *kitchen set* yang terbuat dari kayu dan merambat vertikal setelah itu menyambar langit-langit. Setelah *flashover* dari rumah satu api mulai menyambar kanopi rumah dua dan mengakibatkan kedua rumah terbakar.

### 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 *cros check* terhadap

*trend* dari perilaku parameter yang diamati. Eksperimen ini dilakukan di luar ruangan, dilakukan untuk menghindari bahaya atau hal yang tidak diinginkan. Pada simulasi pengaruh angin dan kemiringan lahan tidak ada, sehingga untuk mencapai hal tersebut eksperimen yang dilakukan di luar ruangan dilakukan di atas meja yang datar dan daerah sekitar eksperimen dibatasi terpal.

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 1:25 terhadap geometri pada *computer modeling*.

Selain itu pada eksperimen ini beberapa data yang diperoleh pada simulasi tidak bisa sepenuhnya didapat pada eksperimen. Hal ini terjadi dikarenakan geometri dari model pada eksperimen yang relatif kecil dibandingkan sensor yang akan diletakan atau memang *space* alat untuk memperoleh data tertentu tidak bisa dipasang karena jauh lebih besar dibanding model. Sehingga pada eksperimen ini hanya bisa diperoleh data mengenai *trend* dari perilaku temperatur pada dinding rumah target, tetapi pada pengambilan data juga tidak bisa diambil dengan jumlah titik pengambilan yang sama dengan simulasi dikarenakan jumlah sensor pada simulasi yang berjumlah 14 sedangkan pada eksperimen hanya tujuh. Hal ini dikarenakan jumlah sensor dan *data logger* yang dimiliki terbatas. Total eksperimen yang dilakukan kurang lebih 15 kali dan sebanyak 9 kali dilakukan dengan SOP dan perhitungan yang lebih komprehensif, 9 eksperimen itu dilakukan untuk 6 skenario, eksperimen dilakukan sebanyak 9 kali dikarenakan untuk beberapa eksperimen gangguan faktor eksternal begitu dominan dan menghasilkan *output* yang kurang memuaskan sehingga memaksa dilakukan pengulangan. Untuk lebih jelasnya maka akan diulas pada sub-bab di bawah ini.

### III.2.1 Analisa 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 persamaan di atas terdapat variabel gas emissivity  $\varepsilon$ , maka jika asumsikan dinding merupakan *blackbodies*, maka:

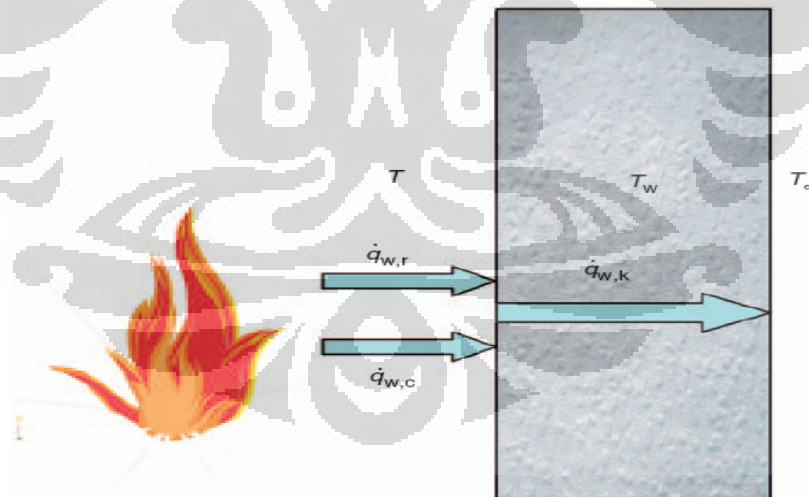
$$\varepsilon_g \sim 1 - e^{-\kappa s} \quad (3.3)$$

Dari persamaan di atas kita dapat memperoleh 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 kita dapatkan 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 kita ilustrasikan seperti Gambar III-5 dibawah ini.



Gambar III-5. Heat loss melalui dinding compartment [13]

Dari keterangan diatas kita dapat merumuskan 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 kita rumuskan 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 kita dapatkan 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 kita dapatkan 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 kita dapatkan 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 kita melakukan 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,  $t \sim l^{1/2}$ .

### III.2.2 Bahan & Peralatan Eksperimen

Pada pelaksanaan eksperimen ini kita menggunakan 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 bagian III.2.1. 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-5 di bawah.

**Tabel III-5. 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

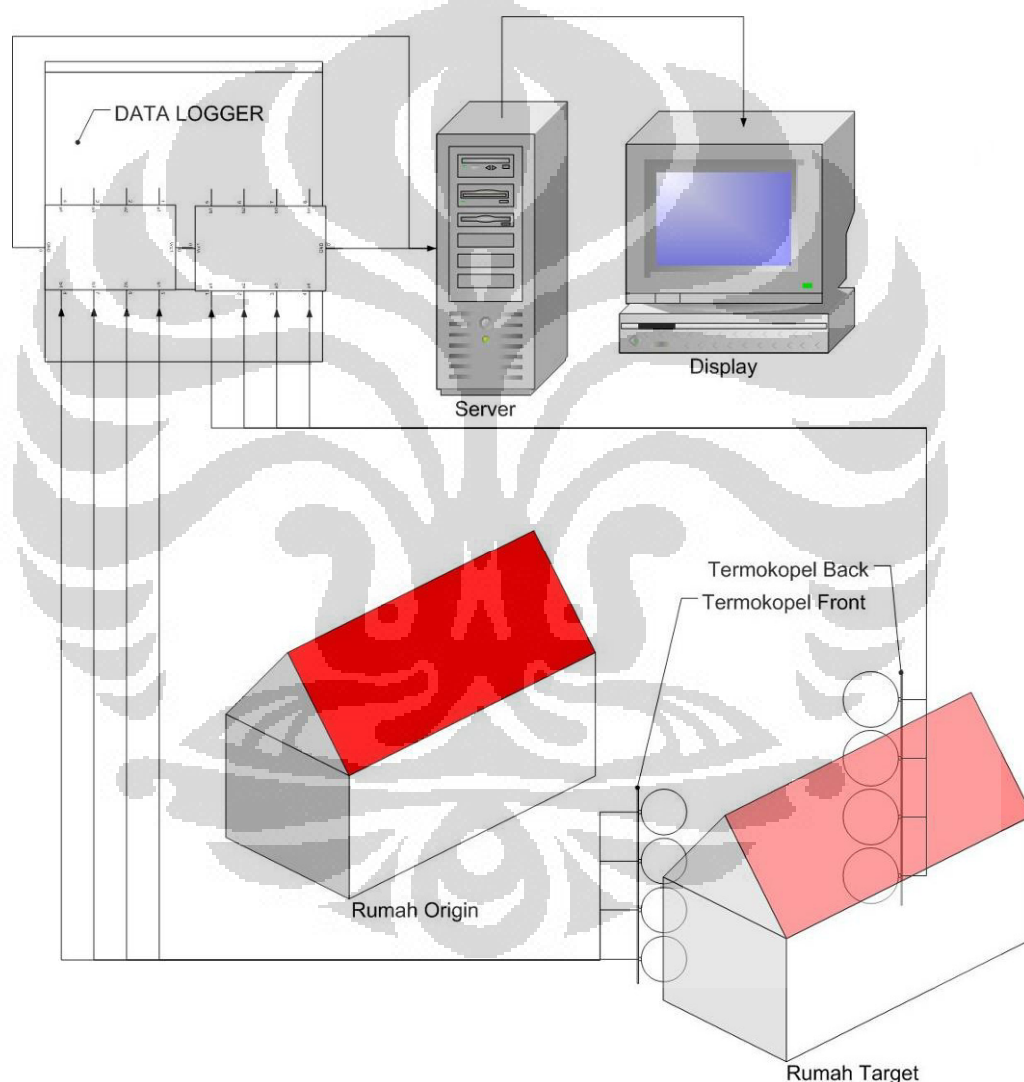
Dari relasi yang ada dalam tabel di atas kita dapat menentukan material yang digunakan pada eksperimen. Adapun yang mengikuti relasi bilangan tak berdimensi di atas adalah, *wood cribs* yang digunakan sebagai material mampu bakar di dalam rumah dan maket rumah sendiri, material maket dan kanopi serta *ceiling*. Bahan yang digunakan dalam eksperimen ini antara lain tercantum pada Table III-6

**Tabel III-6. Material properties dari bahan-bahan eksperimen**

No.	Nama	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	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	300	1.4	0.12	12400	±1
3	Karton ( <i>cardboard</i> )	150	2.0	0.09	12000	±2

Sedangkan alat utama yang digunakan dalam eksperimen ialah termokopel, *data logger* atau *data acquisition* untuk meretrieve data secara *continiu*, seperangkat komputer yang terdiri dari monitor dan CPU yang digunakan sebagai *server* dan alat *display*. Secara garis besar alur data dimulai

dari proses *sensing* temperatur 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 temperatur, melalui kabel RS 232 data diteruskan ke CPU untuk di simpan lalu dari CPU ditampilkan melalui monitor. Alur dan *layout* dari *set-up* eksperimen bisa dilihat pada Gambar III-6. Alat sensor temperature, termokopel sebelum penggunaan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Untuk lebih jelasnya bahan dan peralatan utama yang digunakan akan dijelaskan di bawah ini

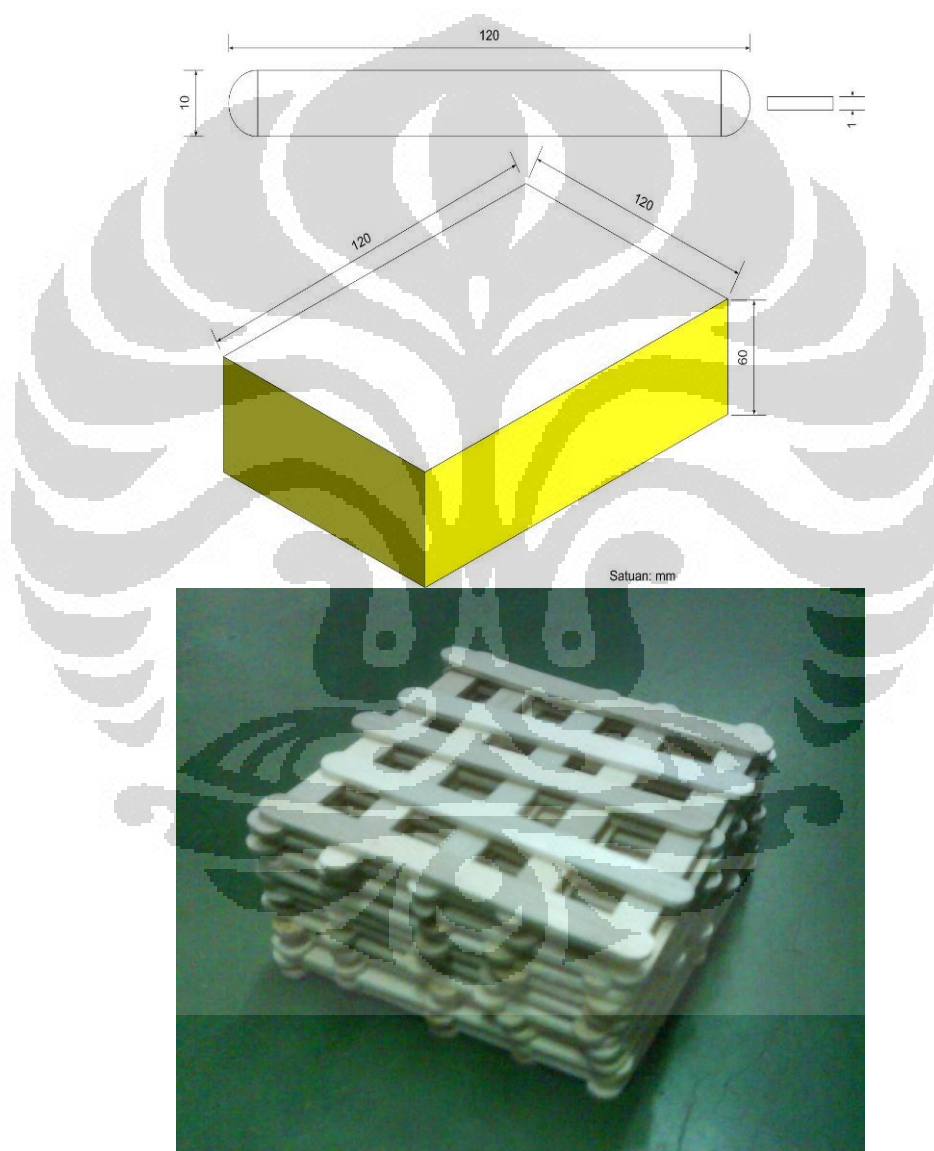


**Gambar III-6. Layout alat pada eksperimen**

### 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-7. dalam setiap eksperimen *wood cribs* yang digunakan dibuat dalam 3 tumpukan yang disusun memanjang di dalam rumah. Jumlah *wood cribs* yang digunakan dalam eksperimen untuk *fire origin* sesuai dengan perhitungan korelasi melalui bilangan tak berdimensi yaitu menghasilkan 46359630 kJ untuk *full scale* dan 2967 kJ untuk *wood cribs* atau setara dengan 0.24 kg.



**Gambar III-7. konfigurasi susunan wood cribs**

#### III.2.2.2 Maket rumah

Eksperimen ini dilakukan dalam 6 skenario berbeda seperti yang telah dijelaskan pada bagian awal bab III. Setiap skenario membutuhkan dua maket

rumah. Berdasarkan jenis rumah yang dilibatkan dalam 6 skenario di atas, maka simulasi bisa dikelompokkan menjadi dua tipe, yang pertama simulasi penyebaran api dari rumah bertingkat satu ke rumah bertingkat satu dan kedua simulasi penyebaran api dari rumah bertingkat satu ke rumah bertingkat dua.

Dari dua tipe simulasi di atas kita membutuhkan dua jenis maket, yaitu maket rumah bertingkat satu dan maket rumah bertingkat dua. Sesuai dengan kapasitas tempat yang dimiliki kita melakukan eksperimen dengan perbandingan geometri 1: 25 dari simulasi komputer yang ada. Berdasarkan korelasi yang diperoleh dari analisis non-dimensional di atas maka maket dibuat dengan penyesuaian tersebut. Dari bilangan tak berdimensi yang diperoleh di atas maka kita akan menentukan konfigurasi material yang tepat digunakan untuk mengganti material dan ketebalan dinding pada *full scale*. Dari korelasi tersebut diketahui bahwa dinding maket harus dibuat dari material dengan konduktivitas termal  $0.2 \text{ W/m.K}$ , dengan densitas  $643 \text{ kg/m}^3$  dan ketebalan 4 mm, setelah melakukan penggalan referensi maka dipilih asbes sebagai material pengganti karena memiliki nilai properties yang paling seperti konduktivitas termal  $0.15 \text{ W/mK}$  dan densitas  $577 \text{ kg/m}^3$ . Ukuran maket dapat dilihat pada lampiran B no 1, sedangkan untuk karton yang digunakan sebagai kanopi memiliki lebar 2 centimeter. Adapun data material yang digunakan dalam membuat maket adalah sebagai berikut:

- a) Asbes : digunakan untuk dinding dan atap.
- b) Kertas karton (*Cardboard*): digunakan untuk kanopi, lantai tingkat dua dan *ceiling*.



**Gambar III-8. Maket rumah bertingkat dua dan bertingkat satu**



### III.2.2.3 Peralatan pengambil data

Peralatan pengambil data terdiri dari:

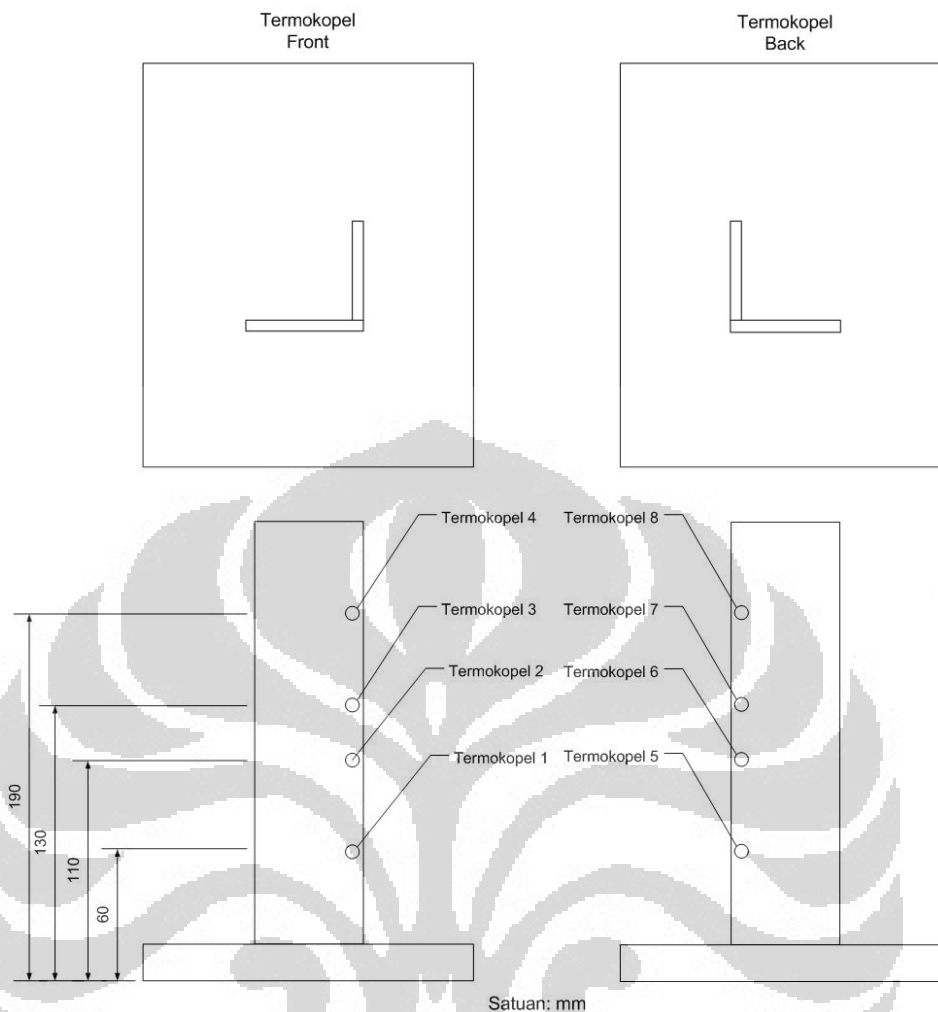
1. Termokopel: sebagai probe atau alat sensing temperature.
2. Data *logger* (ADAM) yang menggunakan VisidaQ sebagai *interface*: sebagai pengolah dan pengumpul informasi dari termokopel.
3. Set komputer: digunakan sebagai *operating sistem*, *server* dan *display* hasil.

Untuk peralatan sensor digunakan termokopel tipe K dengan diameter 1.5 mm yang disambung ke data *logger* dengan kabel yang panjangnya 5 meter seperti yang terlihat pada Gambar III-9. Sedangkan untuk konfigurasi susunan termokopel dapat dilihat pada Gambar III-10



**Gambar III-9. Perangkat pengambil data**





**Gambar III-10. Konfigurasi susunan termokopel**

Pada data *logger* terdapat 8 *chanel* tetapi dikarenakan *chanel* 8 memiliki *error* yang tinggi maka data yang diperoleh oleh termokopel pada *chanel* 8 tidak digunakan. Sesuai dengan prosedur pengambilan data yang ada terlebih dahulu semua alat pengambil data harus dikalibrasi 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:

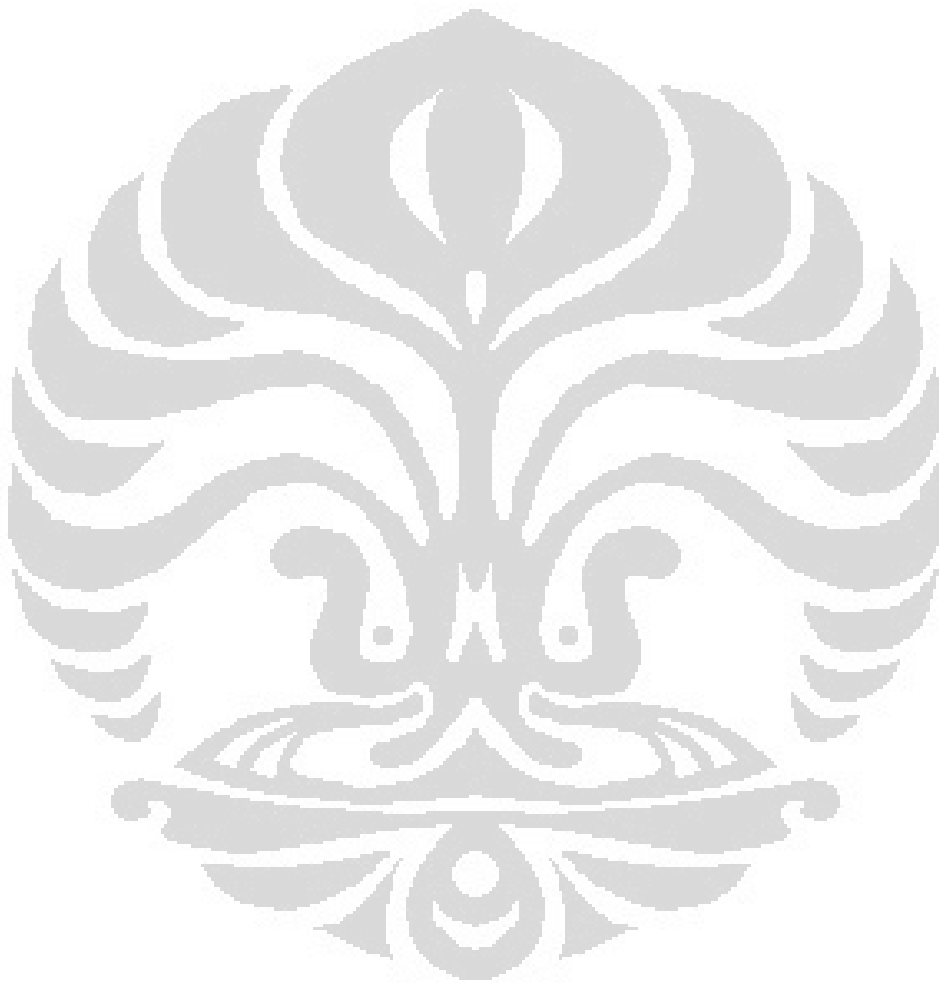
1. Menyiapkan peralatan kalibrasi antara lain termometer standar, wadah kalibrasi, *heater*, alat pengambil data dan fluida yang digunakan (air dan minyak kelapa)
2. mengisi wadah kalibrasi dengan air lalu memanaskannya dengan *heater*.
3. Mencatat suhu yang tertera pada termometer standar dan data *logger* setiap 3 menit sampai pada suhu 100<sup>0</sup>C
4. Lalu melanjutkan proses yang sama untuk minyak kelapa hanya saja minyak kelapa digunakan hingga mencapai suhu 150<sup>0</sup>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 rumah maket berada ditengah.
3. Mengatur posisi kedua maket rumah agar jarak kedua matet sesuai yang diinginkan dalam eksperimen
4. Mengatur posisi termokopel pada dinding rumah target. 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 picuan pada *wood cribs* yang berada ditengah.
8. Mencatat waktu mulai *ignition*.

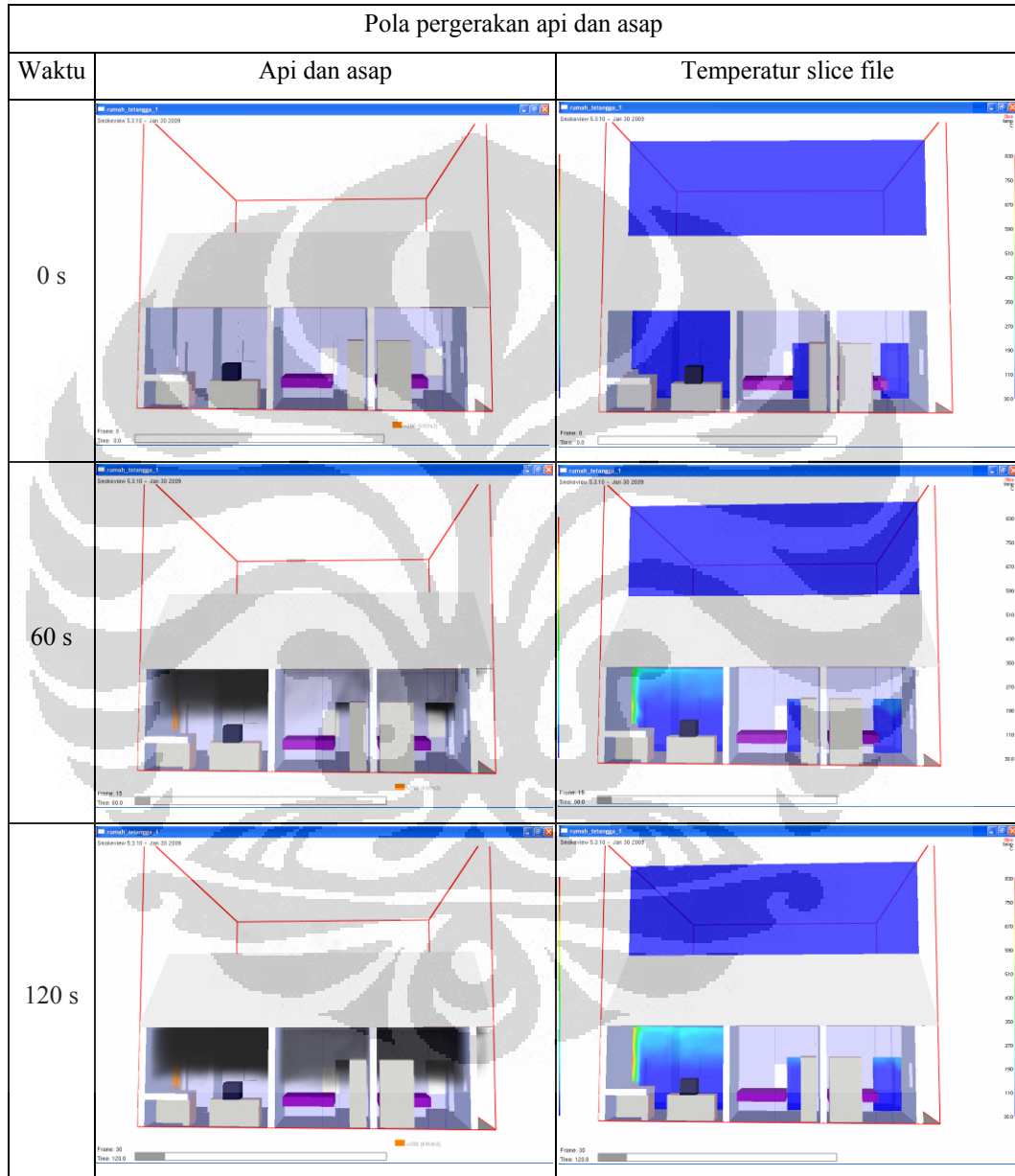
9. Setelah bahan bakar maket rumah origin habis biarkan beberapa waktu terlebih dahulu sambil melihat suhu pada display hingga suhu mendekati *ambient* dan setelah itu berhentikan visidaq
10. Ganti *file name* pada data yang masuk agar tidak terhapus oleh proses *logging* berikutnya.
11. Bersihkan sisi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

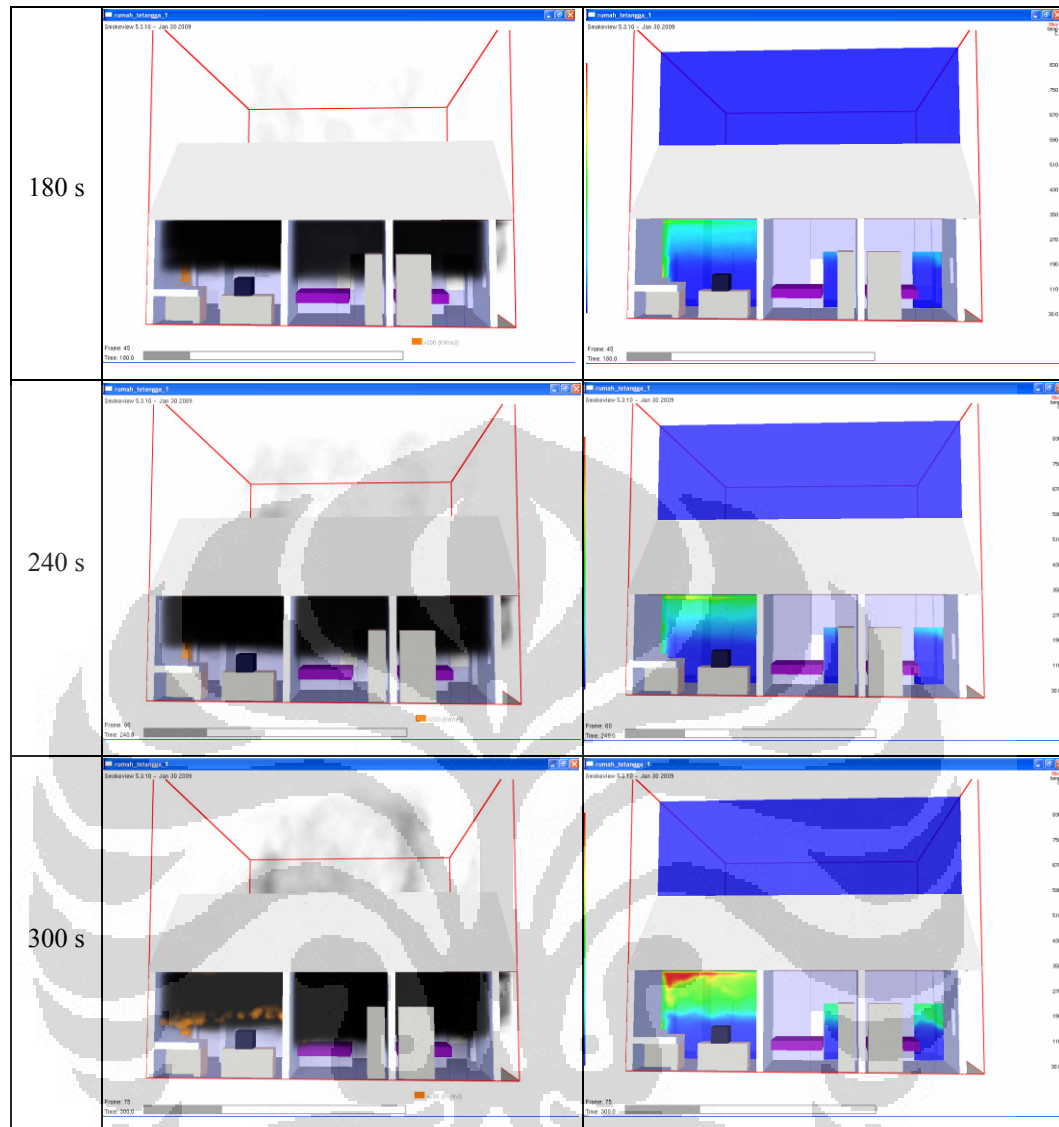


# BAB IV HASIL dan ANALISA

## IV.1 Pola Penyebaran

### IV.1.1 Pola Pergerakan Api dan Asap pada Fire Origin





Gambar IV-1. Pola pergerakan api dan asap pada fire origin

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*”.

Pada simulasi ini seperti yang telah diulas pada bab 3 bagian *ignition fire source*, untuk rumah yang diassumsikan sebagai *fire origin* api bermula dari daerah dapur yang merambat ke atas dan mencapai langit dan selain menyebar melalui langit-langit api juga membesar dan membakar objek disampingnya.

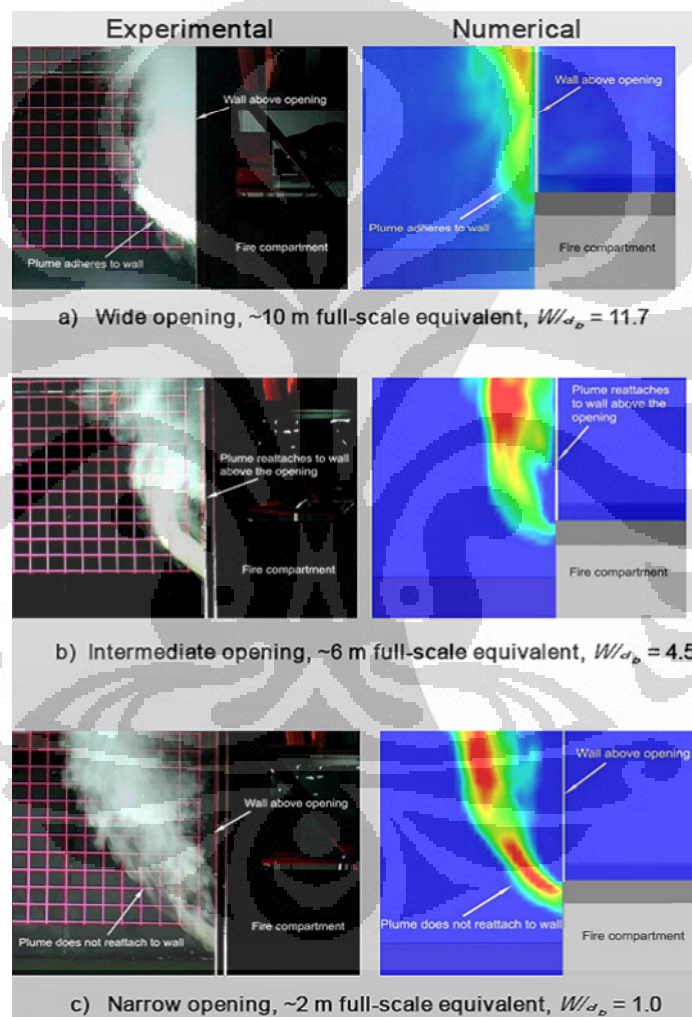
Pada Gambar IV-1 di atas terlihat pola pembentukan dan pertumbuhan api dan asap serta *profile temperature* dalam ruangan yang terbakar. Pada kejadian ini terlihat waktu yang dibutuhkan oleh suatu *compartment* dalam mencapai *flash over*. Waktu terjadinya *flash over* sangat sulit ditentukan secara pasti karena merupakan suatu peristiwa yang sesaat yang merupakan peristiwa transisi. Jika kita lihat Gambar IV-1 pada waktu 240 s – 300 s kita dapat mengasumsikan pada waktu diantara rentang ini terjadi *flash over* dengan beberapa acuan karakter dari *flash over* yaitu:

1. Temperature ruangan mencapai 600 – 650 C.
2. Proses pembakaran beralih dari *fuel control burning* menjadi *ventilated control burning*.

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 (*fuel control burning* menjadi *ventilated control burning*). 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 Pergerakan Perpindahan Api dan Asap Antar bangunan

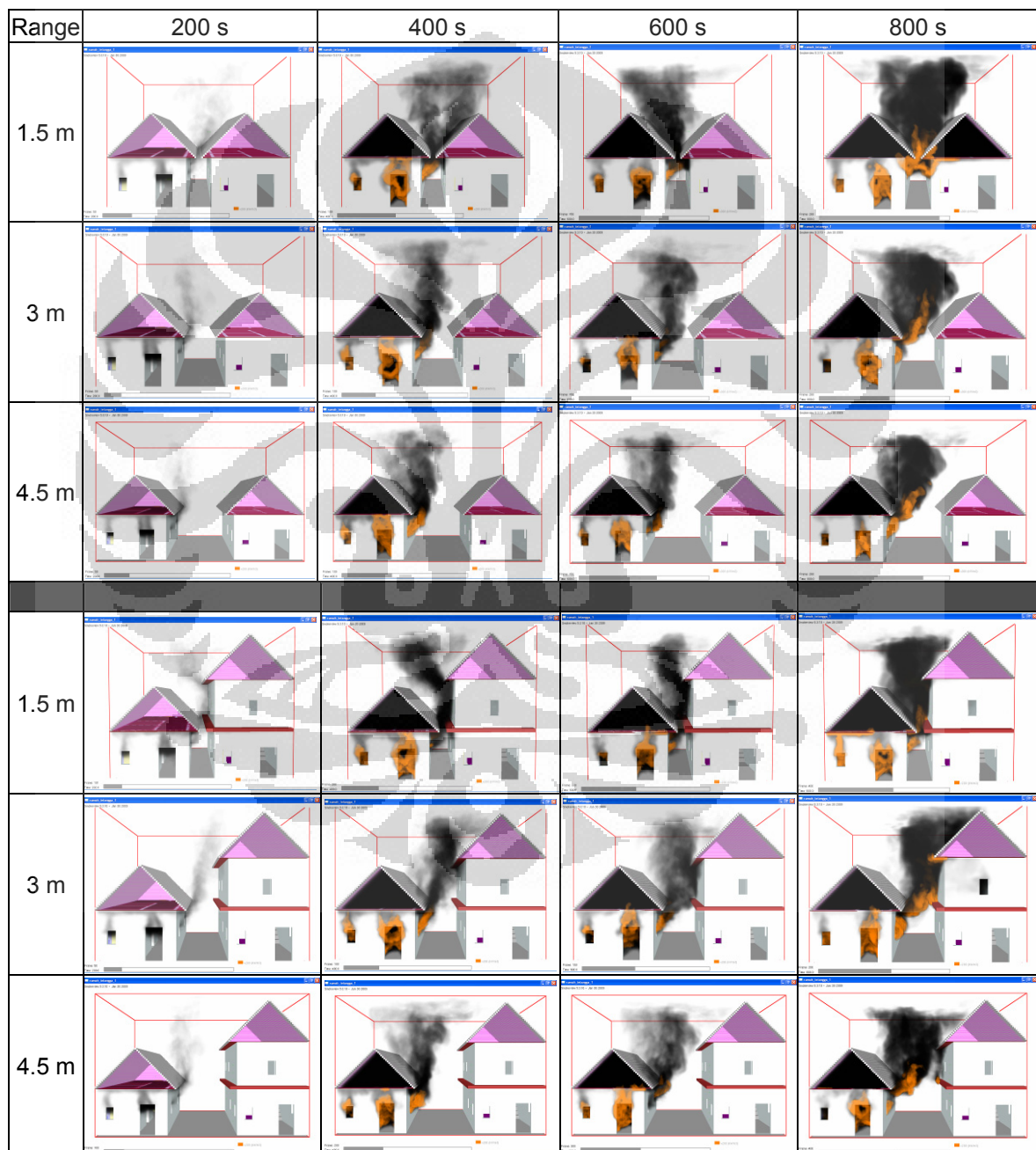
Pola gerakan api dan asap pada antar bangunan mempunyai banyak faktor yang mempengaruhi, diantaranya adalah pola dari *fire plumes* yang terbentuk. Pada *compartment fire*, *plumes* yang terjadi sangat bergantung dari panjang dan lebar bukaan (jendela) yang terdapat pada *compartment*. Hal ini telah 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 dari fire plumes. [12]

Pada simulasi ini besar dan karakter bukaan (jendela) dari rumah yang ada dalam simulasi antara satu dan lainnya memiliki ukuran yang sama. Ukuran dan posisi jendela yang diasumsikan pada simulasi ini berdasarkan hasil survei dan observasi dari perumahan penduduk di wilayah survei tersebut. Sehingga karakter dari *fire plumes* pada *fire origin* untuk keenam skenario ini sama, perbedaan pola

pergerakan *fire plumes* dari *fire origin* berbeda antara satu simulasi dengan simulasi lain terjadi jika memperoleh gangguan dari luar seperti gangguan pola *plumes* akibat terhalang dinding dan kanopi pada rumah target. Gangguan pola *plumes* pada simulasi ini terjadi pada skenario 1,2,4 dan 5 yaitu pada jarak 1.5 meter dan 3 meter. Diantara kedua variasi lebar gang itu 1.5 meter mempengaruhi pola *plumes* sangat besar dan diantara simulasi tipe 1 & 2 untuk jarak 1.5 meter, tipe dua memberikan pengaruh lebih besar.



Gambar IV-3. Pola pergerakan api dan asap antar rumah, atas) fire origin ke rumah berantai satu dan bawah) dari fire origin ke rumah berantai dua.



Pada Gambar IV-3 bagian atas merupakan gambar yang menunjukkan pola pergerakan api dan asap antar rumah dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai satu sedangkan rangkaian gambar di bawahnya disajikan pola pergerakan api dan asap dari rumah berlantai satu ke rumah berlantai dua. Pada 200 sekon api dari *fire origin* belum *flash over*, setelah 400 s kita dapat melihat pertumbuhan api pada *fire origin* yang telah melewati tahap *flash over* dan mulai memasuki tahap *fully develop* setelah 600 s. Setelah 800 s api pada *fire origin* berpindah untuk simulasi tipe satu jarak 1.5 meter dan tipe dua. Pada tipe satu selain jarak 3 meter api tidak berpindah sama sekali. Ini dikarenakan adanya peran dari atap sebagai penghalang langsung radiasi panas ke *ceiling* sedangkan pada tipe dua variasi jarak 1.5 – 4.5 meter mengalami penyebaran api karena pada tipe ini ada kanopi atau balcony yang terbuat dari material mampu bakar dan memperoleh radiasi langsung dari *plumes*. Tetapi untuk tipe dua pada jarak 4.5 meter api tidak membesar karena setelah beberapa saat *spot fire* yang terbentuk mati akibat *heat flux* yang diterima berkurang di karenakan *decay*-nya *fire origin*. Untuk bisa mengetahui fenomena ini lebih dalam haruslah dilihat faktor radiasi dan konveksi yang terjadi pada rumah yang menjadi target perpindahan api. Hal ini akan dibahas pada sub-bab berikutnya. 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 kita ingin mengkaji perpindahan api antar bangunan terlebih dahulu sebaiknya kita mengulas 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 kita lihat 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  $9.6 \text{ kW/m}^2$ , informasi lebih detail seperti Gambar IV-4 dibawah.

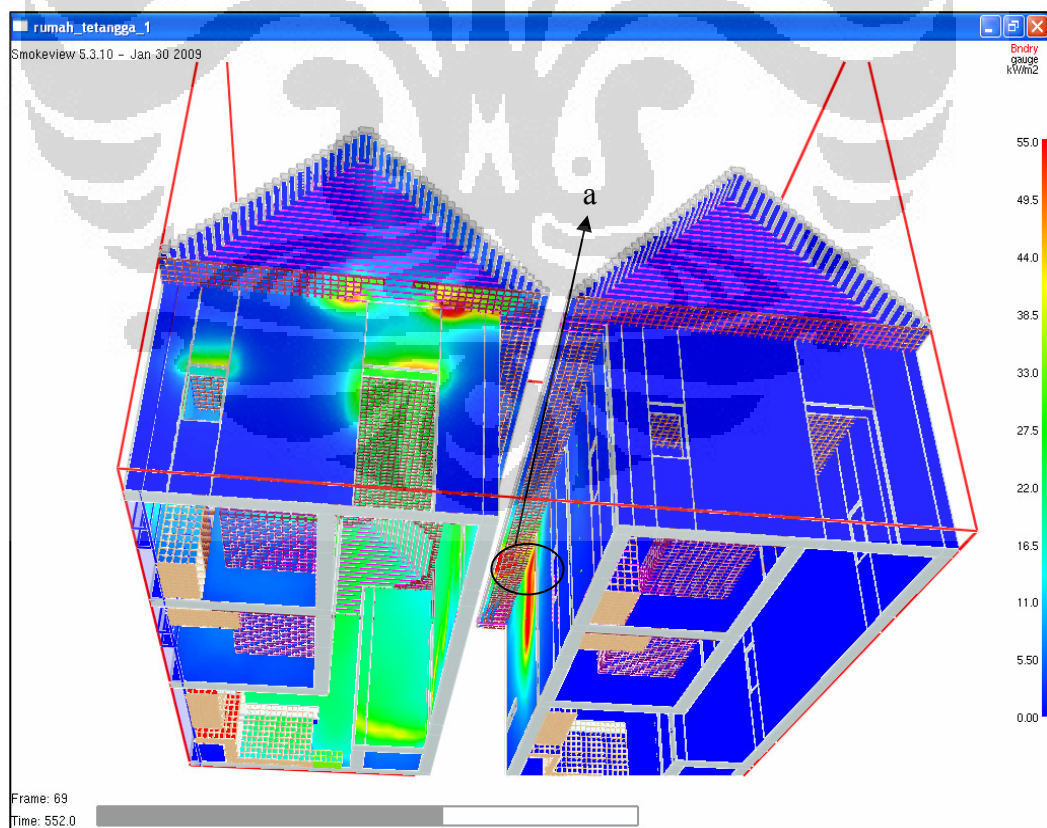
Specimen	Critical heat flux ( $\text{kWm}^{-2}$ )
GU wood - along grain	9.6
GU wood - across grain	6.4
MDF	4.5

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

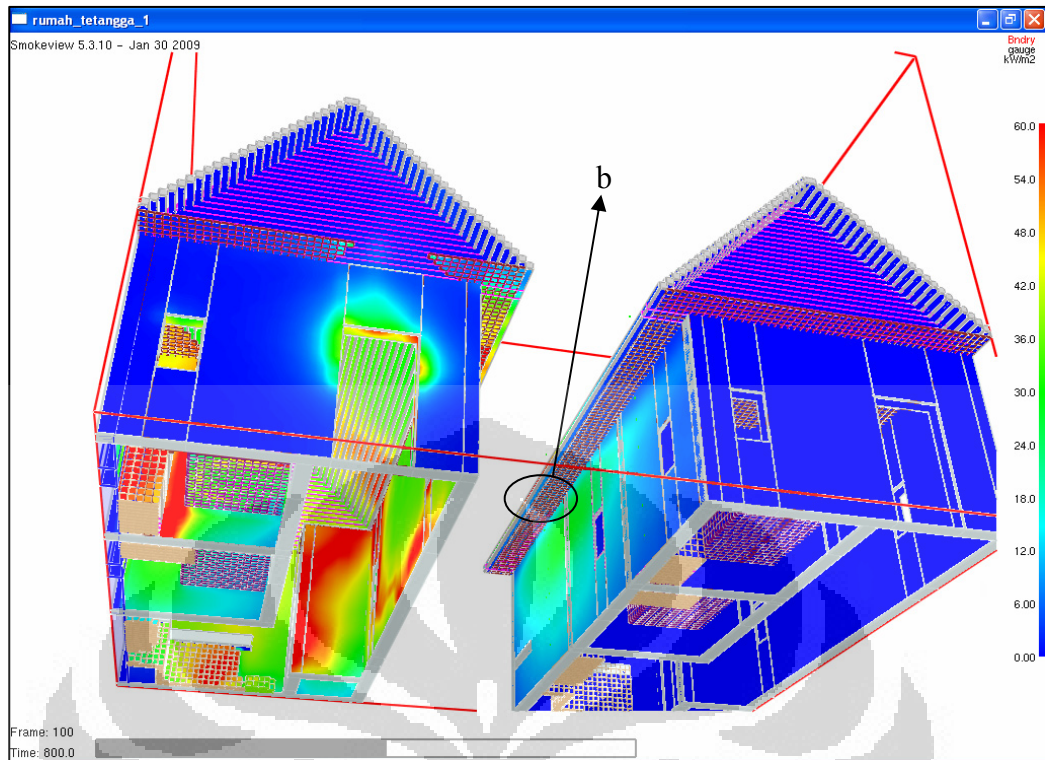
Dengan dasar hasil eksperimen di atas menjadi panduan analisa penyebaran api pada penelitian ini. Jika kita kembali melihat dan mereview hasil dari pengamatan visual dimana untuk simulasi tipe satu (sekenario 1 sampai 3) hanya simulasi dengan lebar gang 1.5 meter (sekenario 1) saja yang mengalami proses penyebaran api, apakah untuk sekenario 2 dan 3 *heat flux* yang diterima rumah target tidak melebihi nilai *critical heat flux* kayu tropis? Hal ini lah yang akan kita coba cari dan analisa pada simulasi ini.

Pada simulasi ini untuk seluruh sekenario *heat flux meter* di tempatkan pada dinding rumah yang terbuat dari *gypsum* dengan ketinggian bervariasi. Untuk simulasi tipe satu (sekenario 1 sampai 3) terdapat 4 *heat flux meter* yang ditempatkan masing-masing 2 buah untuk kedua jendela (*front vent* dan *back vent*) dengan ketinggian 1.5 meter dan 3 meter dari Z minimal. Sedangkan untuk simulasi tipe dua (sekenario 4 sampai 6) terdapat 8 *heat flux meter* yang ditempatkan 4 buah untuk masing-masing jendela (*front vent* dan *back vent*) dengan ketinggian 1,5 meter, 3 meter, 4 meter dan 4.5 meter. Hasil dari pengambilan data *heat flux* oleh sensor dapat dilihat pada lampiran A no 1a – 1b.

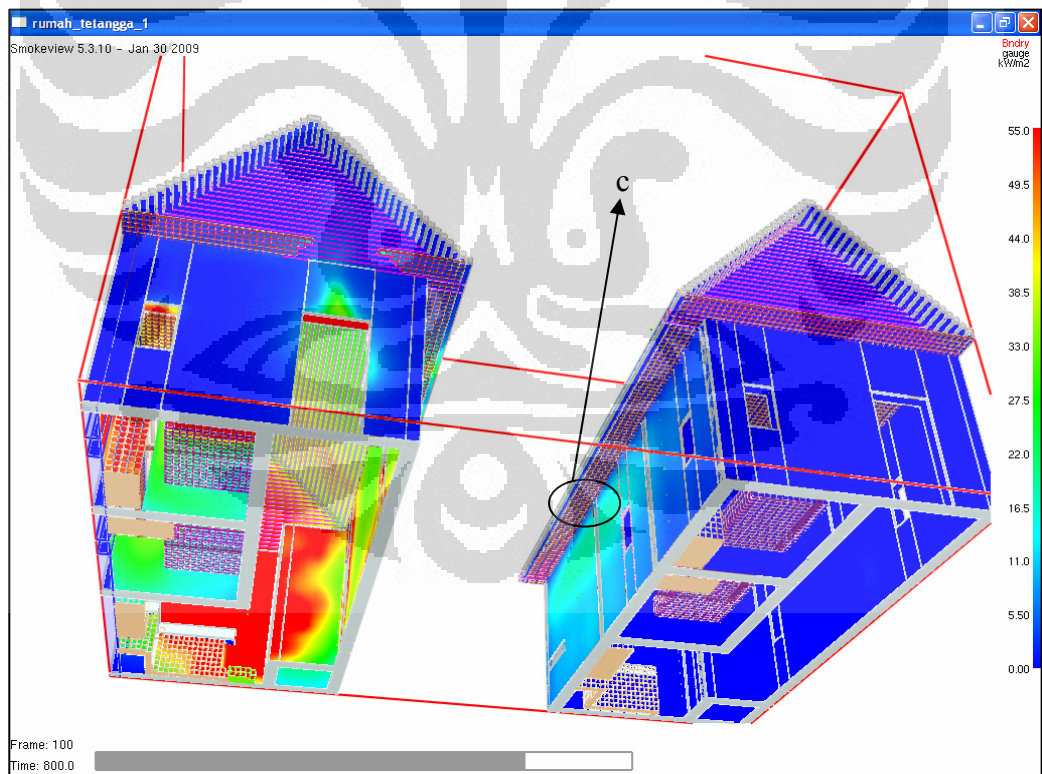
Jika kita lihat pada grafik dari lampiran A no 1a – 1b nilai maksimum dari *heat flux* yang terekam oleh sensor untuk seluruh sekenario melebihi nilai *critical heat flux* pada kayu. Yang berarti jika terdapat material mampu bakar Berupa kayu tropis pada posisi sensor tersebut akan memiliki probabilitas yang tinggi untuk terbakar. Tidak terjadinya perpindahan api pada sekenario 2 dan 3 disebabkan kanopi atau *balcony* yang ada pada daerah yang dindingnya terexpose panas tidak mencapai *critical heat flux*-nya. Hal ini disebabkan pada sekenario 1 perpindahan api terjadi dikarenakan api menyambar kanopi secara langsung karena begitu dekatnya jarak antar rumah sedangkan untuk sekenario 2 dan 3 panas yang diberikan akibat radiasi dan *plumes* dari api sedangkan api sendiri tidak mengenai kanopi. Radiasi oleh api tersebut terhalang oleh atap rumah sehingga kanopi tidak menerima *heat flux* melebihi *critical heat flux*-nya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar IV-5. Gambar ini memperlihatkan nilai dari *heat flux* yang ada pada *obstruction* baik pada rumah target ataupun *origin*. Yang menjadi fokus pada ke tiga gambar terlihat dilingkari.



(A)



(B)



(C)

Gambar IV-5. Heat flux pada kanopi A) senkenario 1, B) senkenario 2 dan C) senkenario 3.

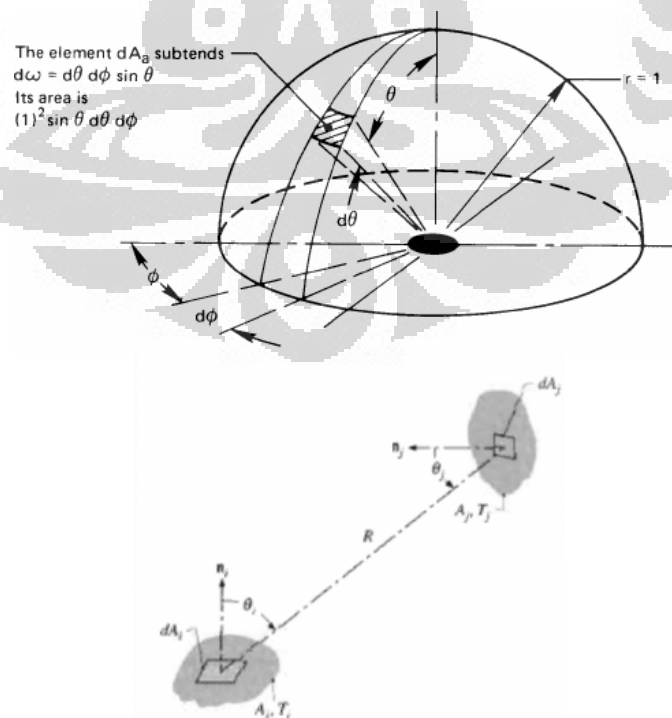
Pada gambar untuk daerah yang dilingkari terlihat bahwa nilai *heat flux* yang diterima kanopi pada kedua sekenario (2 dan 3) tidak melebihi nilai kritisnya, sedangkan nilai *heat flux* yang ada pada dinding di bawah kanopi melebihi *critical heat flux* dari kayu tropis. Jadi jelas mengapa kanopi tidak terbakar dan seandainya material dinding yang dipakai pada rumah disekenario ini terbuat dari kayu tropis maka akan besar probabilitasnya untuk perpindahan api pada semua sekenario.

#### IV.2.1 Pengaruh Jarak antar Bangunan Terhadap Probabilitas Penyebaran Api

Perpindahan api dalam suatu kejadian sangat dipengaruhi *heat flux* yang diterima mampu bakar seperti yang telah dijelaskan dalam dasar teori. Besarnya *heat flux* yang dilepaskan oleh objek *radiator* merupakan fungsi dari temperatur *emiter* tersebut:

$$E = \varepsilon\sigma T^4 \quad (4.1)$$

Lalu bagaimana dengan *heat flux* yang diterima oleh objek sebagai *receiver*. Secara teoritis *heat flux* yang diterima oleh objek bisa didekati dengan perpindahan panas radiasi di dalam sebuah objek yang berbentuk bola. Ilustrasi dari metode pendekatan ini terlihat pada gambar IV-6 di bawah ini.



Gambar IV-6. Metode pendekatan radiasi yang diterima objek [13]

Dengan pendekatan menggunakan ilustrasi di atas, *heat flux* yang diterima oleh objek dari suatu radiator berjarak  $r$  sama dengan:

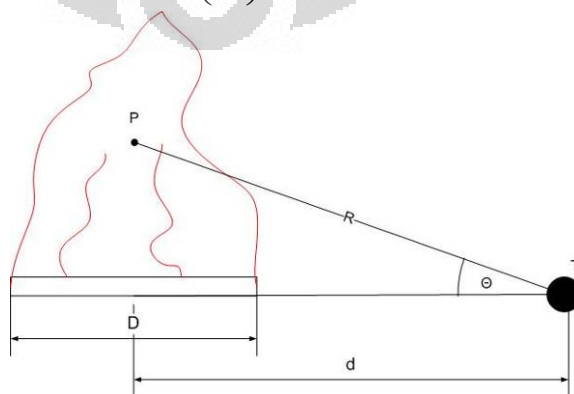
$$\begin{aligned} \dot{q}'' &= E \int_0^{A_i} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_i \\ &= \Phi E \end{aligned} \quad (4.2)$$

Pada persamaan di atas terlihat besarnya *heat flux* yang diterima objek sangat dipengaruhi oleh  $\Phi$ , sering disebut faktor bentuk atau faktor pandang. Salah satu komponen dari faktor pandang ialah jarak antara *emiter* radiasi dan *receiver* radiasi. Berdasarkan hasil simulasi komputer yang telah dihasilkan dari penyebaran api antar bangunan didapatkan hasil seperti pada Gambar IV-8 series sim-Tipe 1 dan sim-Tipe 2 dan lampiran A no 2a dan 2b. Dari grafik pada Gambar IV-7 ini kita dapat melihat bahwa besar *heat flux* yang diterima oleh target berhubungan secara eksponensial terhadap jarak antara *emiter* dan *receiver*, menurut Himoto, et all dalam jurnalnya berjudul "Risk and behavior of fire spread in a densely-built urban area" hubungan itu di formulasikan dalam rumus:

$$\dot{q}''_R = \varepsilon \left( \frac{\chi_R \dot{Q} \cos \theta}{4\pi S^2} \right) \quad (4.3)$$

Jika kita telaah lebih jauh dari rumus ini maka diperoleh hubungan antara jarak separasi antara bangunan dan *heat flux* sama dengan  $\dot{q}'' \sim \frac{1}{r^2}$ , sedangkan dari hasil eksperimennya Shokri dan Bayer mengungkapkan bahwa *heat flux* yang diterima dari *emiter* sama dengan:

$$\dot{q}''_R = 15.4 \left( \frac{d}{D} \right)^{-1.59} \quad (4.4)$$



Gambar IV-7. Pendekatan Shokri dan Beyler penjelasannya



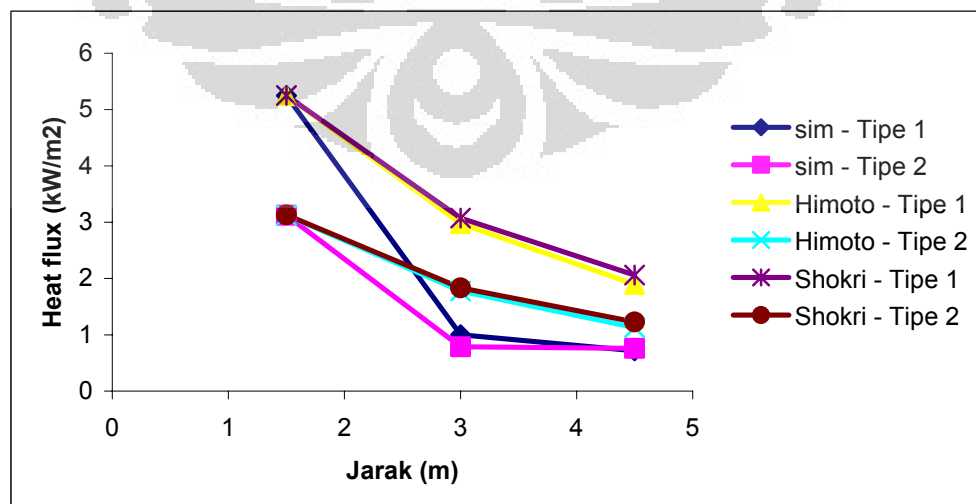
Dimana  $D$  adalah diameter bahan bakar atau diameter api sedangkan  $d$  adalah jarak dari titik pusat api ke titik pusat objek. Dari formulasi yang diperoleh Shokri dan Bayer dalam eksperimennya jarak api atau *emiter* dengan titik atau objek memiliki relasi  $\dot{q}'' \sim \frac{1}{d^{1.59}}$ . Jika kedua persamaan ini kita turunkan untuk kondisi pada simulasi, diperoleh persamaan seperti di bawah ini:

Himoto :

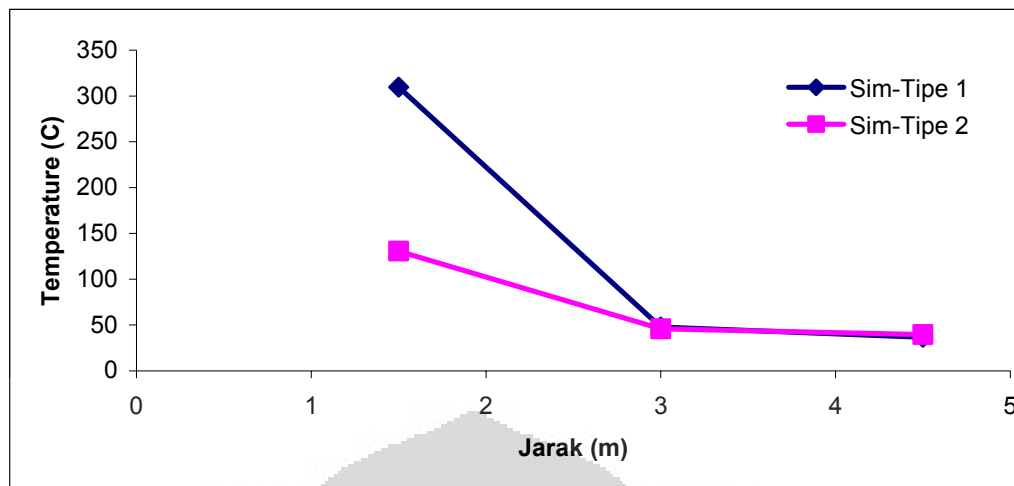
$$\begin{aligned} \dot{q}''_R &= \varepsilon \left( \frac{\chi_R \dot{Q} \cos \theta}{4\pi s^2} \right) \\ &= \varepsilon \left( \frac{\chi_R \dot{Q}}{4\pi} \right) \left( \frac{\cos \theta}{s^2} \right) \\ &= \varepsilon \left( \frac{\chi_R \dot{Q}}{4\pi} \right) \left( \frac{s/r}{s^2} \right) \\ &= \varepsilon \left( \frac{\chi_R \dot{Q}}{4\pi} \right) \left( \frac{1}{(s^2 + y^2)^{0.5} \times s} \right) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Shokri dan Bayer

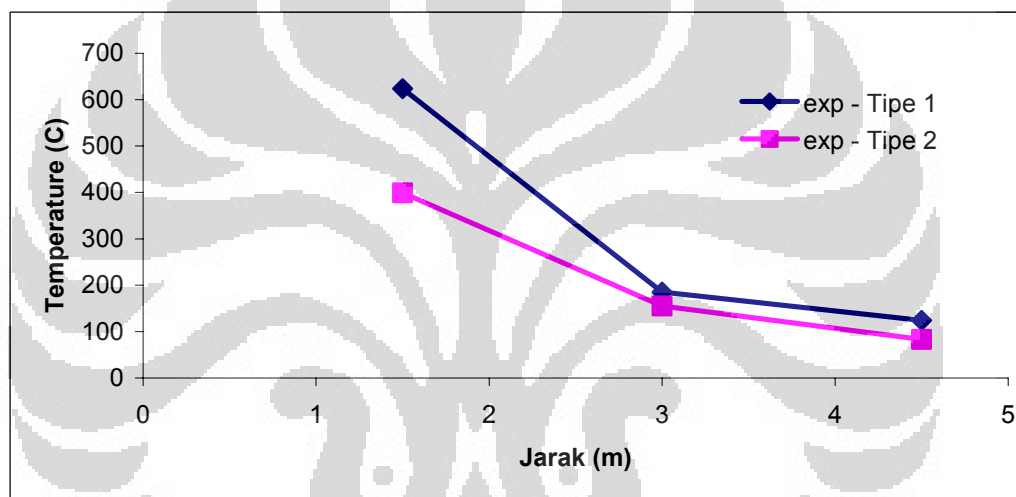
$$\begin{aligned} \dot{q}''_R &= 15.4 \left( \frac{d}{D} \right)^{-1.59} \\ &= 15.4 \left( \frac{1/2 D + s}{D} \right)^{-1.59} \end{aligned} \quad (4.6)$$



Gambar IV-8. Pengaruh jarak terhadap heat flux yang diterima dinding rumah target



(A)



(B)

Gambar IV-9. Pengaruh jarak terhadap temperature dinding target A) Simulasi  
B) Eksperimen

Pada Gambar IV-8 untuk grafik simulasi tipe 1 dan 2 diambil setelah pertumbuhan api 600 detik pada ketinggian 3 meter pada dinding rumah target, hal ini dilakukan karena menurut pengamatan penulis terhadap hasil simulasi pada waktu 600 sekon kondisi pertumbuhan api pada rumah *origin* maksimal sebelum menyebar ke rumah berdekatan. Dari grafik terlihat semuanya memiliki *trend* eksponensial tetapi dengan nilai pangkat yang berbeda. Dari hasil pendekatan teoritis nilai penurunan *heat flux* akibat penambahan jarak lebih landai dari hasil yang diperoleh pada simulasi. Hasil ini terjadi menurut penulis dikarenakan pada jarak 1.5 meter api yang tumbuh pada *origin* cukup besar sehingga menjilati secara langsung sensor sehingga panas yang diberikan lebih besar dan untuk variasi jarak yang lain fenomena ini tidak terjadi. Sedangkan pada perhitungan



teoritis tidak diperhitungkan apakah *receiver* langsung besentuhan dengan api atau tidak sehingga fenomena ini tidak terlihat pada perjihungan teoritis hal ini bisa dicontohkan pada perhitungan teoritis menggunakan pendekatan Shokri dan beyer, misalkan titik objek berada ditengah diameter api atau dengan kata lain langsung bersentuhan dengan api maka  $d = 0$  dan besar *heat flux* objek sama dengan:

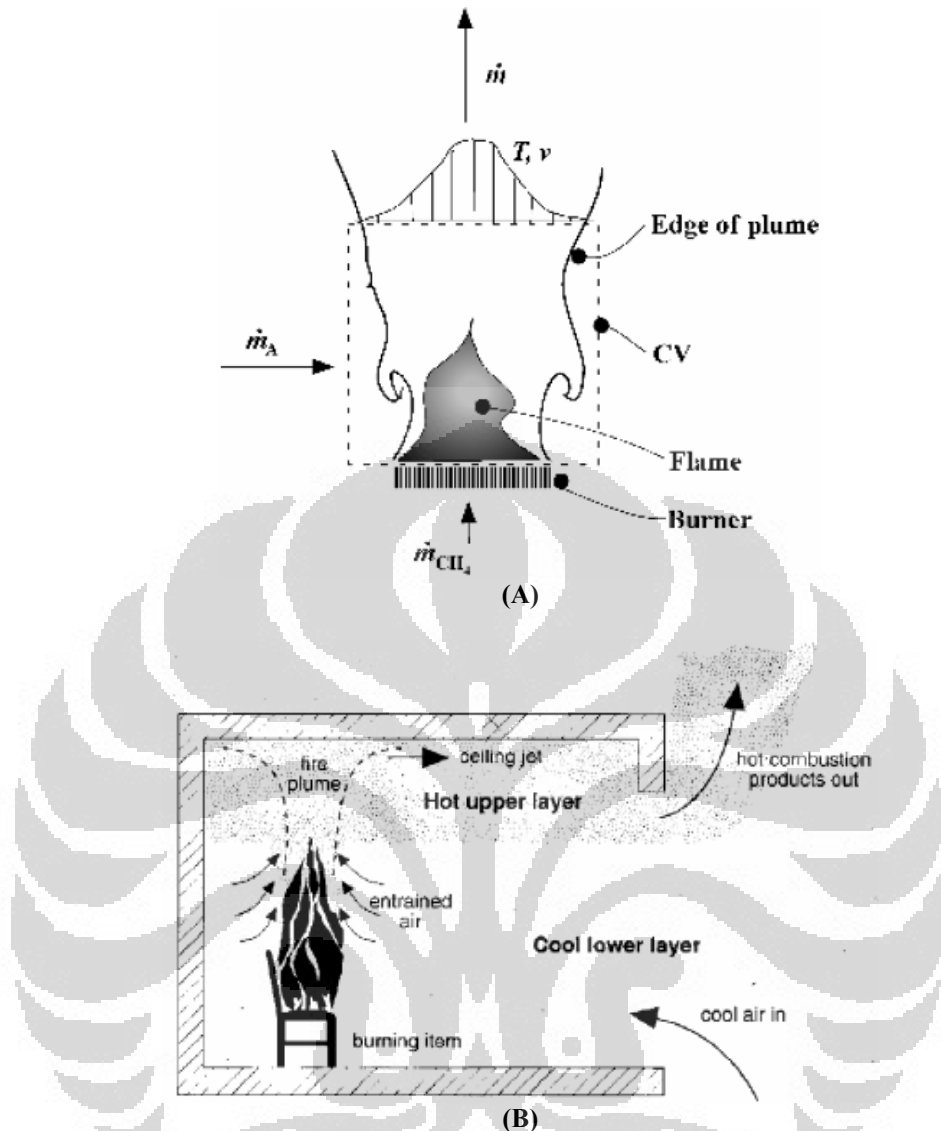
$$\begin{aligned} \dot{q}_R'' &= 15.4 \left( \frac{d}{D} \right)^{-1.59} \\ &= 15.4 \left( \frac{0}{D} \right)^{-1.59} = 0 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Hal ini menunjukkan pendekatan teoritis menggunakan rumus di atas tidak memiliki *trend* yang sesuai karena formulasi teoritis di atas memang tidak digunakan untuk situasi dimana jika titik objek berada dalam diameter api tersebut. Tetapi untuk trend perubahan *heat flux* dari 3 meter ke 4.5 meter tidak jauh berbeda dimana grafiknya cukup landai. Dari hasil survei terlihat rumah bahwa susunan rumah penduduk yang rapat pada daerah tersebut. Jika kita melihat *trend* dari grafik temperature dari Gambar IV-9 terlihat perilaku dari temperature mengikuti perilaku *heat flux* yang diterima, hal ini sangat rasional karena temperature merupakan representasi dari jumlah energi yang diterima dari *heat flux* dan kedua parameter ini memiliki nilai yang proporsional. Jika dilihat pada *profile heat flux* dan temperature terlihat bawa untuk dinding yang tinggi lebih rendah dan jaraknya relati kecil sehingga jangkauan *plume*-nya lebih besar nilai temperature pada dinding lebih besar hal ini mungkin saja disebabkan oleh halangan dari dinding atau efek dari adanya kanopi yang memperbuuk aliran. Dari eksperimen membuktikan bahwa perubahan atau penambahan jarak effectif dilakukan jika bisa menghindari jilatan api secara langsung ke target. Kemungkinan jilatan itu terjadi sangat berhubungan dengan besarnya rumah, banyaknya material mampu bakar dan kecepatan angin di lokasi tersebut. Hasil penelitian ini memberikan karakteristik dari perilaku tersebut sedangkan jarak yang effectif untuk memperkecil kemungkinan benda mampu bakar yang rata-rata ada pada bangunan sebagai titik awal api sangatlah relatif dengan kondisi bangunan tersebut .

## IV.2.2 Pengaruh Ketinggian Bangunan Terhadap Probabilitas Penyebaran Api

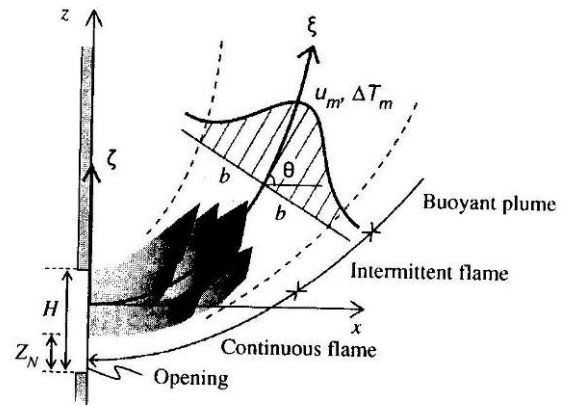
Pada bagian di atas telah dibahas bagaimana jarak mempengaruhi besar *heat flux* yang diterima target. Pada bagian ini akan dibahas bagaimana ketinggian mempengaruhi distribusi *heat flux* pada dinding rumah target. Jika kita mengacu pada rumusan besar *heat flux* di atas pada no 4.2 dan Gambar IV-6, penambahan ketinggian terhadap besar *heat flux* yang diterima akan berhubungan secara eksponensial. Karena dengan penambahan ketinggian jarak antara *emiter* dan *receiver* radiasi bertambah. Pendekatan tersebut berlaku jika jarak antara *radiator* dan objek cukup jauh sehingga besar *fire plume* dan *reaction zone (flame)* tidak signifikan lagi terhadap bangunan target.

Selain hal itu pada perpindahan api antar bangunan karakter dari *plumes* merupakan karakter *plumes* pada *compartement fire*, mengenai hal ini telah diulas sedikit pada bagian IV.1.2. Sebelum kita membahas lebih dalam mengenai *profile heat flux* terhadap ketinggian yang diterima dinding target, kita terlebih dahulu mengulas sedikit mengenai karakter *plumes* yang keluar dari *origin*. Untuk lebih jelasnya kita bisa mengacu pada Gambar IV-10.

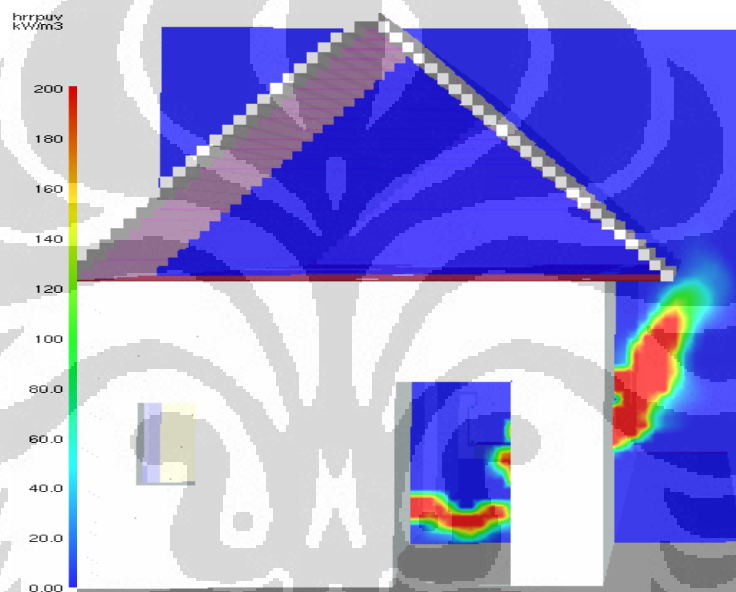


Gambar IV-10. Karakter api dan plumes pada proses pembakaran A) area terbuka B) compartment [10]

Pada proses pembakaran gerakan *plumes* diakibatkan oleh adanya gaya *boyancy* pada *plumes*, hal ini mengakibatkan *plumes* tersebut bergerak ke atas. Sedangkan pada *compartment fire* pergerakan *plumes* terhambat oleh adanya *ceiling* dan mengakibatkan *plumes* bergerak ke samping hal ini disebut *ceiling jet*. Setelah bergerak secara horizontal akibat adanya *ceiling*, *plumes* kembali bergerak ke atas setelah keluar dari *compartment* melalui jendela. Tetapi gerakan ini tidak lagi vertikal melainkan membentuk sudut terhadap sumbu Y. *Plumes* pada kondisi ini memiliki kecepatan searah sumbu X (sumbu horizontal) dan sumbu Y atau Z (sumbu vertikal). Pada kondisi seperti ini, *plumes* ini sendiri punya jangkauan horizontal yang lebih jauh dari kondisi *plumes* pada pembakaran di area terbuka.



(A)



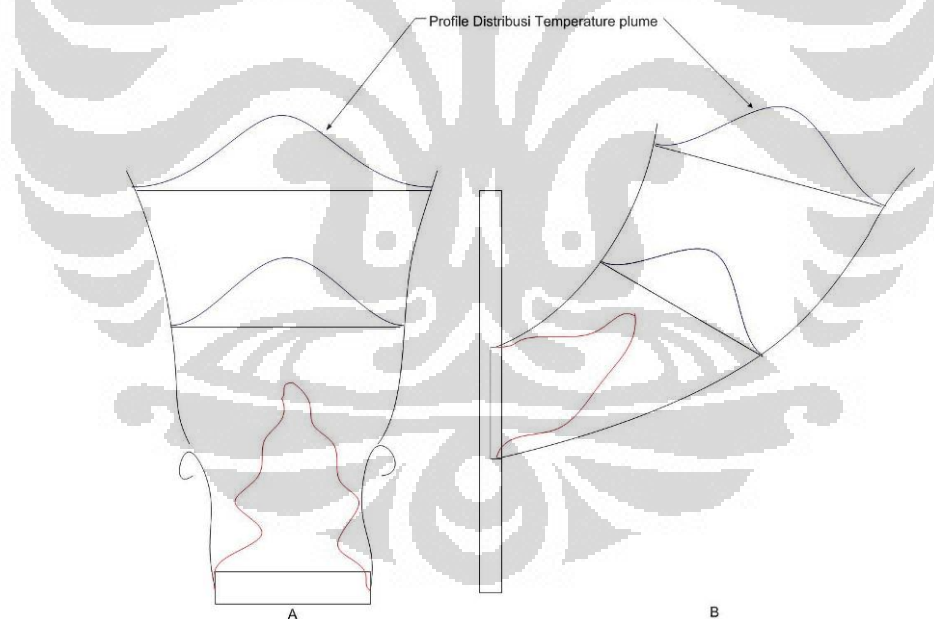
(B)



(C)

**Gambar IV-11. Karakter plumes yang keluar dari jendela pada compartment fire A) Himoto [5] B) Hasil Simulasi C) Eksperimen**

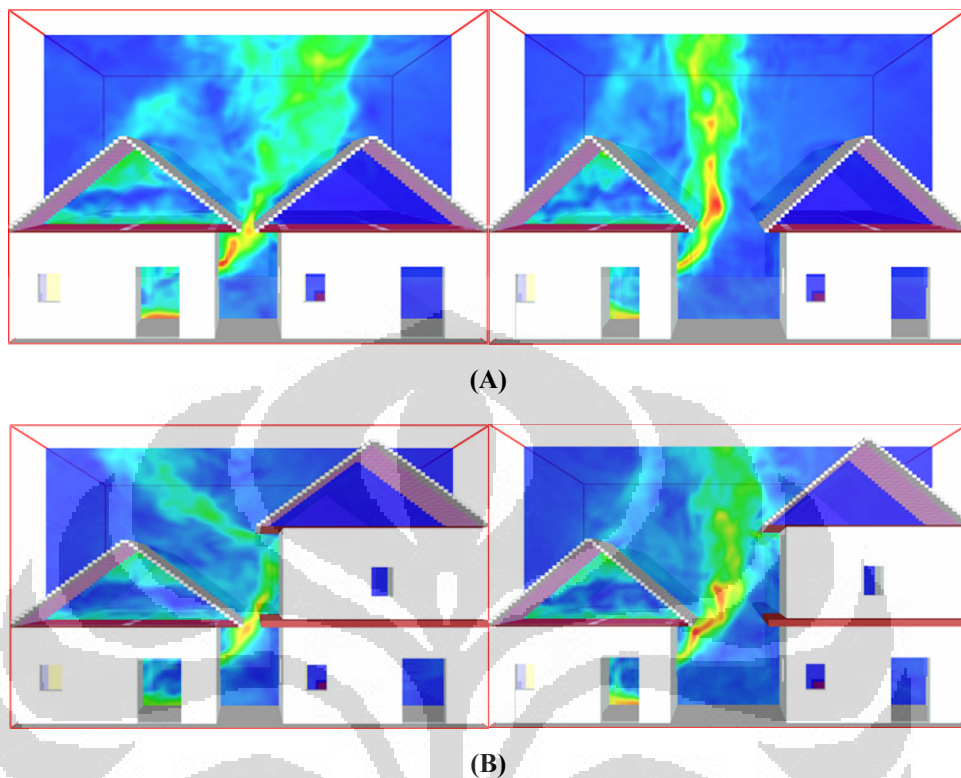
Pada *plumes*, area *plumes* yang dekat dengan pusat *plumes* merupakan titik yang memiliki energi tertinggi, ini terlihat dari besarnya nilai temperature pada titik tersebut. Pada *plumes* distribusi dari temperaturnya memiliki distribusi gaussian. Pada *plumes* dari api pada daerah terbuka gaussian model pada distribusi temperature *plumes*-nya menghadap ke atas seperti terlihat pada Gambar IV-10 A. Sedangkan pada *plumes* yang keluar dari *compartment*, distribusi temperatur memiliki bentuk seperti gaussian model juga hanya saja memiliki kemiringan tertentu, hal ini diilustrasikan pada gambar IV-11. Selain hal itu besar kemiringan profil distribusi temperature dari *plumes* ini sebanding dengan pertambahan besar kecepatan *plumes* searah sumbu X . Pada kedua *plumes* berlaku suatu fenomena yang bersifat umum dimana bentuk distribusi profile temperature dari *plumes* akan selalu tegak lurus dan gaussian terhadap *cross section* area dari *plumes*. Untuk mudahnya pemahaman maka dapat diilustrasikan seperti Gambar IV-12 di bawah ini



**Gambar IV-12. Profil distribusi temperature plumes A) Di area Terbuka B) Pada jendela**

Beberapa fenomena di atas terkait dengan perilaku api pada *fire origin*, perilaku *origin* ini membentuk kecenderungan dari perilaku profil temperatur dari dinding rumah target. Profil temperatur yang ada pada dinding target sangatlah dipengaruhi dari profil kecepatan *plumes* dan *heat flux* yang keluar dari bukaan

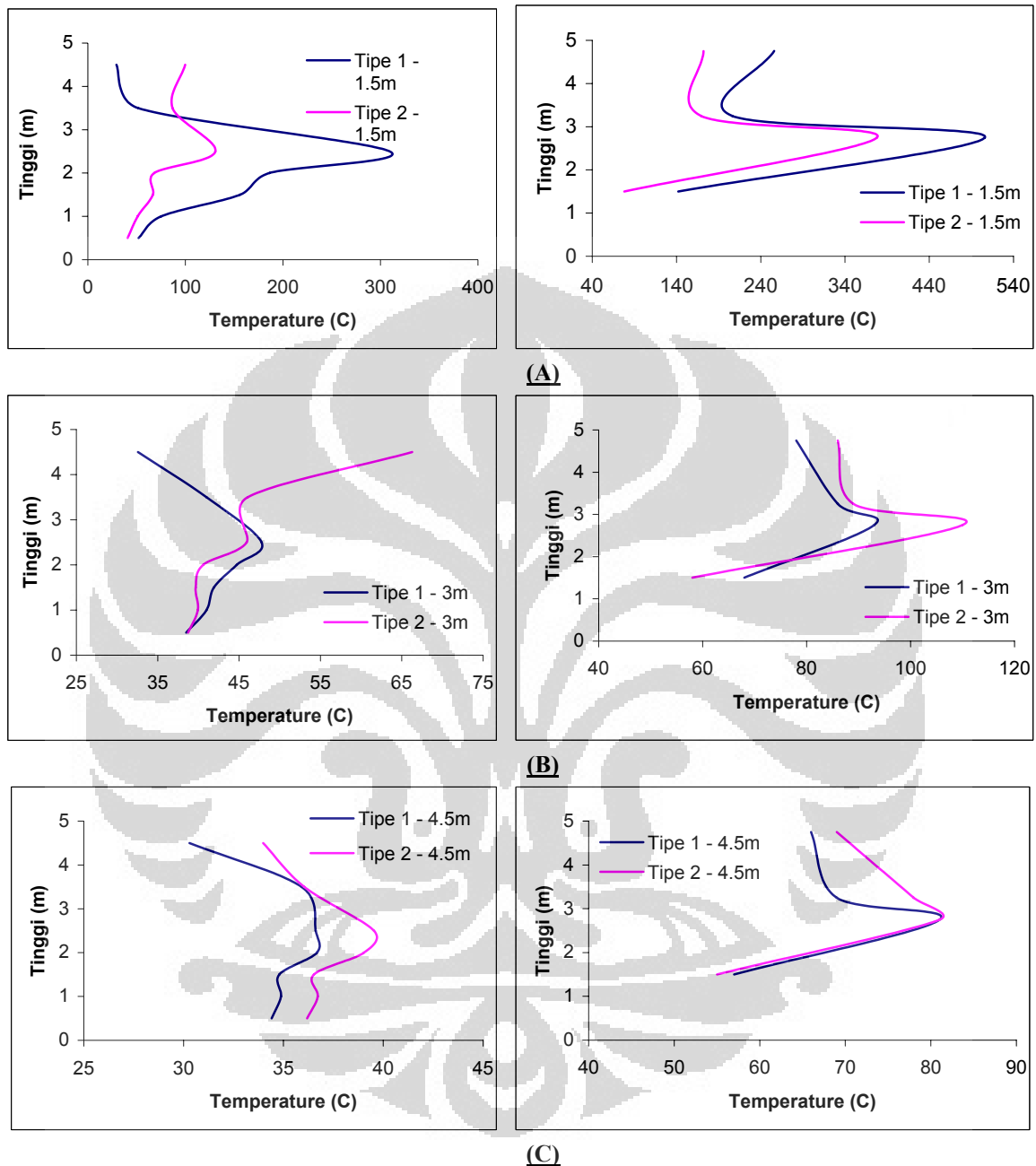
*compartment*. Profil kecepatan dan *heat flux plumes* yang keluar dari jendela rumah dapat dilihat pada gambar di lampiran A no 3 dan 4.



**Gambar IV-13. Profile kecepatan plumes A) simulasi tipe 1 B) simulasi tipe 2**

Gambar IV-13 di atas memperlihatkan profil dari kecepatan *plumes* yang menerpa rumah target. Pada gambar di atas terlihat jelas bahwa pada jarak yang relatif sangat dekat terhadap besar jet *plumes* yang keluar dari jendela rumah maka aliran *plumes* sangat terpengaruhi oleh keberadaan rumah target dan gerakan *plumes* tertahan oleh adanya kanopi sehingga perpindahan panas dari *plumes* ke kanopi lebih banyak dikarenakan waktu perpindahan lebih lama dan sebagian *plumes* mengalami *recirculating* atau putaran pada bagian kanopi akibatnya probabilitas perpindahan api pada area itu menjadi sangat besar dibandingkan kondisi yang lain. Hal ini jugalah yang mengakibatkan kenapa pada simulasi tipe 1 jarak 1.5 meter mengalami penyebaran api yang dibahas pada bagian awal sub bab IV-2. Selain hal itu jika kita bandingkan antara kondisi simulasi pada A dan B, maka kondisi B memiliki area sentuh antara *plumes* dan dinding lebih luas yang mengakibatkan perpindahan panas menjadi lebih besar yang secara tidak langsung meningkatkan probabilitas benda mampu bakar yang

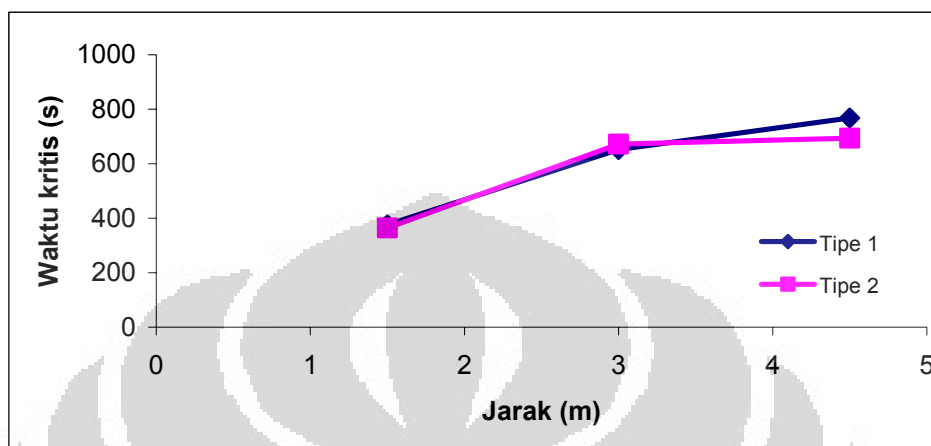
berada disekita area tersebut menjadi lebih tinggi. Profil temperatur yang ada pada dinding target dapat dilihat pada Gambar IV – 14 di bawah ini.



**Gambar IV-14. Profile distribusi temperature pada dinding target untuk simulasi dan eksperimen dengan jarak bangunan A) 1.5m B) 3m C) 4.5m**

Dari semua uraian di atas terlihat pelebaran gang atau jarak antar bangunan dapat mengurangi probabilitas tingkat resiko penyebaran api dari suatu rumah ke rumah lain, pelebaran jarak antar bangunan akan besar pengaruhnya jika bias mengurangi jangkauan api dan *plumes* secara langsung ke bagian kanopi atau atap rumah serta benda yang mampu baker lainnya di bagian eksterior rumah.

Sedangkan penambahan tinggi bangunan rumah target perpindahan api pada jarak antar bangunan yang sama dapat meningkatkan probabilitas penyebaran api ke bangunan tersebut hal ini diakibatkan karena jangkauan *plumes* bertambah ke rumah tersebut



Gambar IV-15. Pengaruh jarak dan penambahan ketinggian pada waktu mencapai heat flux kritis yang diterima dinding target

Jika kita menelaah grafik pada Gambar IV-15 terlihat bahwa pada daerah dimana jangkauan api mencapai target, penambahan ketinggian tidak terlalu berperan dalam mempercepat perpindahan api pada bangunan target hal ini terlihat dengan waktu yang dibutuhkan dinding rumah target untuk memperoleh *heat flux kritis* untuk benda terbuat dari kayu terbakar tidak berbeda jauh, waktu perpindahan bertambah cukup besar pada penambahan jarak antar bangunan dari 1.5 meter menjadi 3 meter sedangkan penambahan ketinggian baru terasa efeknya saat jarak antar bangunan dibandingkan jangkauan *plumes* relatif lebih besar dari jarak antar bangunan yang lain. Probabilitas tingkat resiko kebakaran turun selain diakibatkan nilai parameter fisiknya semakin kecil, juga dikarenakan waktu yang tersedia untuk menyelamatkan diri juga bertambah untuk jarak gang yang lebar serta akses yang lebih layak untuk proses penanggulangan kebakaran oleh petugas juga tersedia.



## BAB V KESIMPULAN dan SARAN

Resiko dan karakteristik penyebaran api pada area yang padat telah coba kami analisa menggunakan *field-based fire model* dan eksperimen skala laboratorium. Pada simulasi, *fire origins* merupakan sebuah rumah dengan satu lantai. Efek dari parameter fisik terhadap penyebaran api telah diinvestigasi, hasilnya terlihat seperti di bawah ini:

- a) Material bangunan dan *heat flux* dari sebuah rumah sebagai sumber api memainkan peranan yang penting dalam penyebaran api.
- b) *Heat flux* yang diterima oleh rumah yang berdekatan dari sumber api berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara sumber api dengan target.
- c) 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.
- d) Menambah tinggi gedung dapat memperburuk pola dari pergerakan *fire plumes*, dan hal ini memperbesar kemungkinan penyebaran api hingga level tertentu untuk rasio jarak antar bangunan terhadap besar jangkauan *plumes* yang relatif kecil

Penelitian ini merupakan suatu yang bersifat permulaan jadi belum didapat suatu nilai yang bersifat general untuk penyebaran api antar bangunan, tetapi hal tersebut sebenarnya telah coba diraba dalam penelitian ini, tetapi karna belum dilakukan eksplorasi yang lebih dalam terhadap hal tersebut maka tidak dimasukkan dalam hasil dan analisa. Menurut penulis penelitian ini sangat penting untuk dilanjutkan ke aspek yang lebih fundamental seperti pengaruh kanopi terhadap serapan *heat flux*, pengaruh besar jangkauan *plumes* terhadap jarak efektif dan banyak hal lagi yang perlu 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 dan memiliki karakter *optically thick* 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](http://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. Puspiartono, 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”

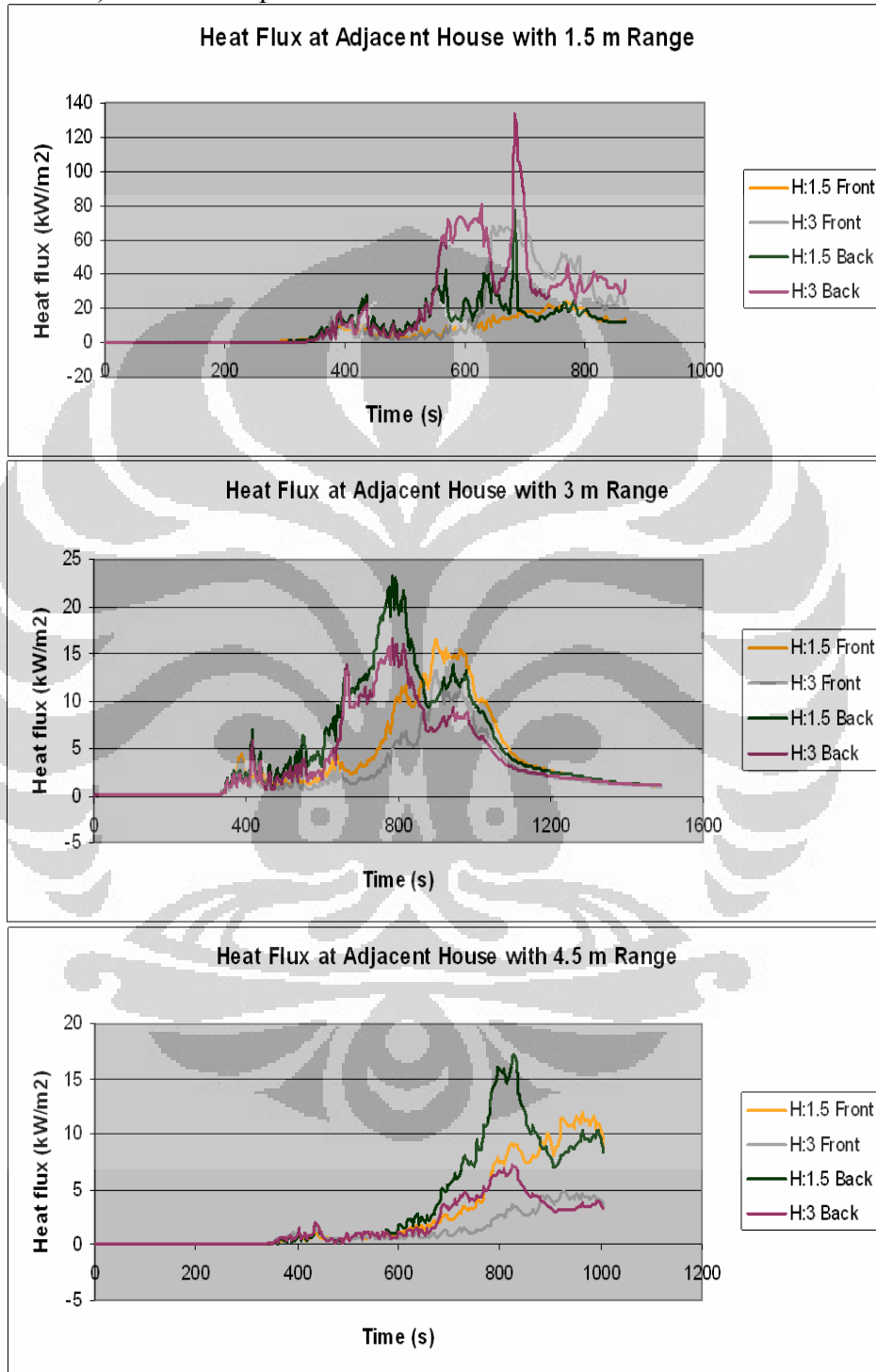




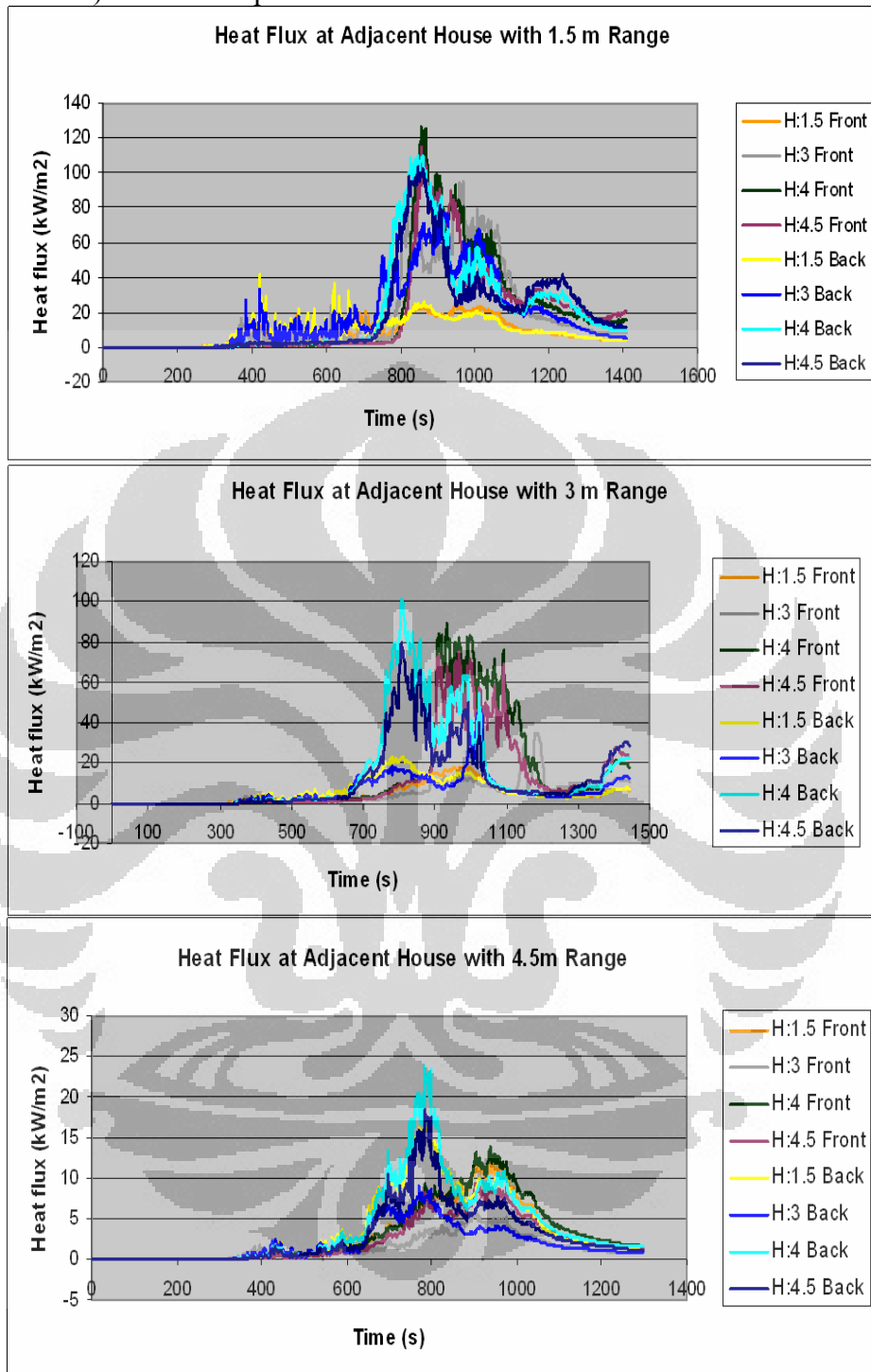
**(A) Gambar hasil Simulasi**

**1. Heat flux yang diterima oleh dinding rumah target**

a) Simulasi tipe 1

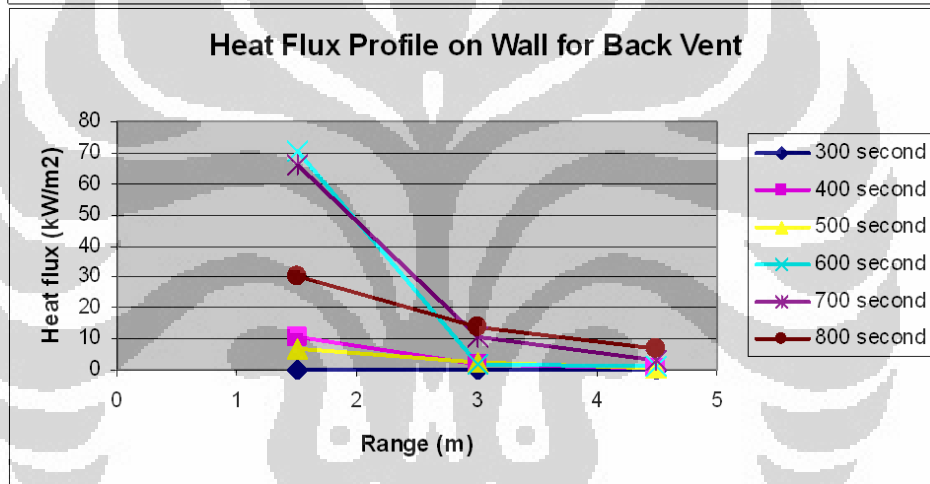
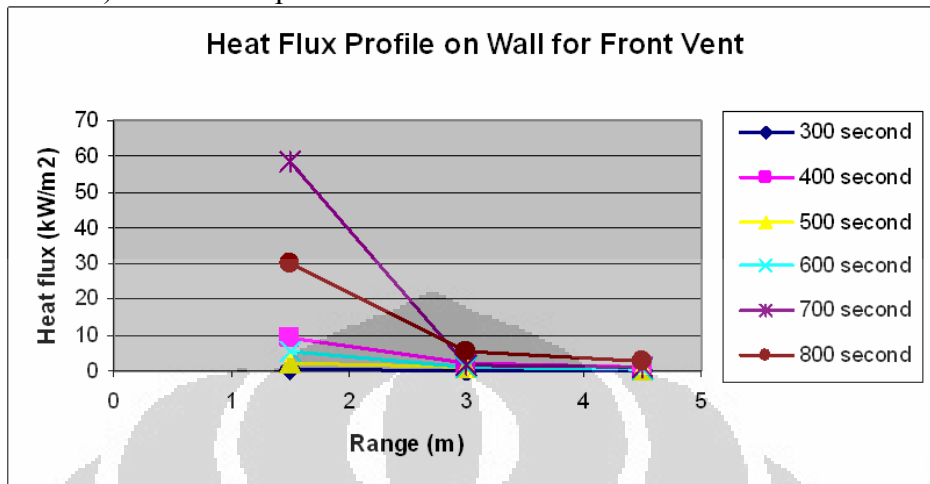


b) Simulasi tipe 2

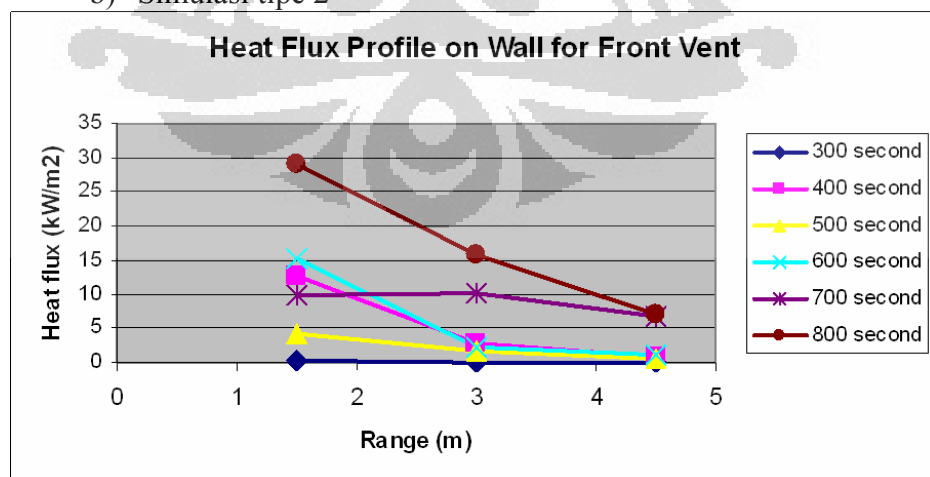


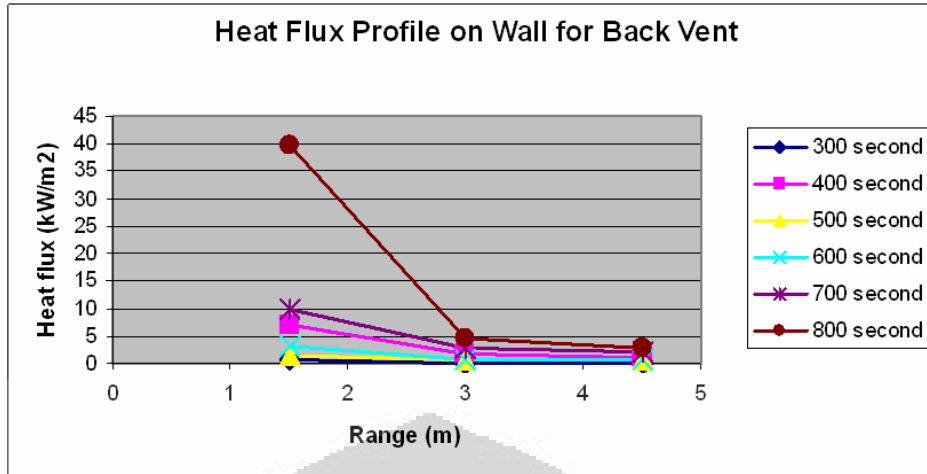
2. Pengaruh jarak bangunan terhadap heat flux yang diterima dinding target

a) Simulasi tipe 1



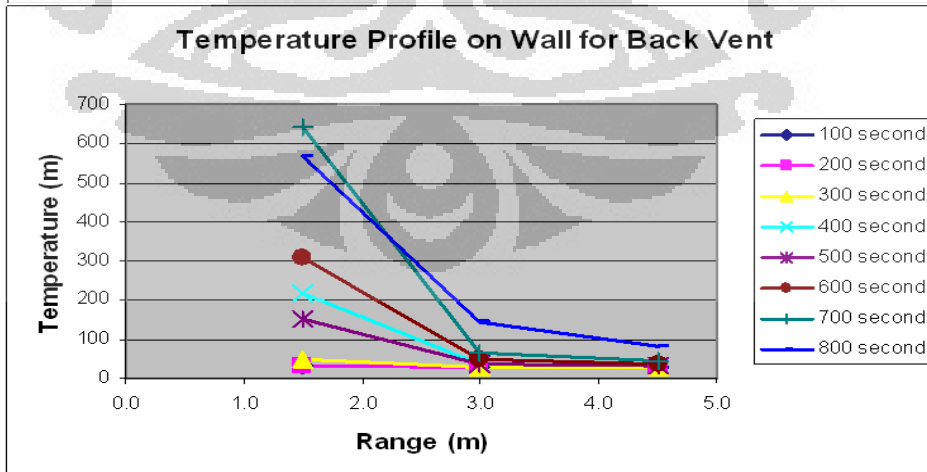
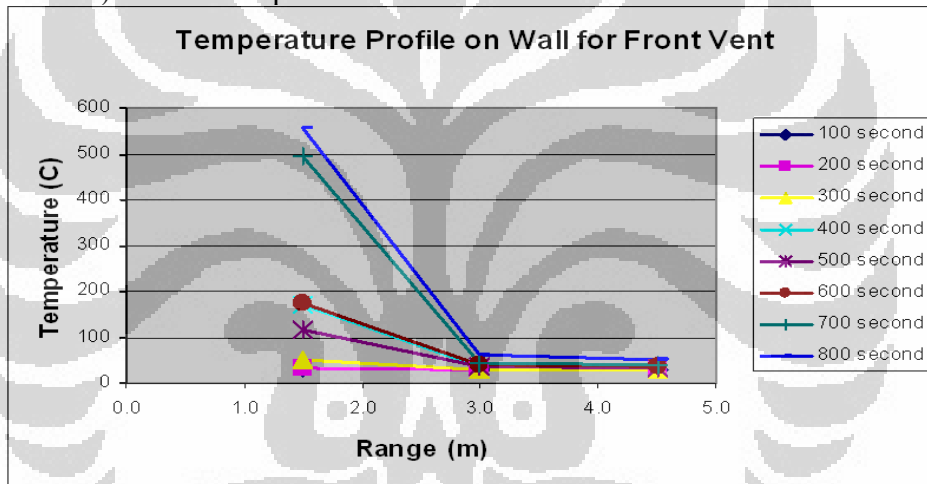
b) Simulasi tipe 2





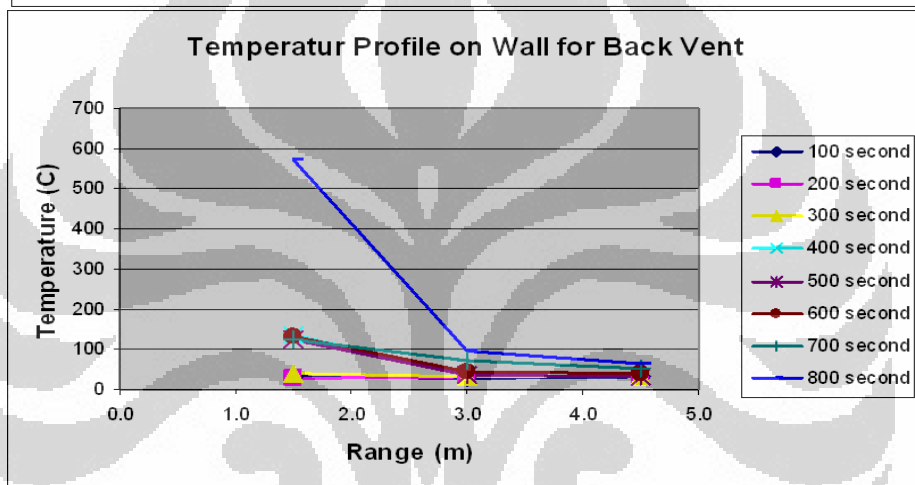
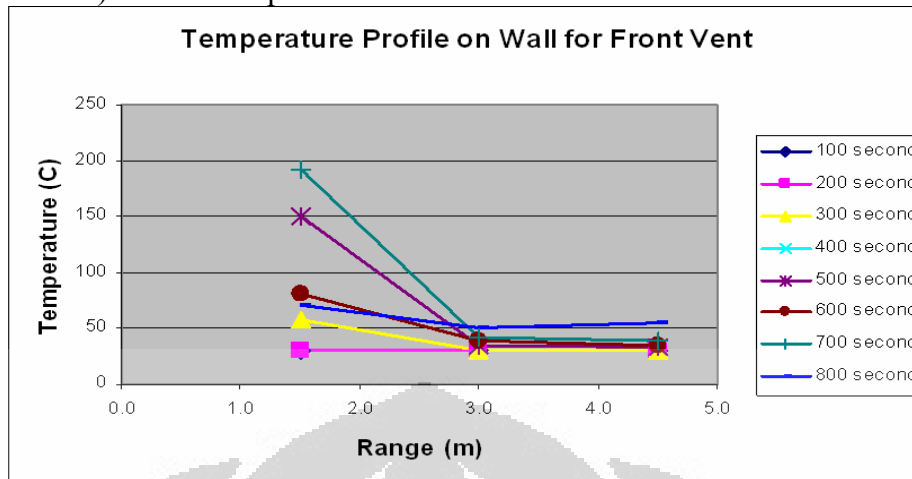
### 3. Pengaruh jarak bangunan terhadap profile temperatur dinding target

#### a) Simulasi tipe 1





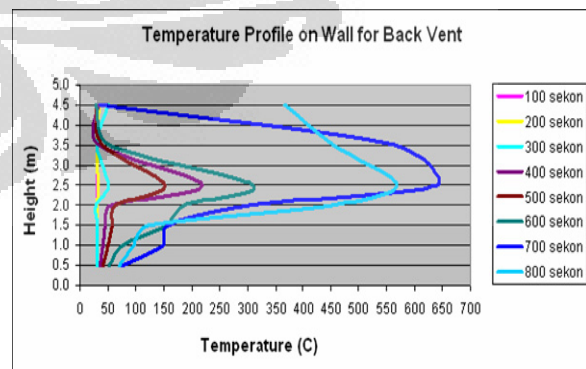
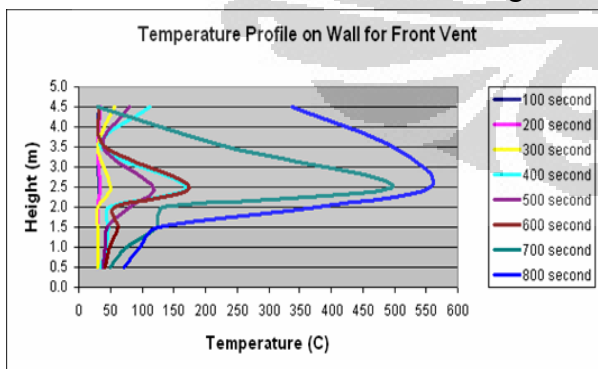
b) Simulasi tipe 2



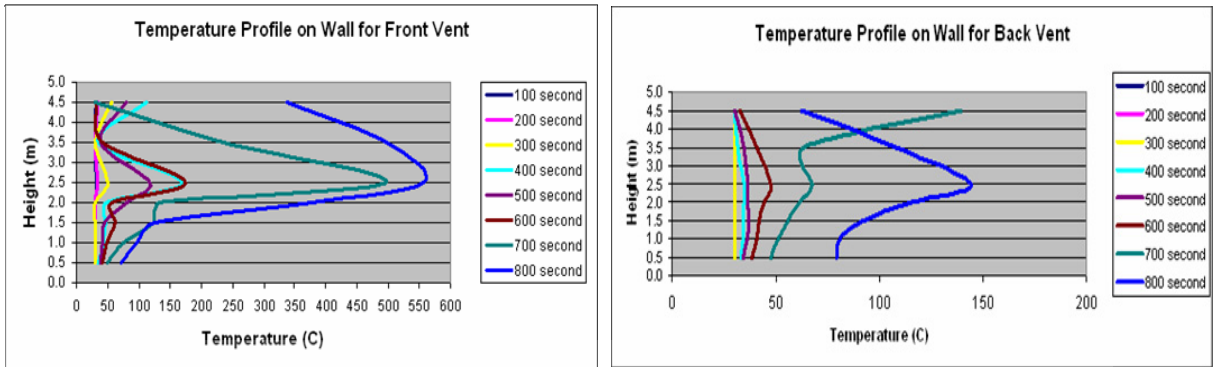
4. Pengaruh ketinggian bangunan target terhadap profile temperature dinding target

a) Simulasi tipe 1

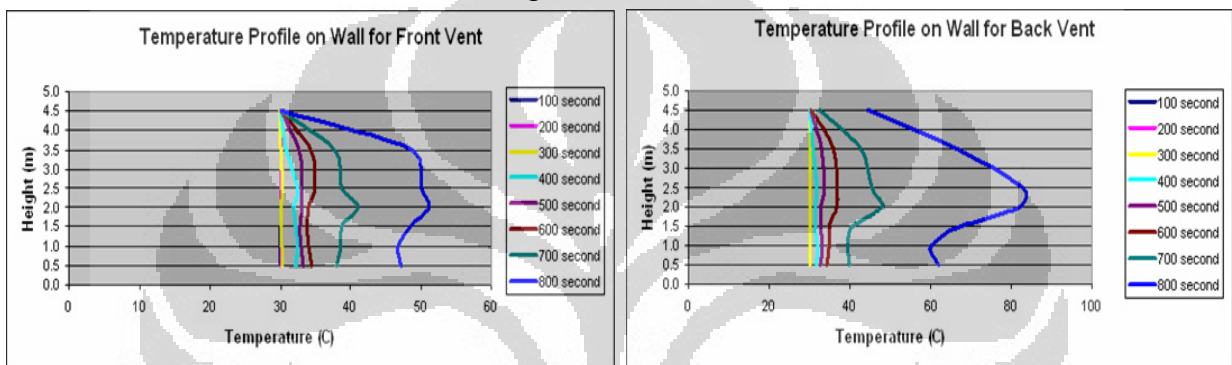
i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



ii. Jarak antar bangunan 3 meter

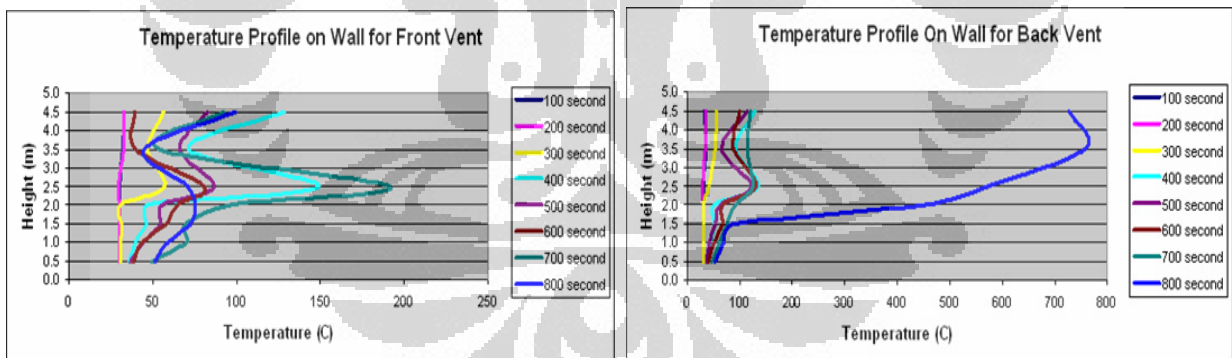


iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter

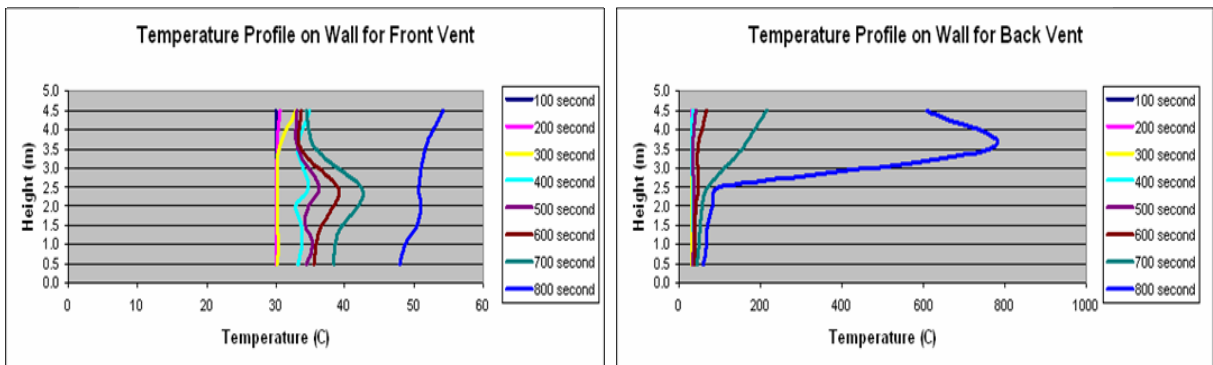


b) Simulasi tipe 2

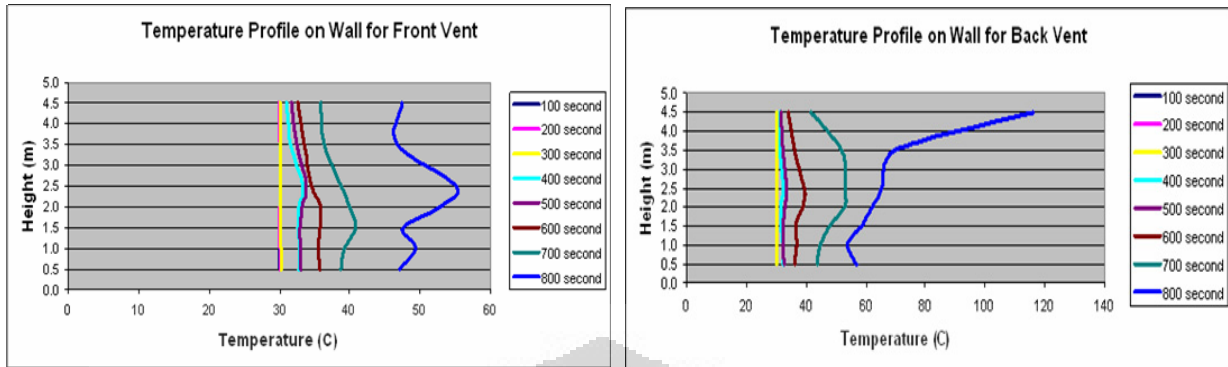
i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



ii. Jarak antar bangunan 3 meter



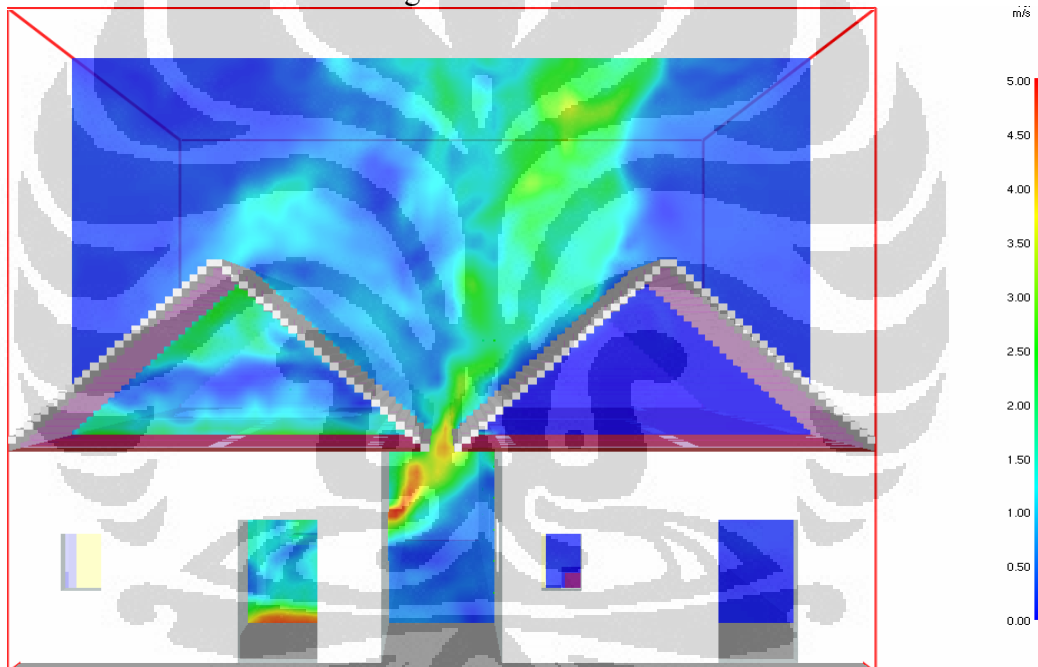
iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter



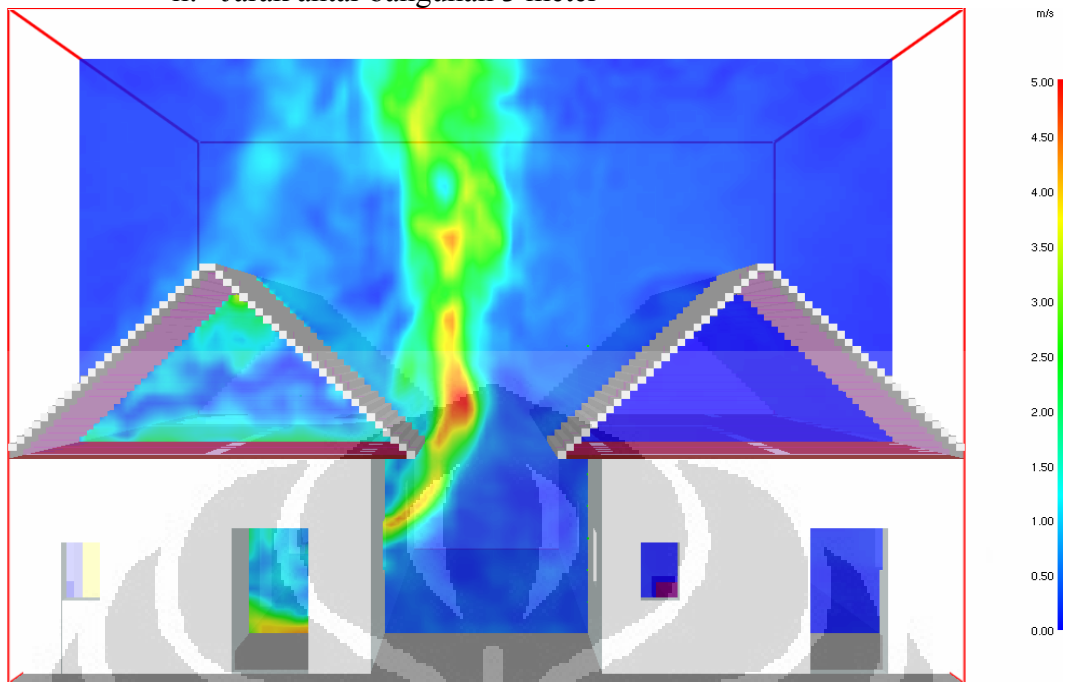
### 5. *Profile kecepatan plumes yang keluar dari asal api (fire origin)*

a) Simulasi tipe 1

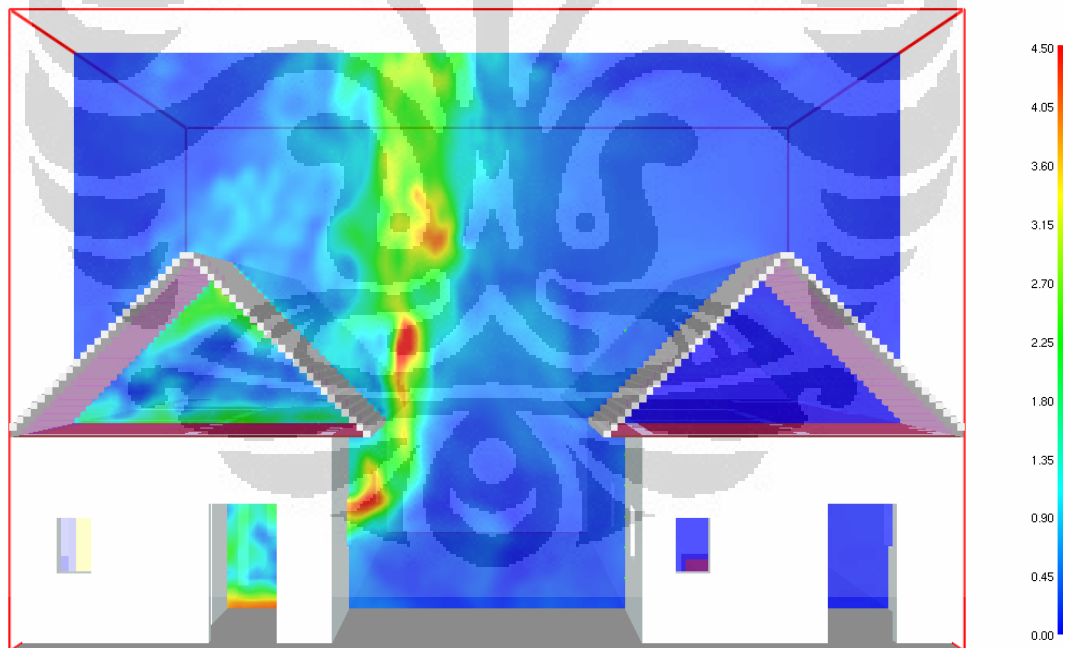
i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



ii. Jarak antar bangunan 3 meter

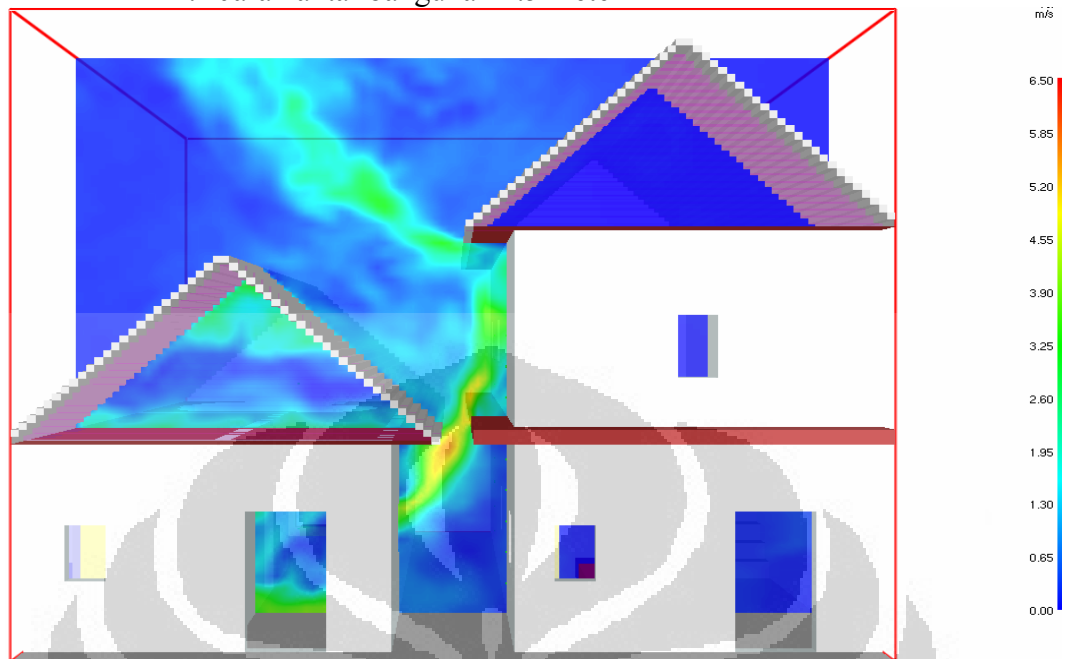


iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter

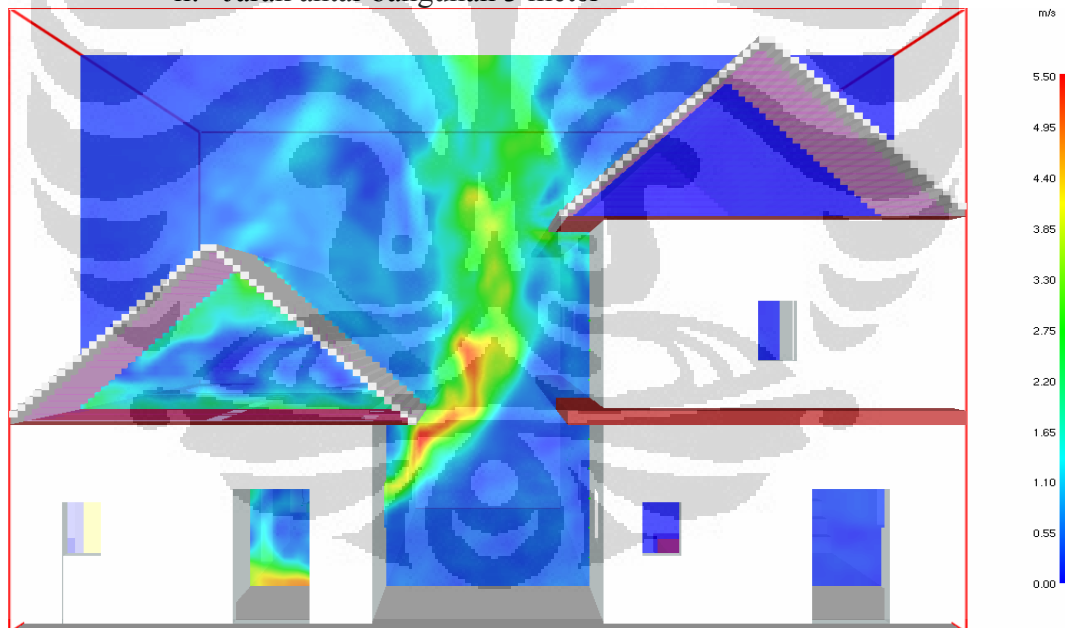


b) Simulasi tipe 2

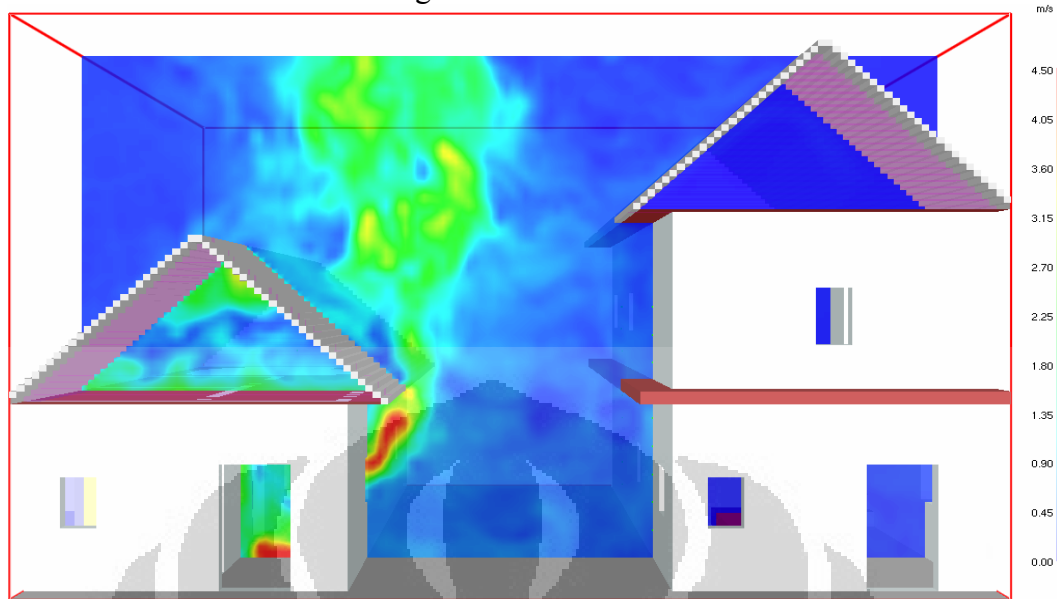
i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



ii. Jarak antar bangunan 3 meter



iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter

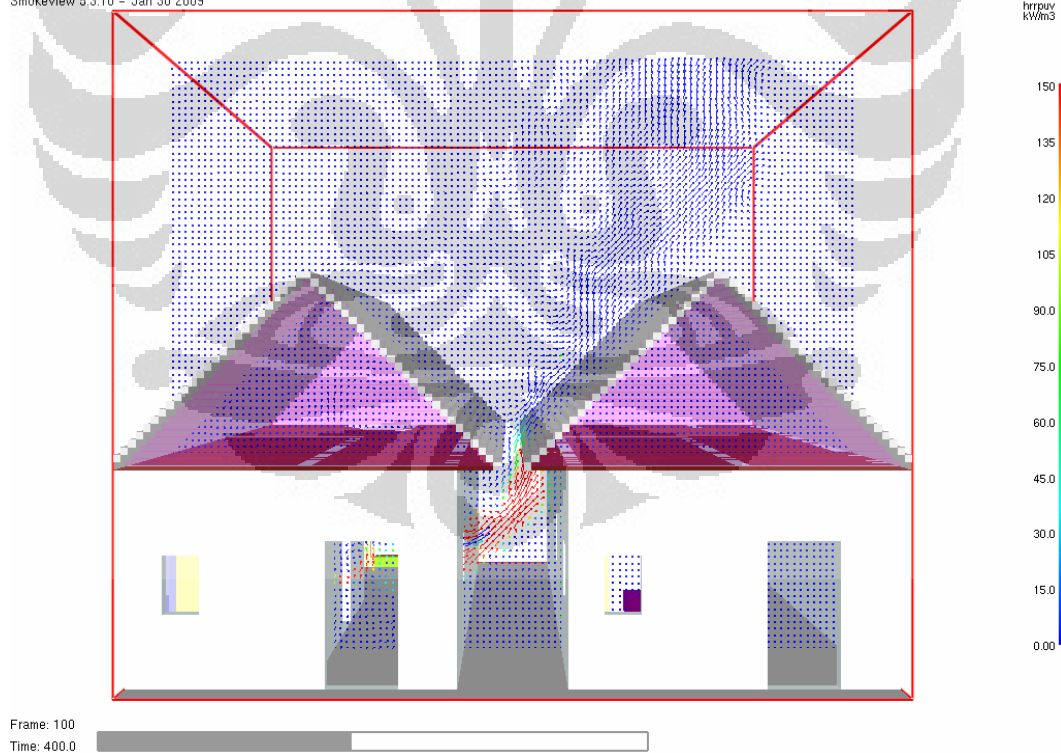


6. *Profile dari heat flux pada plumes fire origin*

a) Simulasi tipe 1

i. Jarak antar bangunan 1.5 meter

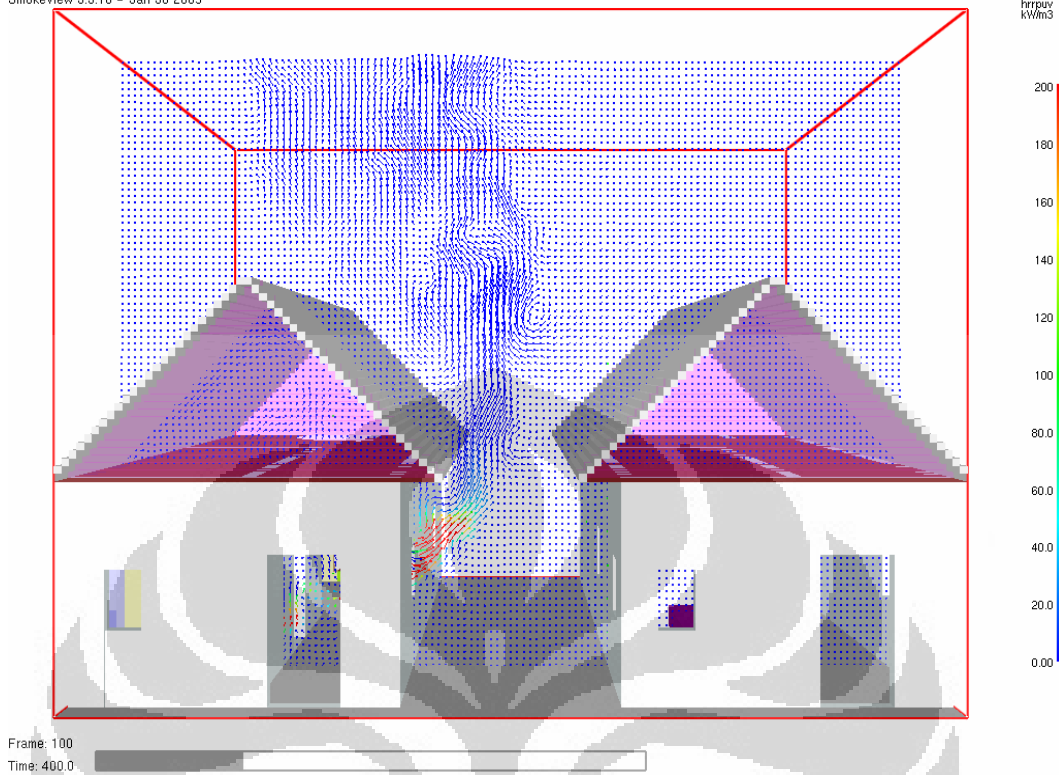
Smokeview 5.3.10 - Jan 30 2009





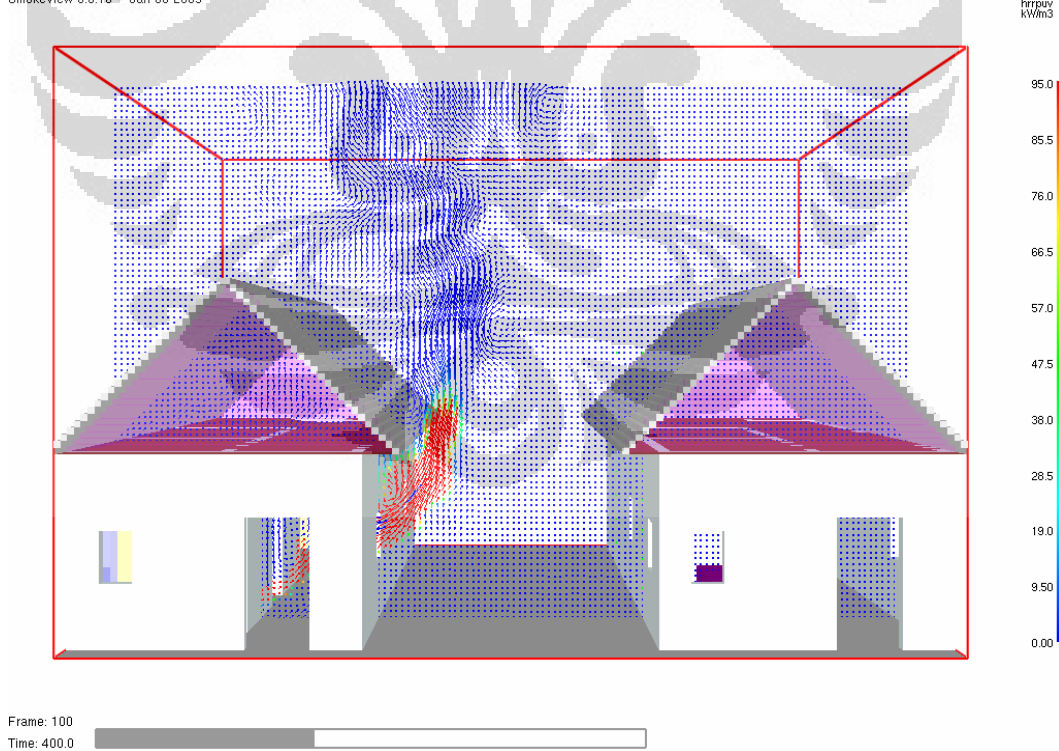
## ii. Jarak antar bangunan 3 meter

Smokeyview 5.3.10 - Jan 30 2009

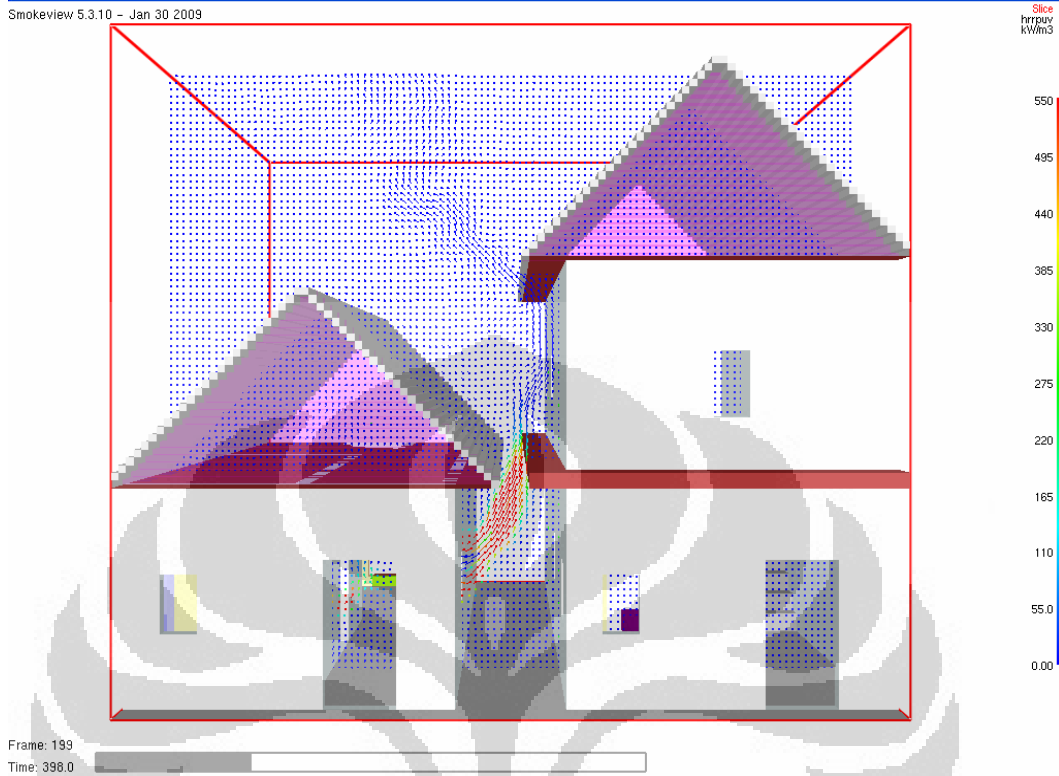


## iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter

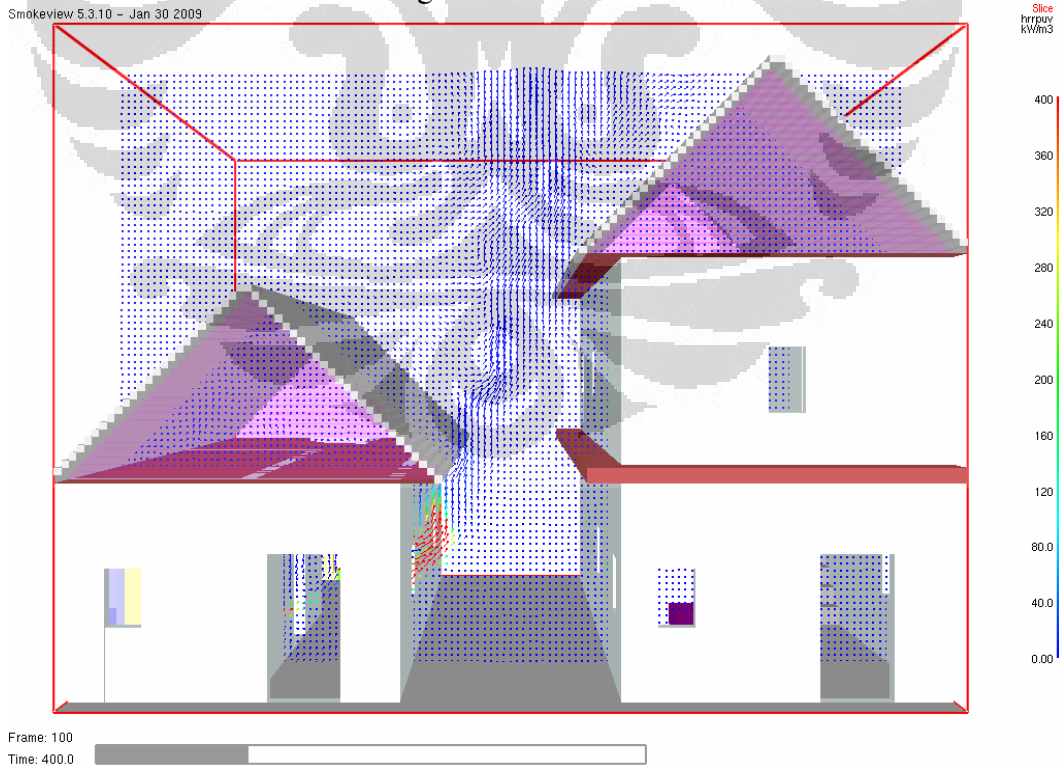
Smokeyview 5.3.10 - Jan 30 2009



b) Simulasi tipe 2  
i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



ii. Jarak antar bangunan 3 meter

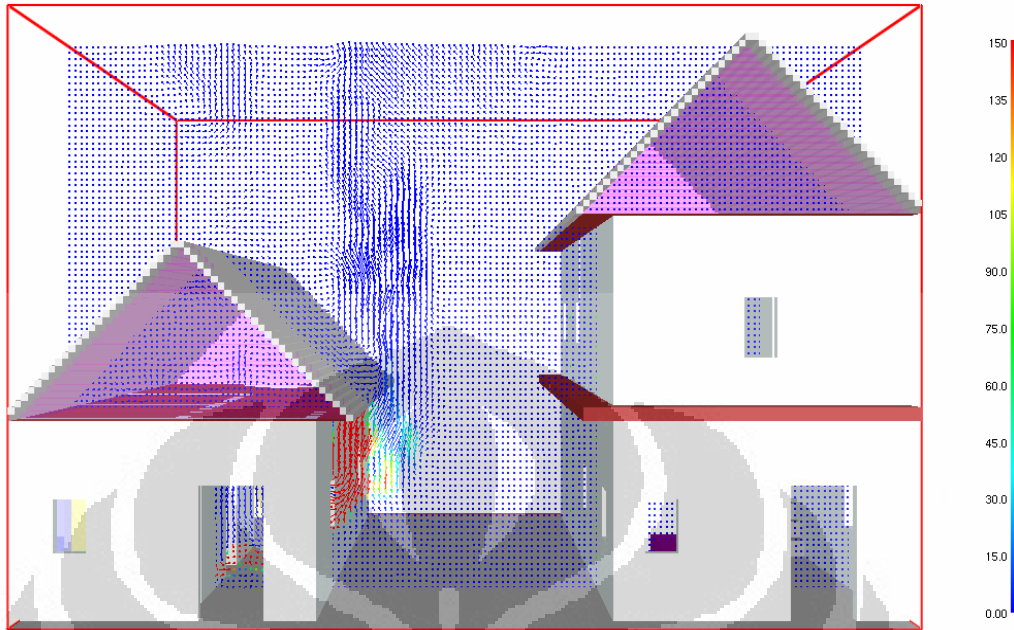




### iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter

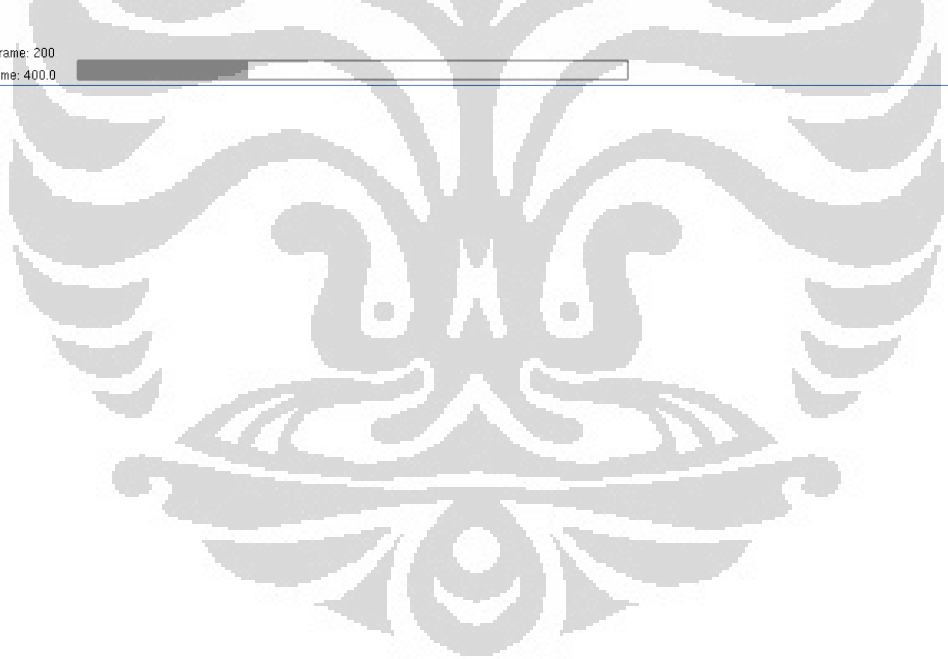
Smokeyview 5.3.10 - Jan 30 2009

SMOKEYVIEW  
Fireflow  
kW/m<sup>2</sup>



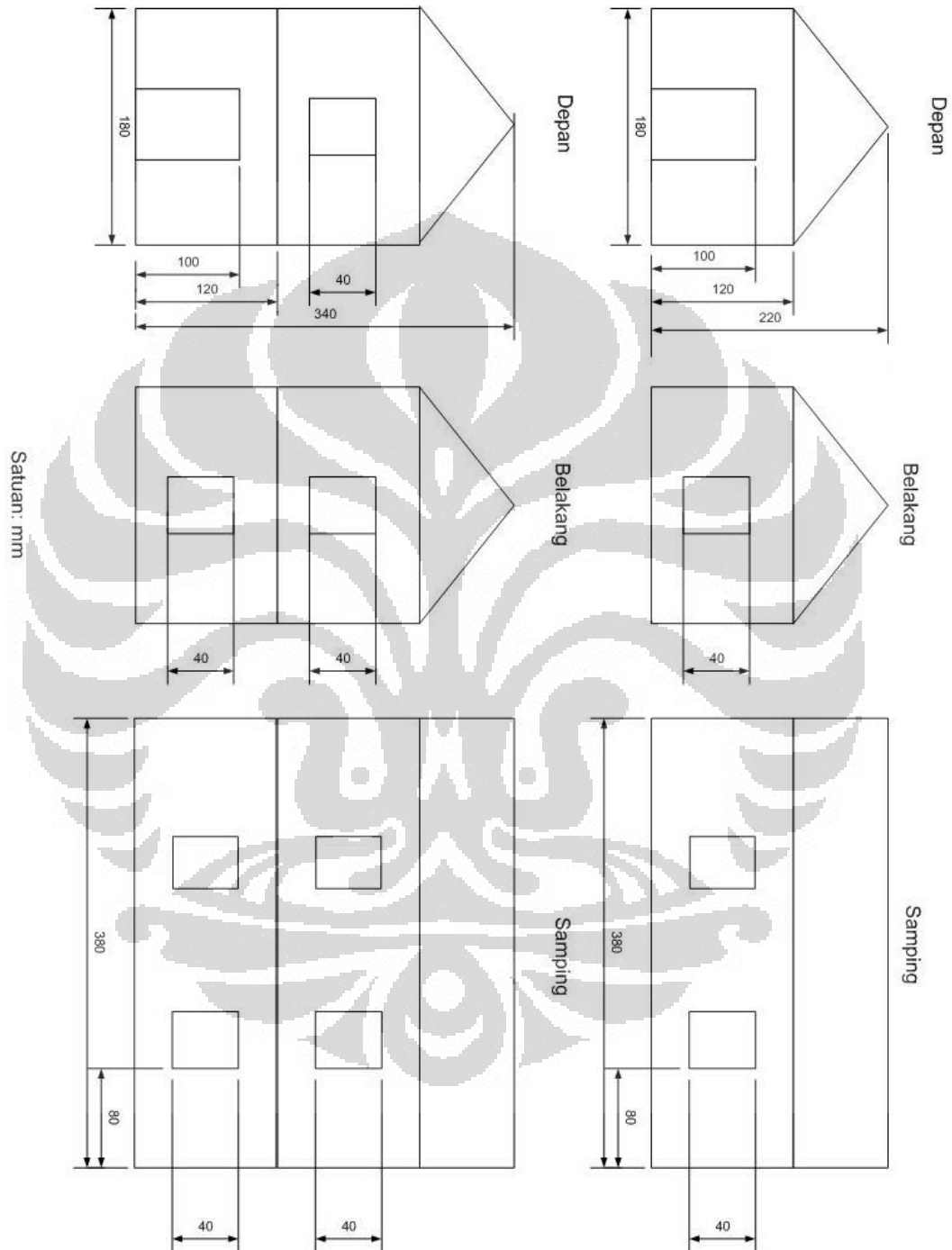
Frame: 200

Time: 400.0



## (B) Gambar eksperimen dan hasil eksperimen

### 1. *Layout maket :*



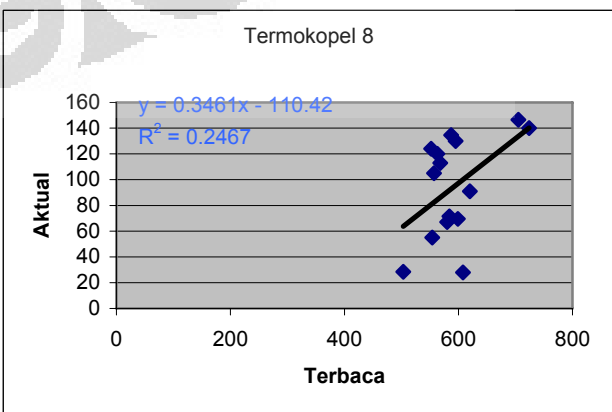
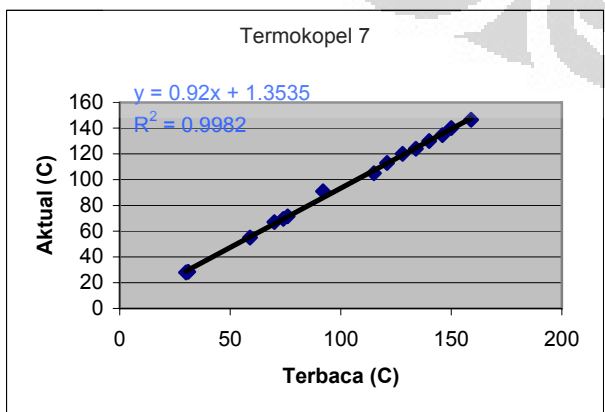
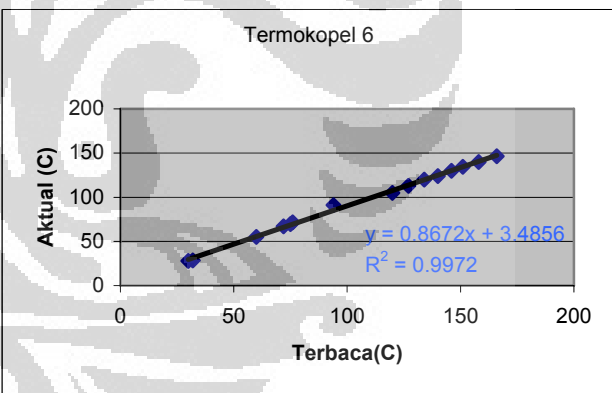
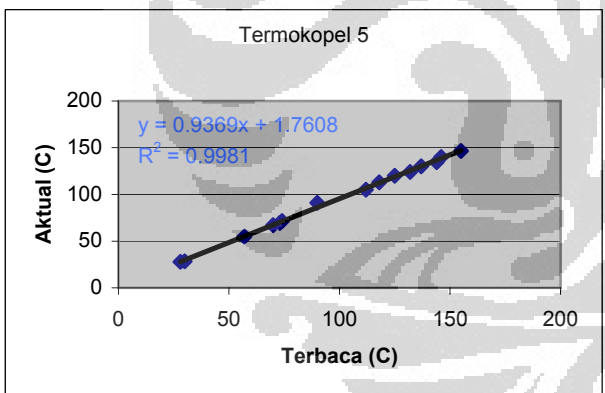
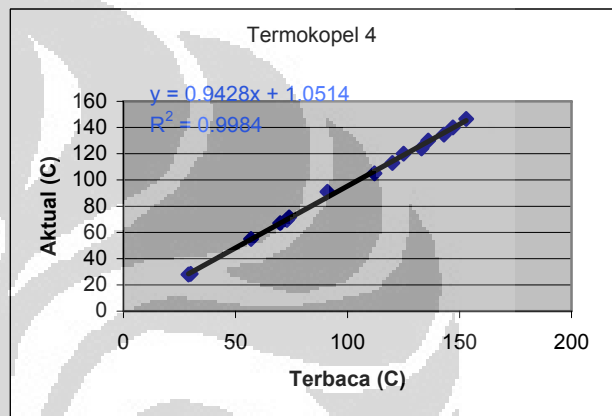
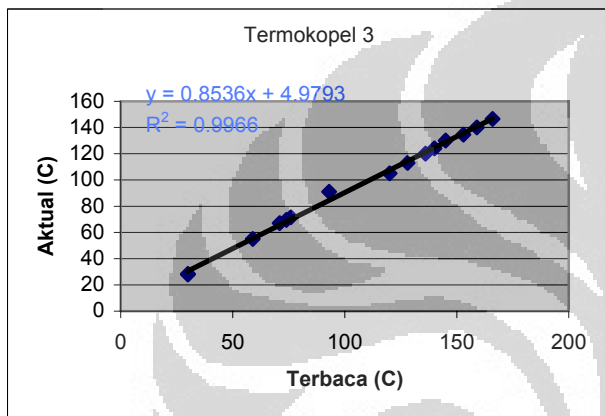
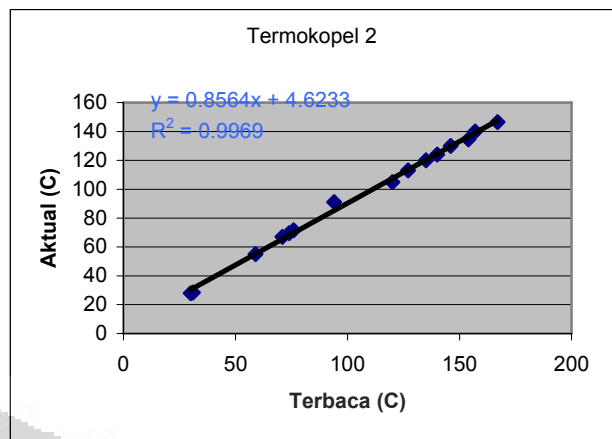
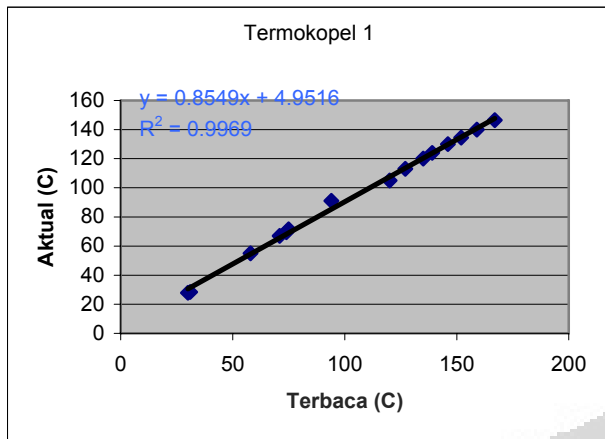
## 2. Termokopel:

### a) Konfigurasi termokopel



### b) Kalibrasi Termokopel :

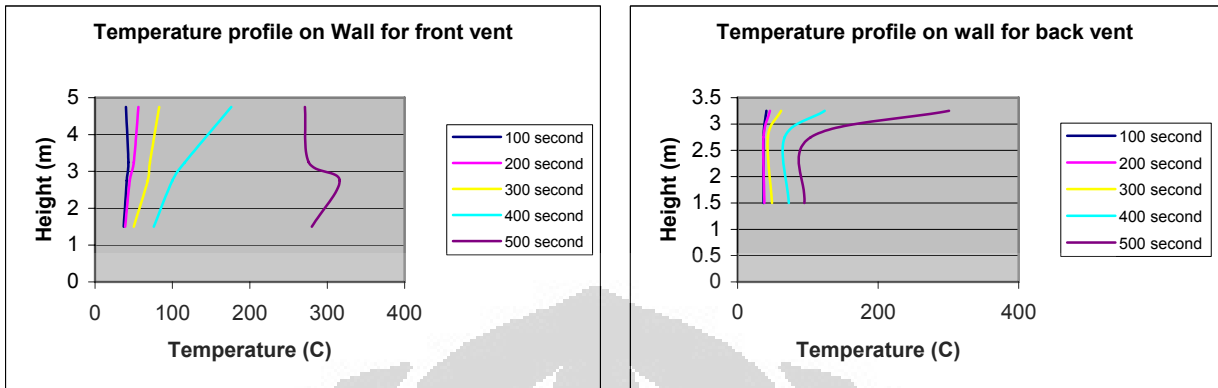
No	Standar	TMP1	TMP2	TMP3	TMP4	TMP5	TMP6	TMP7	TMP8
1	27.9	30	30	30	29	28	30	30	608
2	28.4	31	31	30	30	30	32	31	503
3	55	58	59	59	57	57	60	59	554
4	67	71	71	71	70	70	72	70	580
5	69.5	74	74	74	73	73	75	74	599
6	71.5	75	76	76	74	74	76	76	584
7	91	94	94	93	91	90	94	92	620
8	105	120	120	120	112	112	120	115	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



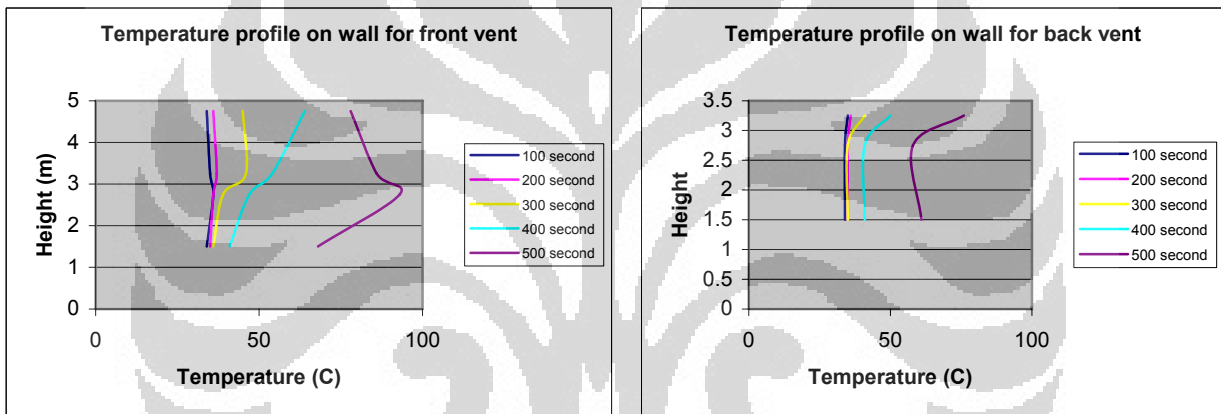
### 3. Profile temperature pada dinding rumah target

#### a) Simulasi tipe 1

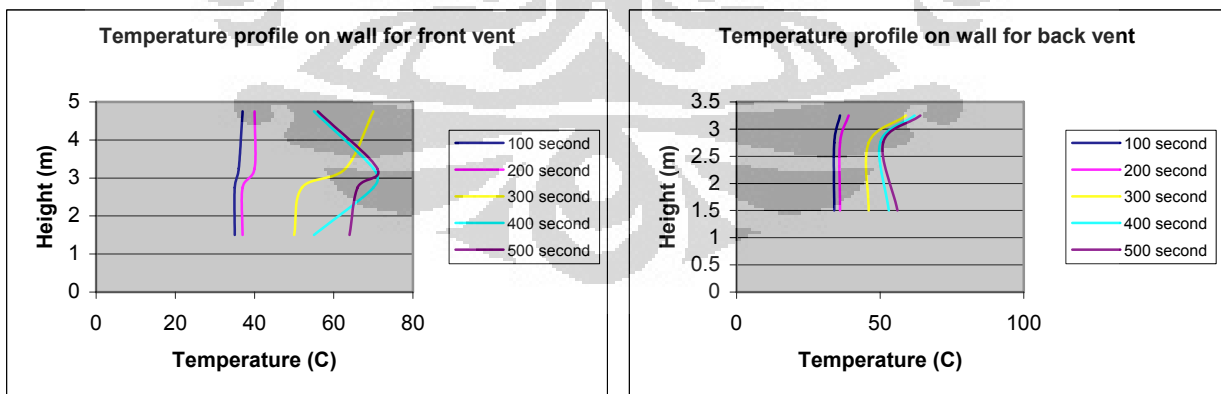
##### i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



##### ii. Jarak antar bangunan 3 meter

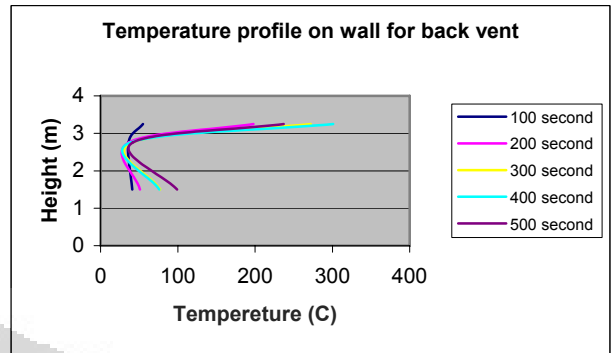
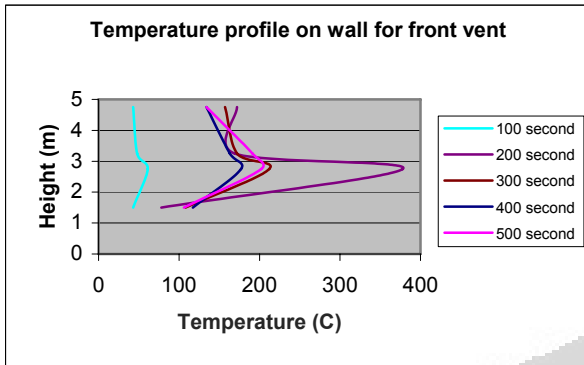


##### iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter

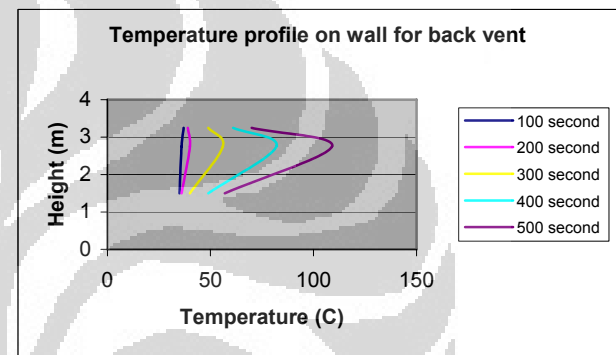
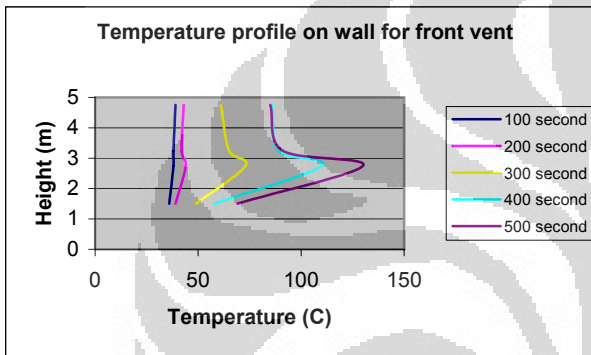


b) Simulasi tipe 2

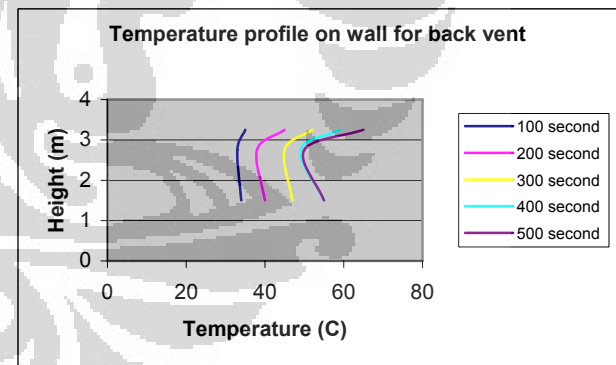
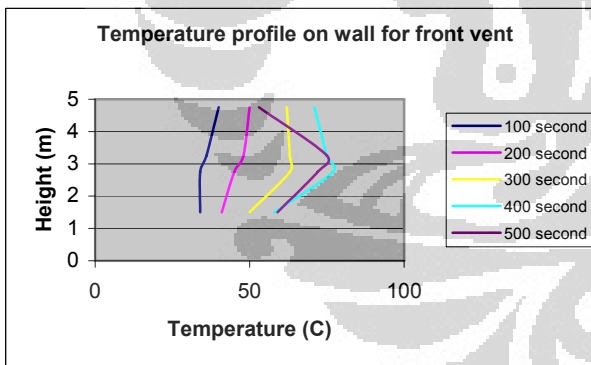
i. Jarak antar bangunan 1.5 meter



ii. Jarak antar bangunan 3 meter



iii. Jarak antar bangunan 4.5 meter





4. *Foto-foto eksperimen*



Data logger



Tempat eksperimen



Eksperimen tipe 1



Eksperimen tipe 2



Rumah berlantai 1



Rumah berlantai 2

**(C) Gambar survei dan hasil survei**

**1. Tipe-tipe gang pada pemukiman**





## 2. Hasil survei



Gambar 1. Pembagian Lokasi 16 Rukun Tetangga (RT)

Keterangan :

Lokasi RT



Gambar 2. Distribusi Kapasitas Perseorotuk

Kapasitas Perseorotuk



Gambar 3. Rute Jalur Evakuasi

Rute Jalur Evakuasi

