

BAB II

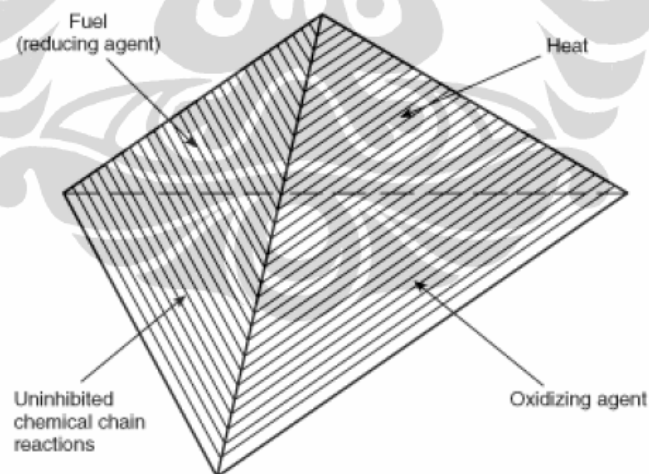
TEORI DASAR

Untuk menganalisis proses kebakaran pada bangunan tidak terlepas dari teori-teori api seperti : teori fisika dan kimia dari api, teori perpindahan kalor dan teori perkembangan api dan asap.

2.1. Teori Api

Reaksi pembakaran melibatkan empat komponen yaitu: bahan bakar, oksidator, panas dan *uninhibited chemical chain reaction*. Interaksi dari empat komponen ini dapat digambarkan sebagai bentuk *four-sided solid geometric* atau biasa disebut tetrahedron.

Proses pencegahan atau pemadaman api dapat dilakukan dengan mengendalikan atau memutus salah satu sisi dari tetrahedron tersebut. Prinsip inilah yang digunakan pada alat pemadam kebakaran.



Gbr 2.1. Prinsip Tetrahedron Api

2.2. Teori Perpindahan Kalor

Pada proses *ignition*, *burning* dan pemadaman akan melibatkan proses perpindahan kalor. Perpindahan kalor tersebut dapat berupa satu atau lebih dari ketiga metode: konduksi, konveksi dan radiasi.

2.2.1. Konduksi

Konduksi dapat digambarkan sebagai proses perpindahan panas didalam suatu benda padat ketika bagian lain dari benda tersebut dipanaskan. Jumlah energi panas yang dipindahkan melalui proses konduksi dalam suatu benda padat merupakan fungsi dari perbedaan temperature dan sifat konduktansi dari material tersebut. Nilai konduktansi material akan tergantung dari konduktivitas termal, area penampang dari bidang perpindahan dan panjang dari perpindahan. Laju perpindahan panas dapat disederhanakan sebagai jumlah panas per satuan waktu sedangkan *heat flux* merupakan jumlah panas per unit area penampang per satuan waktu.

2.2.2. Konveksi

Konveksi melibatkan perpindahan panas melalui pergerakan media seperti gas atau cair. Persamaan yang digunakan pada perpindahan kalor secara konveksi adalah:

$$q = h\Delta T$$

Dimana q adalah laju perpindahan kalor per satuan luas (W/m²) dan ΔT adalah perbedaan temperatur antara fluida dan permukaan. Sedangkan h adalah koefisien perpindahan kalor konvektif dari fluida.

2.2.3. Radiasi

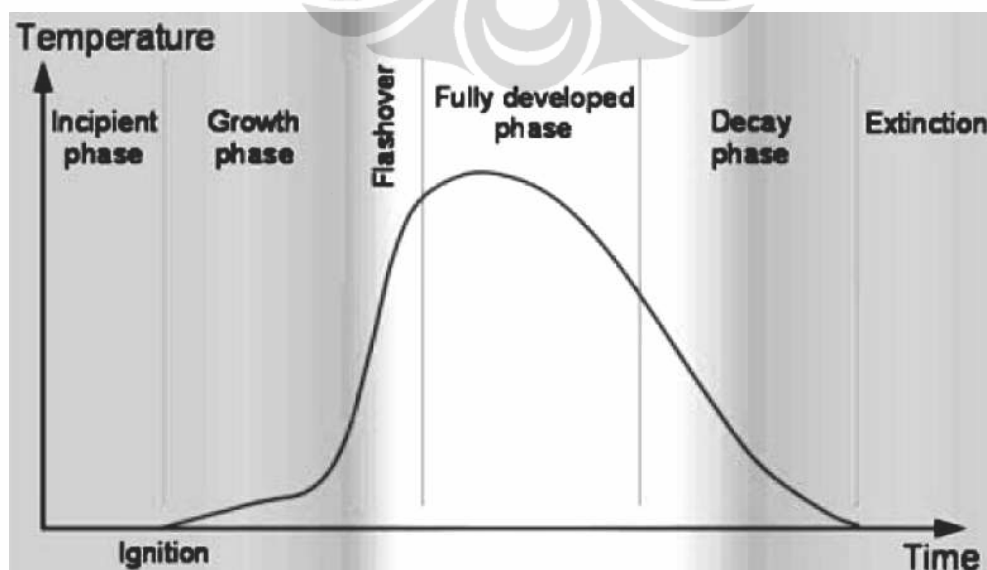
Radiasi adalah proses perpindahan kalor dari permukaan panas ke permukaan yang lebih dingin menggunakan gelombang elektromagnetik meskipun tanpa media perantara. Hukum Stefan-Boltzmann menyatakan bahwa emisi dari radiasi per satuan luas dari black surface berbanding langsung dengan pangkat empat dari temperatur absolutnya. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$q = \epsilon\sigma T^4$$

Dimana q merupakan emsisi radiasi per satuan luas area; ε adalah factor koreksi dari emisivitas dari permukaan sedangkan σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann yang besarnya sama dengan $5.67 \times 10^{-12} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^4)$.

2.3. Teori Perkembangan Api dan Asap

Kebakaran pada bangunan umumnya berawal dari kebakaran dalam suatu ruangan, yang sering disebut sebagai kebakaran dalam ruangan tertutup (compartment fire). Sifat kimia dan fisika yang terjadi saat penyulutan, dilanjutkan dengan pembakaran (combustion) ditambah dengan tersedianya beban api (fire load) dengan kuantitas yang cukup termasuk perletakannya, dimensi ruangan serta faktor ventilasi yang menunjang, maka kebakaran meningkat intensitasnya, ditandai dengan kecepatan penjalaran dan panas yang tinggi dalam waktu yang relatif singkat. Kebakaran dalam ruangan bisa mengarah kepada terjadinya atau ledakan asap (backdraft) apabila ruangan yang minim ventilasi tetapi cukup tahan terhadap tekanan yang timbul akibat kebakaran. Selain itu produk non-termal kebakaran lainnya selain asap, yakni gas-gas hasil pembakaran (selain CO_2 dan CO) seperti HCl dan HCN yang kerap tidak berwarna dan tidak berbau namun sangat beracun (toxic) sehingga banyak menimbulkan korban baik di kalangan penghuni / pengguna bangunan maupun dari kalangan petugas pemadam kebakaran, saat dilakukan operasi pemadaman.



Gbr 2.2. Tahapan Perkembangan Api terhadap Waktu

2.4. Simulasi Komputer

Saat ini sudah banyak dikembangkan program komputer untuk membantu proses analisis kebakaran dalam bangunan. Pada tabel dibawah ini merupakan sebagian dari program komputer yang banyak digunakan sesuai dengan tingkat kompleksitas analisis, pola api yang akan dianalisis, hingga pada bentuk outputnya:

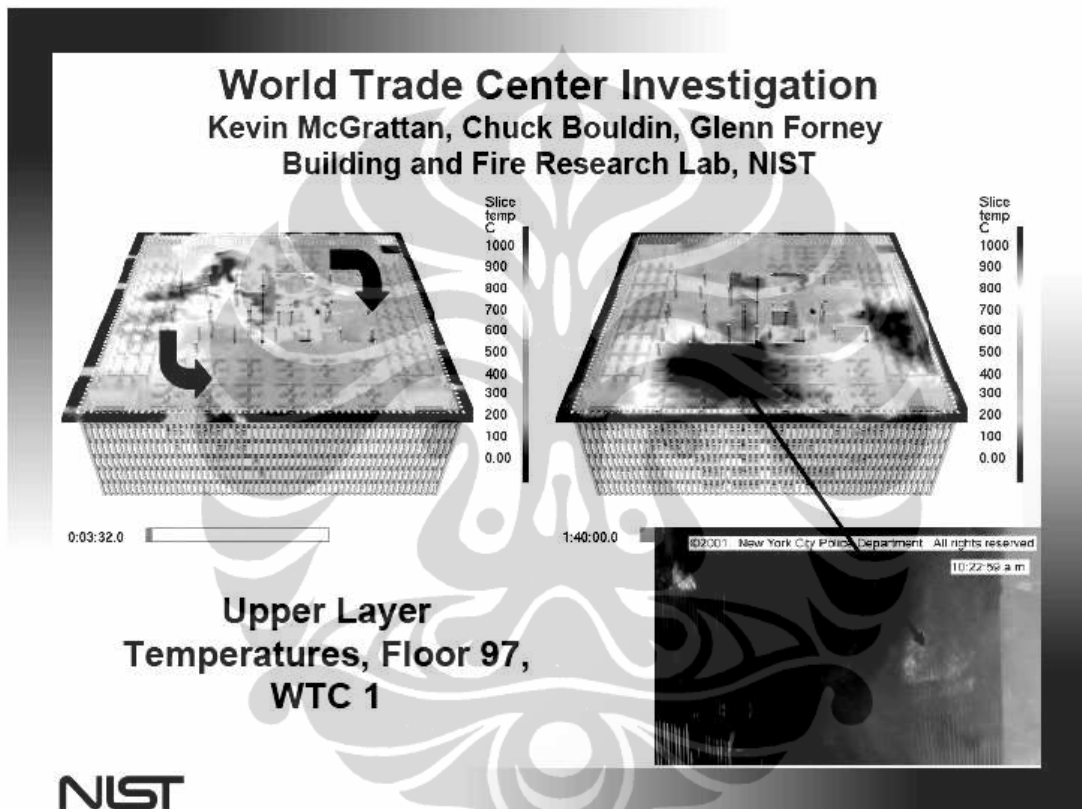
Tabel 1.1 Program Komputer Untuk Menganalisis Perkembangan Api dan Asap^[2]

Computer based models for fire and smoke movements							
Fire model	Norminal fires	Time equivalences	Compartment fires		Zone Models		CFD / field models
			Parametric	Localised	One-zone	Two-zone	
Complexity	Simple	Intermediate			Advanced		
Fire Behaviour	Post-flashover fires			Pre-flashover fires	Post-flashover fires	Pre-flashover / localised fires	Complete temperature-time relationships
Temperature distribution	Uniform in whole compartment			Non-uniform along plume	Uniform	Uniform in each layer	Time and space dependent
Input parameters	Fire type No physical parameters	Fire load Ventilation conditions Thermal properties of boundary Compartment size		Fire load & size Height of ceiling	Fire load Ventilation conditions Thermal properties of boundary Compartment size Detailed input for heat & mass balance of the system		Detailed input for solving the fundamental equations of the fluid flow
Design tools	BSEN1991-1-2				COMP2	CCFM	FDS
	PD7974-1		PD7974-1		OZone SFIRE-4	CFAST Ozone	SMARTFIRE SOFIE
	Simple equations for hand calculations		Spreadsheet	Simple equations	Computer models		

2.4.1. Program Fire Dynamic Simulation

Salah satu program komputer yang mampu menganalisis kebakaran secara lebih kompleks adalah Fire Dynamic Simulation (FDS) yang dikembangkan oleh NIST. Program komputer yang dapat melakukan *computational fluid dynamic* ini

telah secara luas digunakan oleh komunitas dibidang perlindungan kebakaran untuk berbagai aplikasi termasuk desain, rekonstruksi forensik dan pendidikan. Lima tahun yang lalu FDS dan Smokeview memiliki peranan besar dalam investigasi tragedi menara kembar WTC dan kebakaran pusat hiburan malam The Station di Amerika Serikat. Selain itu juga sudah banyak negara yang menerapkan simulasi komputer ini dalam proses perancangan sistem perlindungan kebakaran baik bangunan gedung maupun industri.



Gbr 2.3. Investigasi Tragedi WTC dengan FDS oleh NIST^[3]

FDS dapat digunakan untuk membuat model dari beberapa fenomena berikut ini:

- a. Transformasi panas dan produk pembakaran pada kecepatan rendah
- b. Perpindahan konveksi dan radiasi antara gas dan permukaan benda
- c. Pyrolysis
- d. Penyebaran nyala dan perkembangan api
- e. Aktivasi sprinkler dan detektor
- f. Pemadaman kebakaran dengan sprinkler

Terdapat beberapa komponen utama yang dipakai FDS dalam menyelesaikan masalah dinamika kebakaran yaitu :

2.4.2. Pemodelan Hidrodinamik

Dalam pemodelan ini FDS menggunakan persamaan aliran Navier-Stokes untuk kecepatan rendah yang melibatkan transformasi panas dan asap dari kebakaran yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. Perhitungannya bisa menggunakan Direct Numerical Simulation (DNS) atau Large Eddy Simulation (LES) yang penggunaan tergantung dari tujuan dan resolusi grid dari geometri. Penyederhanaan persamaanya tidak terlepas dari persamaan konservasi dasar yaitu kekekalan massa, kekekalan momentum, kekekalan energi dan persamaan gas ideal.

Persamaan Kekekalan Massa

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

Persamaan Kekekalan Momentum (Hukum Newton Kedua)

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

Persamaan Kekekalan Energi (Hukum Pertama Termodinamika)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi$$

Persamaan gas ideal

$$p = \frac{\rho \mathcal{R} T}{M}$$

Dimana:

- ρ = kerapatan gas
- t = waktu
- \mathbf{u} = (u, v, w) vektor kecepatan
- p = tekanan
- τ_{ij} = viscous stress tensor
- \mathbf{F} = vektor gaya luar (termasuk gravitasi)

- h = koefisien perpindahan kalor
- q''' = laju pelepasan panas per unit volume
- Φ = fungsi disipasi
- R = universal gas constant
- M = berat molekul dari gas
- T = temperatur

Large Eddy Simulation merupakan teknik yang dipakai untuk membuat model proses disipatif terkait dengan viscosity (μ), thermal conductivity (k) dan material diffusivity (D). Mengikuti analisis yang dilakukan oleh Smagorinsky maka model viskositas dapat dibuat sebagai berikut:

$$\mu_{LES} = \rho (C_s \Delta)^2 \left(2 \bar{S}_{ij} \cdot \bar{S}_{ij} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Sedangkan persamaan diffusive lainnya adalah:

$$k_{LES} = \frac{\mu_{LES} c_p}{Pr} \quad ; \quad (\rho D)_{LES} = \frac{\mu_{LES}}{Sc}$$

Untuk teknik DNS, parameter viskositas, konduktivitas termal, dan material diffusivity diambil dari teori kinetik karena ketergantungan temperatur sangat penting dalam skenario pembakaran.

Persamaan Viskositas

$$\mu_l = \frac{26.69 \times 10^{-7} (M_l T)^{\frac{1}{2}}}{\sigma_l^2 \Omega_v} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$$

Persamaan konduktivitas termal dimana Prandtl Number $Pr = 0.7$

$$k_l = \frac{\mu_l c_{p,l}}{Pr} \quad \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Sehingga persamaan DNS untuk viskositas dan konduktivitas termal adalah :

$$\mu_{DNS} = \sum_l Y_l \mu_l \quad ; \quad k_{DNS} = \sum_l Y_l k_l$$

Sedangkan persamaan diffusifitas material adalah:

$$D_{lm} = \frac{2.66 \times 10^{-7} T^{3/2}}{M_{lm}^{1/2} \sigma_{lm}^2 \Omega_D} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

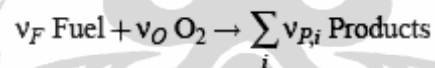
Dimana:

- C_s = Smagorinsky constant (LES)
- σ = konstanta Stefan-Boltzmann
- Pr = Prandtl number
- cp = constant pressure specific heat
- k = thermal conductivity
- Y_i = mass fraction of i th species

2.4.3. Model Pembakaran

Teknik yang digunakan adalah *mixture fraction* dari pembakaran. Teknik ini didasarkan pada asumsi bahwa fenomena perpindahan secara konduktif dan radiatif terjadi dalam skala besar disamping proses fisik yang terjadi dalam skala kecil terhadap waktu.

Persamaan umum dasar yang dipakai untuk menyelesaikan reaksi pembakaran adalah:



Persamaan stokiometrik yang dipakai untuk menyatakan laju konsumsi bahan bakar dan oksidator adalah:

$$\frac{\dot{m}_F'''}{\nu_F M_F} = \frac{\dot{m}_O'''}{\nu_O M_O}$$

Sedangkan persamaan *mixture fraction* setelah memasukan unsur hukum kekekalan menjadi:

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \cdot \rho D \nabla Z$$

Dari persamaan tersebut dapat diturunkan lagi untuk mendapatkan laju konsumsi oksigen perunit masa setiap waktu adalah:

$$-\dot{m}_O'' = \left. \frac{dY_O}{dz} \right|_{z=z_f} \rho D \nabla Z \cdot \mathbf{n}$$

BAB III IDENTIFIKASI PERMASALAHAN

3.1. Fungsi bangunan

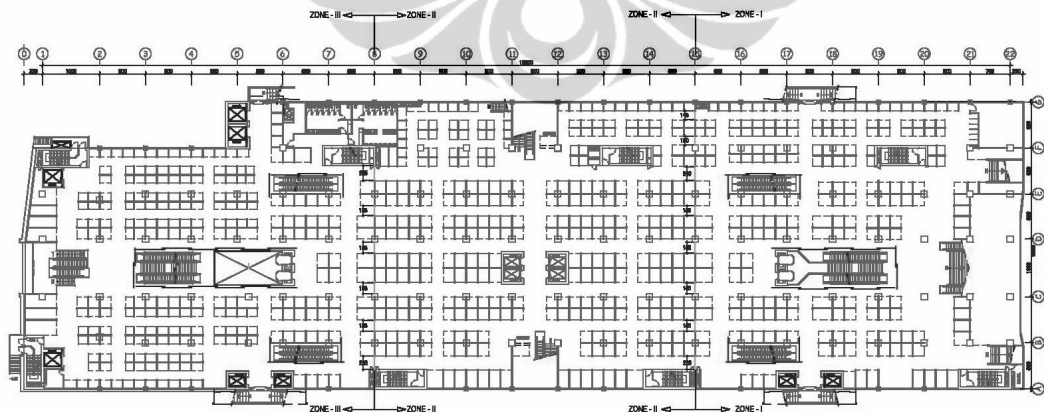
Pasar Tanah Abang Blok A yang merupakan bangunan baru setelah terjadi kebakaran tahun 2003, masih tetap difungsikan sebagai pusat grosir barang tekstil dan pakaian. Untuk memenuhi fungsinya tersebut bangunan ini juga terdiri dari areal parkir dalam gedung dan kafetaria di lantai paling atas.

3.2. Data Fisik Bangunan Pasar

Bangunan yang terdiri dari 15 lantai ditambah 3 basemen memiliki luas total 153000 m². Hampir seluruh lahan berukuran panjang 170 meter dan lebar 50 meter dipakai untuk bangunan sehingga tidak tersedia akses yang memadai untuk mobil pemadam kebakaran di saat darurat.

Penempatan kios-kios pedagang disusun menjadi kelompok-kelompok kios yang berdampingan dan diantaranya dipisahkan dengan koridor. Partisi yang membatasi ruang antar kios terbuat dari papan gipsum menutupi mulai dari lantai sampai langit-langit.

Sebagai sarana transportasi lalu lalang pengunjung, terdapat elevator, eskalator dan tangga biasa. Beberapa elevator telah dipersiapkan sebagai alat bantu naik/turun bagi petugas pemadam kebakaran saat kondisi darurat.



Gbr 3.1 Denah Lantai Dasar Pasar Tanah Abang Blok A

3.3. Sistem Perlindungan Kebakaran

Sesuai dengan persyaratan dalam peraturan daerah maupun standar yang berlaku, bangunan ini telah dilengkapi dengan sarana perlindungan pasif kebakaran seperti tangga khusus untuk kondisi darurat yang dilengkapi dengan sistem presurisasi dan partisi *fire roller shutter* untuk menghambat penyebaran api keseluruh bangunan bila terjadi kebakaran. Tiap lantai dibagi menjadi 3 zona ruang yang dibatasi oleh fire roller shutter.

Adapun sistem perlindungan aktif kebakaran yang digunakan adalah hidran, sprinkler, alat pemadam api ringan, pendeteksi dan alarm kebakaran. Pembagian zona kerja dari sistem perlindungan aktif ini juga disesuaikan dengan pembagian zona fire roller shutter. Selain itu bangunan ini yang memiliki beberapa bukaan vertikal (void) juga dilengkapi dengan pembuang asap pada bagian paling atas void.

3.4. Kepadatan Penghuni

Pasar Tanah Abang terkenal dengan barang-barang kebutuhan pakaian yang harganya terjangkau bagi kalangan menengah kebawah. Selain harganya yang murah, dipasar ini juga menyediakan ragam pilihan pakaian. Hal ini membuat pasar ini cukup banyak dipadati pembeli terutama ibu-ibu rumah tangga untuk memenuhi kebutuhan sandang keluarga ataupun untuk dijual kembali.

Pada hari-hari tertentu misalnya menjelang hari raya lebaran, sesuai dengan tradisi di Indonesia untuk berpakaian baru di hari raya lebaran, maka tingkat kepadatan pembeli meningkat dibanding dengan hari-hari biasa. Di lain pihak, penjual tentu saja tidak akan melepas kesempatan meraup untung banyak dengan lebih menyediakan variasi dan stok barang yang lebih banyak.

Mengingat tidak tersedianya data mengenai kepadatan pengunjung pasar maka penulis menggunakan angka kepadatan $1.5 \text{ m}^2/\text{orang}$ ^[4] yang juga dipakai sebagai acuan penentuan kapasitas AC.

3.5. Problem Peraturan dan Statistik

Penerapan fire roller shutter merupakan bagian dari upaya membuat kompartementasi dalam ruangan. Di dalam peraturan bangunan, penerapan sistem

kompartementasi bangunan merupakan salah satu hal yang juga sudah diatur. Diperlukan pembagian bangunan menjadi sel-sel yang lebih kecil untuk membatasi penyebaran kebakaran ke seluruh bangunan. Pengabaian aspek kompartementasi ruangan menjadi salah satu bukti dalam kejadian kebakaran di Donnington Army Depot di Inggris pada tahun 1983 menyebabkan penyebaran api yang cukup cepat sehingga kerugian finansial menjadi sangat besar.

Namun meskipun aspek kompartementasi ruangan menjadi faktor yang cukup penting dalam sistem perlindungan kebakaran, sampai saat ini belum ada data statistik yang memuat tentang jumlah kompartemen dalam bangunan dan tingkat efektivitas dari kompartemensi tersebut^[5]. Padahal dalam proses merancang sistem kompartementasi *fire roller shutter* Pasar Tanah Abang Blok A baik oleh Arsitek maupun konsultan Mekanikal Elektrikal lebih banyak menggunakan pendekatan *prescriptive based design* yang bertumpu pada peraturan yang berlaku. Sehingga untuk mengetahui bagaimana tingkat kehandalan dari sistem yang telah dibuat, cara yang dapat ditempuh adalah dengan *performance based approach*.

Dengan metode ini *fire behaviour* dikaji untuk selanjutnya dipertemukan dengan kriteria aman kebakaran. Beberapa parameter yang dipakai sebagai kriteria untuk menentukan kehandalan sistem fire roller shutter adalah :

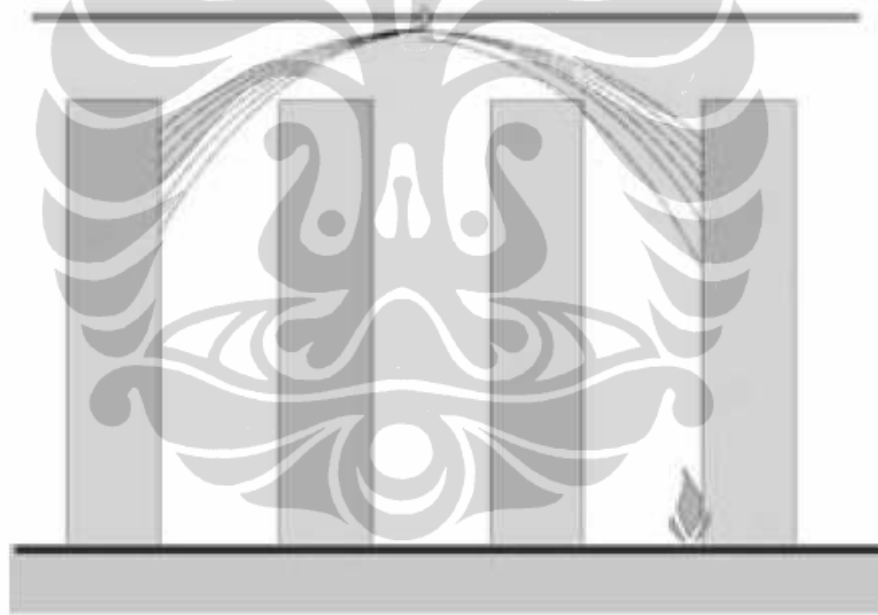
- a. Temperatur ruangan
- b. Densitas Asap
- c. Konsentrasi Gas dalam ruangan
- d. Jarak pandang

Besaran dari kriteria diatas ditentukan berdasarkan dari batas kemampuan manusia untuk menerima paparan suhu, konsentrasi gas beracun dalam sekian waktu. Jarak pandang yang semakin terbatas seiring dengan produksi asap kebakaran, akan mempengaruhi kemampuan penghuni untuk keluar dari ruang yang terbakar. Sedangkan dari sisi paparan suhu maupun tekanan yang ditimbulkan dari kebakaran terhadap struktur bangunan dapat menyebabkan runtuhnya bangunan yang membahayakan evakuasi maupun petugas yang memadamkan api.

Parameter tersebut diataslah yang nantinya akan dijadikan sebagai ukuran dari kehandalan penerapan *fire roller shutter* dengan menggunakan program FDS.

3.6. Bahaya Kebakaran pada Bangunan Pasar

Untuk bangunan jenis pasar, intensitas api akan tergantung dari luas ruangan. Berdasarkan review dari statistik kebakaran di Inggris, beban kebakaran sebesar 5 MW dapat digunakan sebagai angka konservatif untuk keperluan desain bangunan. Ada pula yang mengindikasikan angka tersebut cocok untk berbagai penggunaan jenis bangunan. Pengujian simulasi kebakaran pada toko pakaian, api dapat dipadamkan oleh sprinkler^[6]. Bagaimana pun juga akan ada area dari pasar yang apabila terjadi api akan terhalang semburan sprinkler atau sprinkler tidak berfungsi sehingga api cepat membesar.



Gbr 3.2 Potensi Halangan Sprinkler

Aspek sistem proteksi aktif yaitu sprinkler yang tidak bekerja banyak ditemui dalam penelusuran laporan kejadian kebakaran yang dilakukan oleh Puast Litbang Permukiman Depkimpraswil. Penyebabnya adalah:

1. kelemahan dalam kegiatan pemeriksaan dan pemeliharaan secara berkala
2. kesalahan dalam intalasi atau pelaksanaan

3. kesalahan pada tahap perancangan peralatan (design failure)
4. perubahan fisik atau fungsi bangunan tidak diimbangi dengan sarana proteksi yang memadai sesuai ketentuan atau standar yang berlaku
5. masa pakai (life time) sarana dan peralatan proteksi telah dilampaui

Untuk itu perlu ada dua pendekatan dalam melakukan simulasi kebakaran yaitu skenario dengan sprinkler bekerja dan tidak bekerja.

Telah secara komperhensif ditunjukkan dalam berbagai tulisan bahwa karbon monoksida adalah gas hasil pembakaran yang memiliki peranan paling penting dalam menentukan tingkat toksisitas kebakaran.

3.7. Sumber Api

Sumber yang berpotensi menjadi penyebab terjadinya kebakaran bangunan pusat perbelanjaan pada umumnya adalah listrik, puntung rokok, dan kompor atau kebocoran gas LPG pada dapur restoran. Berdasar data yang telah dihimpun oleh Balitbang Dep. PU (kini Dep. KIMPRASWIL) terhadap kejadian kebakaran di Indonesia pada tahun 1989 – 1993 khususnya di seluruh ibu kota propinsi diperoleh data bahwa penyebab kebakaran utama adalah akibat listrik (39,4%), kompor minyak tanah (20%), lampu tempel (9%) dan lain-lain (6,6%). Lain-lain disini adalah puntung rokok, bocoran gas dan sambaran petir . Namun di luar itu, angka kebakaran yang disebabkan oleh unsur tak diketahui adalah 25%.^[7] Unsur ini dapat saja berupa kejadian kebakaran akibat unsur kesengajaan (arson fire), dimana indikasi tersebut banyak terjadi pada bangunan pasar di Indonesia tetapi sulit untuk dibuktikan secara hukum. Sedangkan data statistik dari dinas pemadam kebakaran DKI Jakarta menyebutkan jumlah kebakaran yang diakibatkan oleh listrik dari tahun 2002 sampai Agustus 2006 adalah 1.224 kasus (61%), sedangkan akibat kompor 232 kasus (11,5 %), akibat rokok 341 kasus (17 %), dan akibat lampu 40 kasus (2 %).

Kedua sumber data mengindikasikan peluang listrik sebagai penyebab kebakaran terbesar. Bila dikaitkan dengan kondisi pasar Tanah Abang yang diisi oleh ribuan pengelola kios dengan tingkat pengetahuan dan kesadaran tentang bahaya kebakaran yang relatif rendah, maka titik ancaman awal terjadinya

kebakaran bisa dimana saja. Tiap kios memiliki potensi sebagai titik awal kebakaran yang disebabkan listrik diantaranya adalah akibat kualitas produk kelistrikan yang rendah, hubungan singkat, kotak kontak yang tidak disambung dengan sempurna, faktor "human error", beban lebih pada kotak kontak (stop kontak).^[8]

3.8. Titik Awal Api

Pemodelan kebakaran dengan memanfaatkan program komputer FDS telah banyak digunakan pada berbagai aplikasi termasuk desain, rekonstruksi forensik dan pendidikan. Keberhasilan penggunaan pemodelan kebakaran hampir seluruhnya adalah pada bidang litigasi kebakaran dan rekonstruksi kejadian kebakaran. Terdapat dua alasan yang menyebabkan hal ini bisa terjadi:^[9]

1. Didalam proses litigasi kebakaran terutama jika kasusnya adalah sangat penting untuk diungkap, maka banyak ilmuwan kelas dunia dilibatkan sampai pada melahirkan aspek baru dalam ilmu kebakaran.
2. Di dalam litigasi kebakaran, masalah dana relatif dapat diabaikan.

Sebagai tambahan yang juga perlu dicatat adalah tugas yang dijalankan dalam kerja rekonstruksi relatif sederhana, karena hanya satu skenario kebakaran yang diolah. Sedangkan sebaliknya, penggunaan pemodelan kebakaran dalam lingkungan perencanaan bangunan, banyak skenario kebakaran yang harus dikembangkan dan dimodelkan. Lokasi titik awal kebakaran (fire origin) merupakan salah satu aspek yang juga perlu dibuat beberapa skenario untuk mendapatkan kondisi terparah bila terjadi kebakaran. Untuk itu perlu dikaji terlebih dahulu skenario lokasi awal kebakaran sebelum melanjut kepada skenario pengembangan api kebakaran.

3.9. Kriteria Aman

Salah satu faktor penting dalam desain sistem kebakaran bangunan adalah keselamatan penghuni dalam kondisi terjadinya kebakaran. Evaluasi bangunan yang melibatkan studi proses perkembangan api dan asap kebakaran terdapat

tahapan mendefinisikan kriteria aman bagi manusia dan properti. Prosedur ini sama dengan apa yang dilakukan dalam proses desain bangunan yang berbasis kinerja. Penghuni harus mempunyai cukup waktu untuk evakuasi atau dievakuasi saat terjadi kebakaran. Kriteria aman yang dipakai dapat mengacu pada peraturan, standar ataupun literatur yang terkait. Dibawah ini diulas parameter yang dipakai sebagai acuan kondisi aman saat kebakaran bagi manusia dan besaran yang diambil dari beberapa literatur.

3.9.1. Suhu Aman

Manusia mempunyai batasan tertentu terhadap peningkatan suhu. Paparan suhu tinggi dengan waktu yang cukup lama akan meyebabkan luka pada kulit dan bahkan bila semakin besar suhunya dapat menyebabkan luka bakar pada tubuh yang dapat menyebabkan kematian.

Tabel 3.1 Batas Kondisi Aman Huni Akibat Paparan Panas^[10]

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

3.9.2. Konsentrasi Gas

Kondisi udara dan produksi gas pembakaran sangat mempengaruhi kondisi manusia dapat bertahan hidup untuk mencapai lokasi aman saat evakuasi. Kondisi aman ruangan untuk keselamatan kebakaran biasanya dikaitkan dengan konsentrasi Karbon Monoksida (CO), Oksigen (O₂), Kabon dioksida (CO₂) maupun gas beracun lain yang dihasilka proses pembakaran seperti Hidrogen Sianida (HCN).

Tabel 3.2 Batas Kondisi Aman Huni Akibat Gas Hasil Pembakaran^[10]

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

3.9.3. Jarak Pandang

Selain faktor suhu dan konsentrasi gas dalam ruangan, jarak pandang yang terhalang asap kebakaran juga turut mempengaruhi keselamatan orang saat evakuasi. Bila jarak pandang terlalu pendek maka orang akan kehilangan arah atau tidak dapat melihat petunjuk tanda keluar menuju lokasi aman tangga kebakaran.

Tabel 3.3 Batas Kondisi Aman Huni Akibat Pandangan Terhalang Asap^[10]

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

3.9.4. Kriteria Aman

Dari *range* data-data diatas maka untuk keperluan evaluasi kehandalan *fire roller shutter* terkait dengan keselamatan kebakaran, kriteria aman yang dipakai adalah seperti yang tercantum dalam tabel 4.4.

Tabel 3.4 Kriteria Aman bagi Jiwa Saat Kebakaran^[10]

Tenability Type	Tenability Limit
Convective Heat	Temperature of the gas layer $\leq 65^{\circ}\text{C}$ (time to incapacitation for 30 min exposure)
Smoke obscuration	Visibility in the relevant layer should not fall below 2 m (optical density 0.5 m^{-1})
Toxicity	$\text{CO} \leq 1400 \text{ ppm}$ (small children incapacitated in half the time) $\text{HCN} \leq 80 \text{ ppm}$ $\text{O}_2 \geq 12\%$ $\text{CO}_2 \leq 5\%$ (the above critical values leading to incapacitation in approximately 30 min)
Radiative Heat	Radiant flux from upper layer $\leq 2.5 \text{ kW/m}^2$ (this corresponds to an upper gas layer temperature of approximately 200°C ; above this, the tolerance time $< 20 \text{ s}$)

3.9.5. Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan perlu dimasukkan dalam perhitungan untuk mengkompensasi ketidakakuratan dalam model, data input, dan adanya asumsi-

asumsi data. Berikut ini adalah beberapa contoh penerapan faktor keamanan dalam perhitungan waktu evakuasi:

Tabel 3.5 Faktor Keamanan Perhitungan Waktu Evakuasi^[10]

No	Literature	Safety Factor
1	BSI Draft Code	2
2	Deakin & Cooke	2 ~ 3
3	Johnson & Timms	2 ~ 3



BAB IV

DESKRIPSI PROSES SIMULASI KEBAKARAN

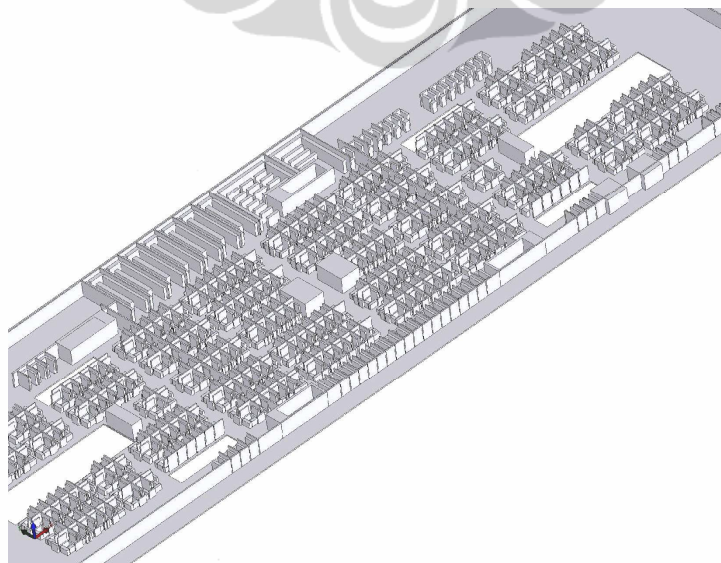
4.1. FDS

4.1.1. Data Input

Agar bangunan bisa dilakukan proses perhitungan oleh FDS, perlu dipersiapkan data input yang meliputi data bangunan berupa:

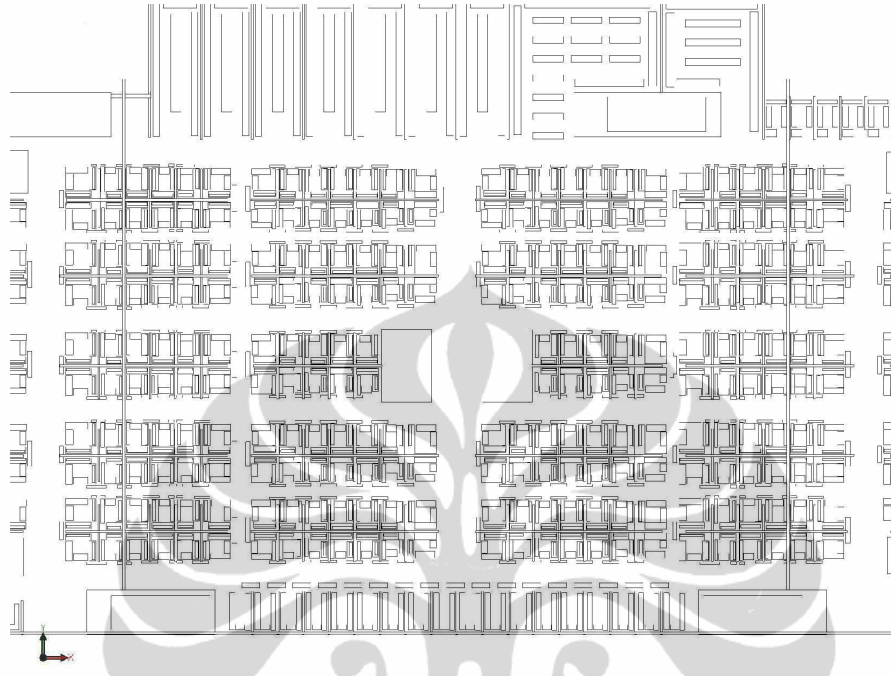
1. Data geometri bangunan, interior dan komoditi dalam ruangan,
2. Ventilasi dan bukaan
3. Spesifikasi material
4. Api awal
5. Domain simulasi
6. Parameter output yang diinginkan

Dari bentuk fisik pasar Tanah Abang diambil data geometri dan koordinat material yang selanjutnya dijadikan sebagai data masukan FDS. Dalam simulasi ini diambil salah satu lantai pasar sebagai obyek simulasi yaitu lantai dasar dengan pertimbangan pada lantai tersebut biasanya memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi karena lebih cepat dijangkau dan menjadi area laluan pembeli menuju lantai lain. Bentuk geometri setelah diinput kedalam FDS dapat dilihat dengan menggunakan program smokeview seperti gambar 6.1.



Gbr 4.1 Bentuk Geometri Ruangan

Simulasi lebih difokuskan lagi pada ruangan yang tertutup akibat bekerjanya *fire roller shutter*. Diambil zona 2 dari lantai yaitu zona tengah.



Gbr 4.2 Area yang Disimulasi

Barang yang terdapat dalam pasar jenisnya bermacam-macam diantaranya berbahan katun, polyester, nylon, kulit, plastik. Agak sulit untuk mendapatkan data rinci mengenai komposisi dari berbagai jenis material tersebut. Dalam simulasi diasumsikan material adalah katun. Properti material katun yang terkait dengan simulasi kebakaran adalah:

Tabel 4.1 Properti Material Katun

Massa Jenis (kg/m^3)	1500
T. Ig ($^{\circ}\text{C}$)	250
Burn Rate Max ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)	0.049
Heat Vap. (kJ/kg)	2000
Heat Comb. (kJ/kg)	18850

4.1.2. Skenario Kebakaran

Sebagaimana telah disinggung pada sub bab 3.3 mengenai penyebab kebakaran yang pada umumnya adalah listrik, maka dalam simulasi ini aspek tersebut turut dipertimbangkan yang dituang dalam skenario kebakaran. Kriteria yang dipakai dalam menentukan skenario simulasi kebakaran adalah dengan mencari kondisi terburuk yang mungkin terjadi dalam kebakaran. Skenarionya adalah api berawal dari salah satu kios yang terbakar karena beban lebih atau arus pendek pada instalasi kelistrikan di area kios. Api selanjutnya menyambar material kain didekatnya.

Dengan banyaknya material kain didalam kios, api cepat membesar sehingga menghasilkan asap pembakaran yang bergerak naik keatas. Pada saat asap tersebut melewati detektor asap terdekat dari sistem kebakaran dan kepekatan asap cukup untuk menyebabkan detektor bekerja, maka sinyal dari detektor akan diteruskan ke sistem alarm kebakaran yang menandakan telah terjadi kebakaran. Suara alarm membuat penghuni dalam gedung bergegas mencari jalan keluar menuju lokasi yang aman. Sinyal detektor juga memerintahkan fire roller shutter sesuai zona terjadi kebakaran bekerja dengan menutup koridor terbuka antar zona. Dengan menutupnya roller shutter maka jalur menuju tangga kebakaran di beberapa area akan tertutup oleh roller shutter. Hal ini dijadikan sebagai salah satu pertimbangan dalam menilai kinerja fire roller shutter.

Kenaikan temperatur menyebabkan beberapa sprinkler bekerja apabila telah mencapai temperatur aktivasinya. Dalam simulasi ini diskenariokan, sprinkler tidak bekerja untuk mengetahui efek terburuk dari kejadian kebakaran (lihat pula sub bab 3.2). Kenaikan temperatur akibat proses kebakaran selanjutnya dapat mengarah kepada fenomena flashover yang membuat kondisi ruangan semakin tidak aman bagi penghuni.

Parameter api dan asap kebakaran dari waktu ke waktu dipelajari dengan bantuan FDS.

4.1.3. Api Awal

Salah satu tahapan penting dalam membuat skenario kebakaran yang terburuk adalah menentukan titik awal lokasi terjadinya kebakaran. Kios dapat dijadikan sebagai tempat awal terjadinya kebakaran karena tersedianya banyak bahan mampu bakar yaitu tekstil. Dari sekian banyak lokasi kios tentunya tiap kios akan memiliki tingkat penyebaran api yang berbeda-beda. Untuk itu sebelum masuk kepada simulasi utama, perlu dilakukan penyelidikan tentang lokasi titik awal api dimana yang akan memberikan dampak terburuk dari kebakaran.

Studi mengenai titik awal terjadinya kebakaran terburuk dilakukan dengan bantuan FDS untuk melihat parameter api dan asap yang terburuk. Tentunya bila simulasi dilakukan terhadap setiap titik lokasi dalam ruangan akan memakan waktu yang terlalu lama. Dalam hal ini perlu ditetapkan kriteria logis yang dapat membantu memprediksi situasi tidak aman. Salah satu kriteria yang dapat dipakai adalah apabila kebakaran tersebut terjadi menyebabkan tersumbatnya akses evakuasi penting yaitu tangga kebakaran. Aspek lain adalah tingkat penyebaran api dan asap. Untuk mewakili aspek-aspek tersebut dapat di pakai skenario titik awal api sebagai berikut:

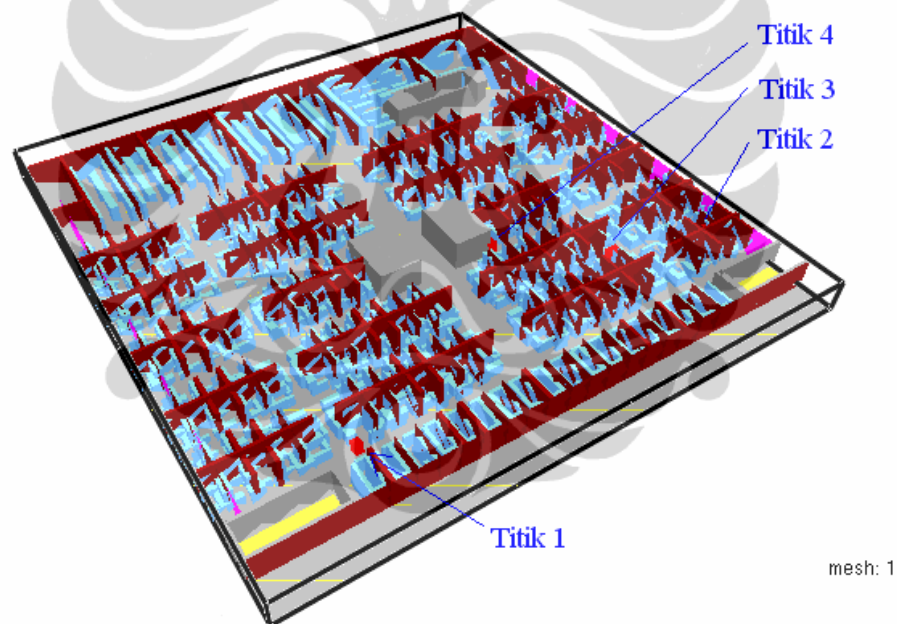
Tabel 4.2 Skenario Lokasi Titik Awal Api

1	Skenario 1.1	Dekat dengan tangga kebakaran
2	Skenario 1.2	Dekat dengan Roller Shutter
3	Skenario 1.3	Diantara tangga kebakaran dan inti ruangan
4	Skenario 1.4	Di daerah inti ruangan

Selain lokasi titik api, faktor besarnya *fire ignition* dan penempatannya terhadap material lain akan menentukan proses perkembangan api selanjutnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Feni^[11] menggunakan *Heat Release Rate* per unit Area yang cukup besar yaitu 1500 kW/m² yang menggunakan *ramping* besaran terhadap waktu dengan waktu ekstinsi yang lama yaitu 1800 detik.

Sedangkan dalam tesis Adhi Saputra^[12] menggunakan HRRPUA yang kecil tapi bersifat konstan. Agar lebih bersifat natural maka penulis mencoba menerapkan *fire ignition* yang kecil (700 kW/m²) dengan waktu penyalaan yang tidak lama (35 detik). Hasilnya adalah ternyata penempatan permukaan *fire ignition* terhadap material lain sangat mempengaruhi kecepatan penyebaran api. Dari tiga posisi penempatan yaitu diatas permukaan material lain, disamping material lain dengan sisi lain adalah udara bebas dan penempatan api initial yang dikelilingi oleh material lain maka kondisi terakhir memberikan efek penyebaran yang paling cepat.

Smokeview 5.0.0 Beta - Aug 10 2007



Gbr. 4.3 Lokasi Titik Awal Api

4.1.4. Sprinkler dan Fire Roller Shutter

Perkembangan api kebakaran terkait erat dengan bentuk dan sistem perlindungan yang diterapkan pada bangunan. Bangunan Pasar Tanah Abang Blok A. Sesuai dengan peraturan daerah yang berlaku, bangunan tersebut dilengkapi dengan sistem perlindungan aktif berupa sprinkler, hidran dan detektor kebakaran.

Untuk mengetahui bagaimana peranan sprinkler dalam keselamatan bangunan terhadap kebakaran maka kinerja sprinkler juga perlu diturut sertakan dalam salah satu skenario kebakaran.

Berbeda dengan sprinkler yang bekerja secara otomatis bila terjadi kebakaran, maka hidran tidaklah demikian, perlu pengoperasian dari petugas untuk memadamkan kebakaran. Proses pemadaman ini tentunya tidak dapat diprediksikan secara pasti bagaimana pola pemadamannya, sehingga dalam simulasi kebakaran diabaikan dengan asumsi pada awal kebakaran belum ada petugas yang mengoperasikan sistem hidran.

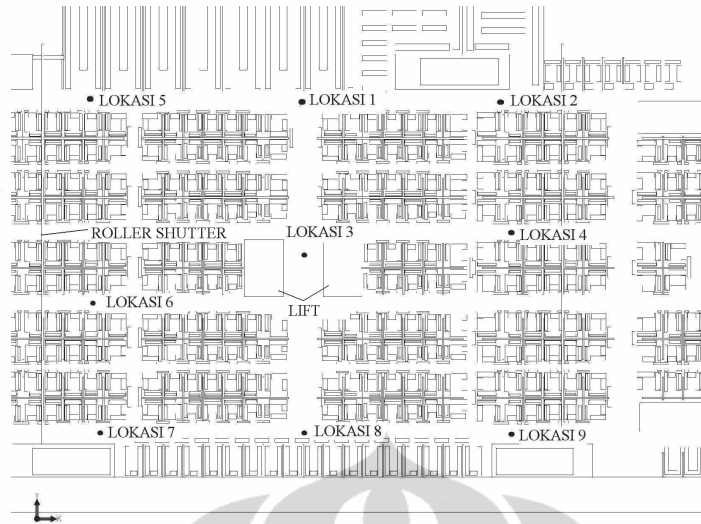
Skenario yang akan diterapkan dalam simulasi kebakaran dengan program FDS adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Skenario Simulasi Kebakaran

1	Skenario 2.1	Bangunan dilengkapi Roller Shutter dan Sprinkler bekerja
2	Skenario 2.2	Bangunan dilengkapi Roller Shutter tapi sprinkler tidak bekerja
3	Skenario 2.3	Bangunan tidak dilengkapi Roller shutter dan sprinkler

4.1.5. Parameter Pengukuran

Dari hasil simulasi FDS beberapa data keluaran yang dipakai untuk menganalisa dampak kebakaran adalah laju pelepasan panas, suhu, konsentrasi CO, CO₂, dan jarak pandang pada lokasi tertentu. Lokasi yang diukur dalam ruangan adalah seperti yang terlihat dalam gambar 6.4. Penentuan ini mempertimbangkan aspek jalur evakuasi dan jumlah pengukuran yang dapat mempengaruhi kebutuhan memori komputer dan lamanya simulasi. Terdapat 9 titik lokasi pengukuran yang mana tiap lokasi dibagi lagi berdasar ketinggian dengan beda elevasi 0.5 meter.



Gbr. 4.4 Lokasi Pengukuran Parameter Gas

4.1.6. Message Passing Interface

Proses simulasi FDS membutuhkan tersedianya kapasitas memori dan prosesor komputer yang cukup tinggi. Dengan spesifikasi komputer yang rendah, proses perhitungan FDS akan memakan waktu berjam-jam bahkan sampai hitungan hari atau minggu.

Obyek yang akan disimulasikan yaitu Pasar Tanah Abang cukup luas dibandingkan dengan ukuran obyek terkecil dalam bangunan sehingga memerlukan grid dari meshes yang kecil dan banyak. Semakin banyak jumlah grid, proses perhitungan akan memakan banyak memori, bahkan untuk kasus ini tidak cukup bila dilakukan dengan 1 buah komputer. Saat ini FDS telah mengakomodasi masalah ini dengan menyediakan fasilitas menjalankan program dengan Message Passing Interface (MPI).

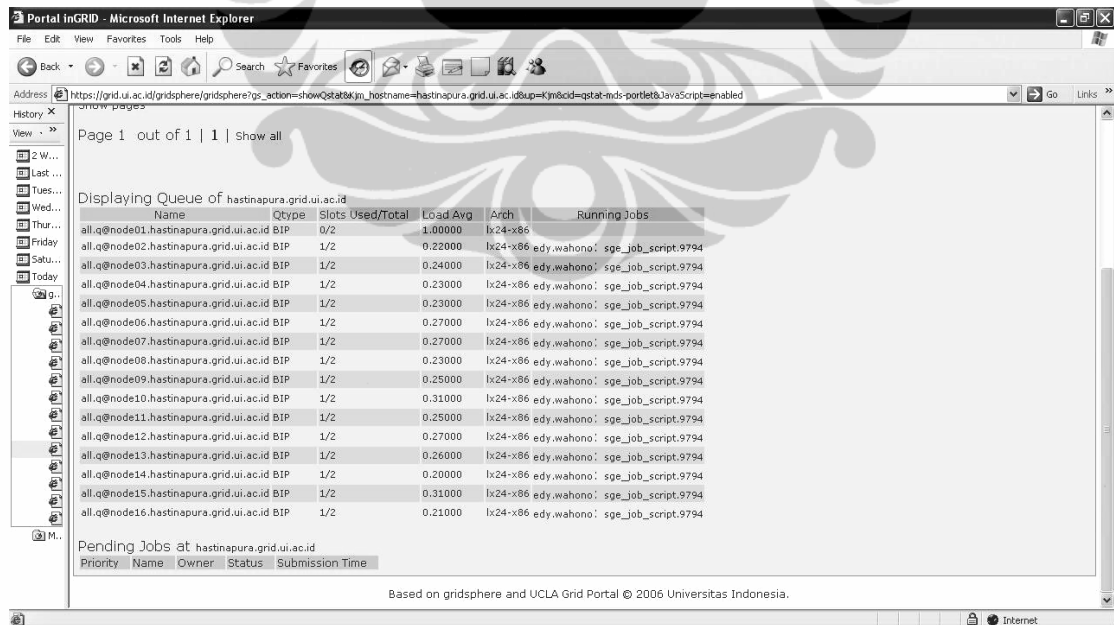
Dengan MPI, pengguna dapat memanfaatkan beberapa komputer untuk menjalankan satu paket kerja FDS. Simulasi dipecah menjadi beberapa mesh, tiap komputer memproses pekerjaan sesuai dengan mesh yang diembannya. Hubungan informasi antar mesh akan ditangani oleh MPI layaknya seperti dalam satu buah komputer.

Untuk menjalankan FDS dengan sistem paralel ini, penulis diberi kesempatan untuk menggunakan fasilitas Inherent Grid komputer yang

dikembangkan oleh PT Sun Microsystem Indonesia dan Fakultas Ilmu Komputer UI. Dengan fasilitas ini penulis dapat memberdayakan 16 mesin komputer untuk menjalankan simulasi menjadi memungkinkan dan lebih cepat.



Gbr. 4.5 Status Simulasi FDS di Ingrid



Gbr. 4.6 Penempatan Pekerjaan Simulasi FDS di Komputer Cluster Ingrid