



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMODELAN PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA DISTRIBUSI
TEMPERATUR RUANGAN**

SKRIPSI

**NAMA: AISHA ANASTASIA
NPM: 0806368383**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PEMODELAN PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA DISTRIBUSI TEMPERATUR RUANGAN

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 : Aisha Anastasia
NPM : 0806368383
Tanda Tangan :
Tanggal : 30 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Aisha Anastasia

NPM : 0806368383

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi :

PEMODELAN PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA DISTRIBUSI TEMPERATUR RUANGAN

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir.Yulianto S.Nugroho, Msc ()

Penguji : Prof.Dr.Ir.Yanuar, Msc.MEng ()

Penguji : Dr.Ir. Danardono AS. ()

Penguji : Dr.Ir. Warjito, MEng ()

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 30 Desember 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

PEMODELAN PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA DISTRIBUSI TEMPERATUR RUANGAN

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 Ekstensi pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Mama dan Papa, juga tak lupa juga untuk Eyang Titi dan (Alm) Eyang Kakung. Mereka yang telah mendidik penulis sejak kecil serta selalu memberikan semangat dan membantu kelancaran kuliah penulis.
2. 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.
3. Stevanus Sagala, rekan skripsi dalam proses penulisan skripsi ini. Juga Ahmad B, Ridwan G, Ryan F yang telah bersedia menyisihkan waktunya untuk membalas email saya dan memberi penjelasan tentang FDS.
4. Rekan-rekan mahasiswa departemen teknik mesin ekstensi 2008 FTUI lainnya yang senantiasa memberikan inspirasi dalam pembuatan laporan ini serta memberikan tahun-tahun terbaik selama masa perkuliahan.

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. Dan juga penulis menyadari adanya ketidaksempurnaan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis

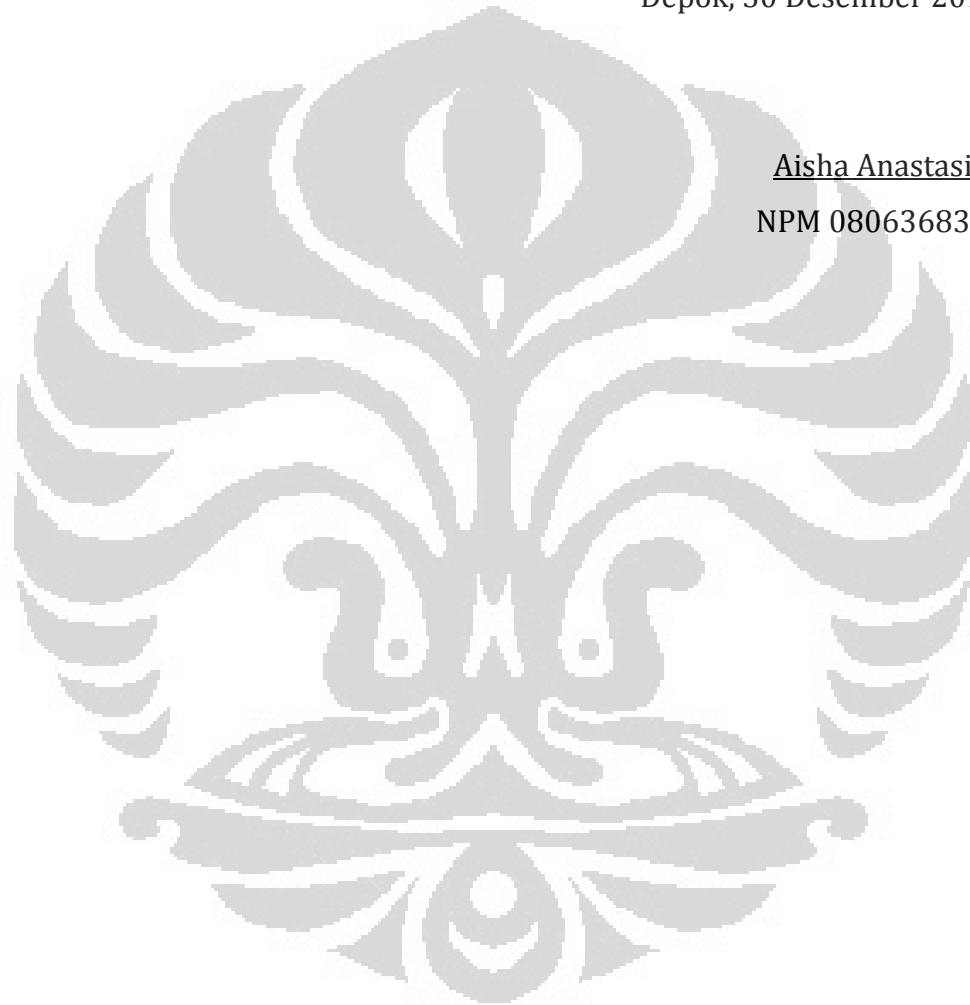
mengharapkan saran dan kritik membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik di masa yang akan datang.

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

Depok, 30 Desember 2010

Aisha Anastasia

NPM 0806368383



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

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

Nama : Aisha Anastasia

NPM : 0806368383

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 :

**PEMODELAN PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA DISTRIBUSI
TEMPERATUR RUANGAN**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekslusive ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / format-kan, mengelola dalam bentuk pengkalaan data (*database*), 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 : 30 Desember 2010

Yang menyatakan

(Aisha Anastasia)

DAFTAR ISI

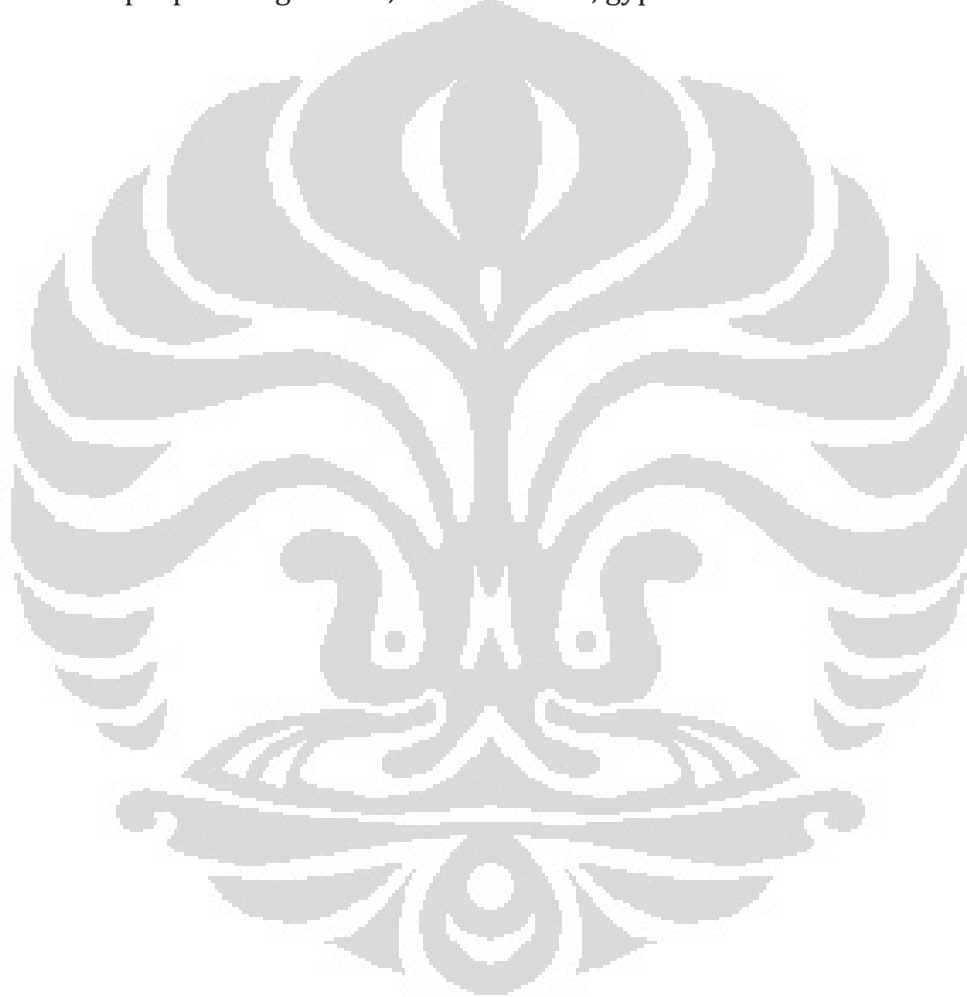
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Api.....	6
2.2 Bahan Bakar	11
2.3 Pool Fire	12
2.4 Compartment Fire	15
2.5 Kabut Air.....	17
2.6 Simulasi Pemodelan	22
BAB 3 PEMODELAN	
3.1 Pemodelan menggunakan FDS.....	27
BAB 4 HASIL DAN ANALISA	
4.1 Pola penyebaran	32
4.2 Pengaruh besar grid terhadap output yang dihasilkan	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1. Segitiga api	6
Gambar II-2 Pool Fire.....	13
Gambar II-3 Compartment Fire.....	16
Gambar II-4. Diagram yang menggambarkan file yang digunakan dan dibuat oleh NIST Fire Dynamic Simulator (FDS), Smokezip, dan Smokeview.....	25
Gambar III-1 Domain dengan besar grid 2cm.....	28
Gambar III-2 Lay out sekenario tanpa water mist.....	29
Gambar III-3 Lay out sekenario dengan watermist.....	30
Gambar IV-1 Pola pergerakan api dan penyebaran panas pada compartement.....	33
Gambar IV-2 Pola persebaran panas pada compartement setelah 120s.....	35
Gambar IV-3 Karakter api dan plumes pada proses pembakaran compartement	35
Gambar IV-4 Pola pergerakan api dan penyebarAn panas pada compartement dengan penggunaan watermist.....	37
Gambar IV-5 Simulasi tanpa menggunakan watermist (Atas) dan simulasi dengan watermist (bawah) pada detik ke 120.....	38
Gambar IV-6 simulasi vector kecepatan pada detik ke 120.....	39
Gambar IV-7 Pengaruh watermist terhadap penurunan temperatur 5.....	40
Gambar IV-8 Pengaruh watermist terhadap kenaikan temperatur 3	40
Gambar IV-9 Simulasi menggunakan ukuran grid 5cm, 4cm dan 3cm tanpa watermist.....	42
Gambar IV-10 Simulasi menggunakan ukuran grid 5cm, 4cm dan 3cm dengan watermist.....	44
Gambar IV-11 Gaya-gaya yang terjadi dalam arah x pada suatu elemen fluida	45
Gambar IV-12 Perbandingan fungsi grid terhadap distribusi temperature pada ruangan pool fire dengan water mist	46
Gambar IV-13 Slice perbandingan fungsi grid terhadap distribusi temperature pada ruangan pool fire dengan spray.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 termal properties dari gasoline [1] [2]	12
Tabel 2.2 Sifat-sifat <i>flame</i> pada <i>pool fire</i>	13
Tabel 2.3 variasi radius droplet	18
Tabel 2.4 variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet.....	19
Tabel 3.1 posisi termokopel pada percobaan FDS (tanpa water mist).....	29
Tabel 3.2 posisi termokopel pada percobaan FDS (dengan water mist)	30
Tabel 3.3 material properties gasoline, stainless steel, gypsum	33



DAFTAR ISTILAH / SIMBOL

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

ABSTRAK

Nama : Aisha Anastasia
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pemodelan Pengaruh Tirai Kabut Air pada Distribusi Temperatur Ruang

Bahaya kebakaran menjadi salah satu aspek keselamatan yang harus diperhatikan dalam mendesain dan mendirikan bangunan. Jika terjadi kebakaran, kerugian bukan hanya dari sisi materiilnya saja, melainkan juga dari segi sisi nonmateriil, seperti cedera, cacat, bahkan kematian. Pada penelitian pemodelan ini, simulasi dibuat dengan *software* FDS (NIST), sistem tirai kabut air dengan skala laboratorium dibuat untuk mempelajari pengaruhnya terhadap perubahan distribusi temperatur ruangan, yaitu ruangan yang tidak menggunakan kabut air dan menggunakan kabut air.. Dari hasil pemodelan, adanya tirai kabut air mempengaruhi persebaran panas yang terjadi di dalam ruangan. Selain itu, pemilihan single mesh dengan 3 (tiga) ukuran grid yang berbeda dalam input dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap keakuratan hasil output dari parameter-parameter yang akan diukur. Beberapa variabel di atas, selain berpengaruh terhadap perubahan temperatur di dalam ruangan, juga berpengaruh terhadap aliran asap yang berasal dari *pool fire*.

Keyword: kabut air, perubahan temperatur, grid

ABSTRACT

Name : Aisha Anastasia
Major : Mechanical Engineering
Title : Modelling of Effect of Watermist Curtain on Room Temperature
Distribution

Fire hazard is one of the aspects that has to be considered when designing and constructing buildings. Fire, will not only result in material losses but also immaterial losses, such as injury, disability or even death. In this modelling, the simulation software created by FDS (NIST), a laboratory scale room was made to study the effect of water mist curtain system. In this case we compare 2 rooms, one room with water mist curtain and the second room without water mist curtain. From the modeling results, we will see that the existance of water curtain affects the heat flow in the compartment. The reason of the selection of a single mesh with 3 (three) different grid sizes when inputting the data for the simulation, is to study and determine the accuracy of the output parameter. Some of the variables input above, are not only affecting the change of the room temperature, but also affecting the flow of smoke from the pool fire in the compartment.

Keyword: water mist, heat flow, grid

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Bahaya kebakaran menjadi salah satu aspek keselamatan yang harus diperhatikan dalam mendesain dan mendirikan bangunan. Jika terjadi kebakaran, kerugian bukan hanya dari sisi materiilnya saja, yang sudah tentu merugikan pengembang, penghuni, dan masyarakat sekitar, melainkan ada pula kerugian dari segi sisi nonmateriil, seperti cedera, cacat, bahkan kematian yang nilai kerugiannya tidak bisa dibandingkan dengan nilai kerugian materiil.

Sebagian besar bangunan sudah memiliki alat pemadam berupa *sprinkler* serta alat pemadam api ringan (APAR). APAR adalah alat yang ringan dan mudah dioperasikan oleh satu atau dua orang (untuk APAR beroda) guna memadamkan api pada awal terjadinya kebakaran.

Jenis APAR ini tergantung dari isinya :

- Air
- Busa (Foam)
- Tepung Kering (Dry Chemical/Dry Powder)
- Gas CO₂

Meskipun efektif dalam memadamkan api, alat pemadam api ringan (APAR) yang biasa digunakan masyarakat umumnya berisi racun api (dry powder) atau gas karbondioksida (CO₂). Selain itu juga memiliki kelemahan yaitu dapat menyebabkan ruangan menjadi kotor dan bisa menimbulkan korosi pada permukaan logam. Pemakaian busa, *powder* dan karbon dioksida dinilai kurang efektif dalam memadamkan nyala api dengan sumber tertentu, penggunaan Halon dalam memadamkan kebakaran juga tidak boleh dilanjutkan lagi karena berdampak buruk terhadap lingkungan.

Pemilihan jenis pemadam api harus disesuaikan dengan penyebab

kebakaran. Sebagai contoh, bila kebakaran terjadi karena arus pendek listrik maka jenis pemadam yang tepat adalah jenis karbon dioksida (CO₂ fire extinguisher). Salah dalam memilih jenis pemadam api bukan saja menyebabkan proses pemadaman menjadi sulit, bahkan dapat membuat api menjadi lebih besar.

Seiring berkembangnya ilmu, teknologi serta perkembangan penelitian, penggunaan kabut air dapat menjadi sebuah alternatif. Selain lebih aman terhadap lingkungan, juga manusia serta barang-barang sekitar, penggunaannya dapat menggantikan bahan pemadam pada sistem yang sudah ada di beberapa bangunan seperti halon, yang dapat merusak ozon. Alternatif ini diperkuat lagi karena halon sudah dilarang dalam Protokol Montreal tahun 1992, penggunaan kabut air juga lebih efisien dikarenakan alirannya yang rendah dan juga dapat menjangkau areal yang luas. Selain itu sudah banyak perusahaan pembuat alat dan sistem keselamatan kebakaran yang mengembangkan dengan pengaplikasian kabut air ini. Sistem kabut air juga tidak hanya untuk merubah pirolisis dari bahan bakar yang bisa membuat api tidak lagi menyala. Tetapi juga diaplikasikan untuk mendinginkan permukaan dan temperatur ruangan sekitar. Butiran air yang digunakan dalam sistem kabut air dapat menahan atau mengurangi radiasi termal hingga 40 persen melalui mekanisme menyerap (*absorpsi*) dan menyebar (*scattering*).

Selain itu, semakin cepat dan berkembangnya desain bangunan saat ini dan juga material-material yang digunakan, maka semakin berkembang dan semakin bervariasi juga potensi bahaya kebakaran pada bangunan-bangunan tersebut, begitu juga dalam sistem proteksi pemadam kebakaran. Untuk mengatasi banyaknya variasi skenario kebakaran akibat hal tersebut, agar lebih efektif dan optimal maka dilakukan pemodelan skenario kebakaran terlebih dahulu dengan menggunakan software pada komputer, salah satunya yaitu dengan menggunakan *Fire Dynamic Simulator* (FDS) yang merupakan perangkat lunak yang dikembangkan dan dikelola oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST) Departemen Perdagangan Amerika Serikat, bekerja sama dengan *VTT Technical Research Center* di Finlandia.

1.2 Perumusan Masalah

Pemodelan yang dilakukan saat ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan tirai kabut air terhadap perubahan temperatur ruangan dimana sumber apinya berasal dari *pool fire* bensin, dengan pemasangan 3 nosel kabut air. Ruangan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model dengan skala laboratorium berukuran 1 m x 0.5 m x 0.5 m. Aplikasi kabut air dalam pemodelan ini tidak dibuat untuk memadamkan api, melainkan untuk melihat pengaruh penyebaran panas pada model.

Pemodelan ini juga dilakukan ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan ukuran besar kecilnya *grid* dalam input permodelan pada FDS terhadap output yang dihasilkan.

1.3 Tujuan penulisan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Diperolehnya hasil simulasi komputer berupa simulasi penyebaran panas dengan menggunakan kabut air dan tidak menggunakan kabut air.
2. Mengetahui distribusi temperatur ruangan sebagai pengaruh nyala api dari *pool fire*.
3. Memberikan informasi untuk mengetahui hubungan antara besarnya *grid* pada input file dengan hasil simulasi yang diperoleh.

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Pemakaian *grid* yang digunakan ada 3 ukuran yaitu 0,02 m x 0.02 m x 0.02 m, 0,04 m x 0.04 m x 0.04 m, 0,05 m x 0.05 m x 0.05 m
2. Pemodelan menggunakan FDS yang bekerja dengan rectilinier *grid*.
3. Jumlah nosel yang digunakan 3 buah dengan jarak antar nosel 15 cm.
4. Pemasangan water mist aktif di menit ke dua setelah api menyala.
5. Tidak dilakukan perhitungan terhadap *flow rate* dan *pressure drop* dari sistem pemipaan dan ukuran droplet.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal, skripsi dengan tema yang sama dan situs-situs di internet.

2. Perancangan input pada software FDS

Perancangan input-input file sesuai dengan tujuan penelitian. Selain memasukan properti material dari bahan bakar dan material-material lain sesuai dengan pengujian, pada pemodelan ini alat seperti, nosel, termokopel, juga dipasang pada input FDS.

3. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Setelah data diolah maka dilakukan proses analisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian. Analisa dilakukan dengan mengacu kepada literatur yang telah ada.

4. Membuat kesimpulan akhir dari seluruh kegiatan penelitian. Kesimpulan yang dibuat harus mengacu kepada tujuan penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir penelitian ini dibagi menjadi bagian-bagian agar mudah dalam memahami dan mempelajarinya. Sistem penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori mendasar tentang penelitian ini dan perkembangannya. Dasar teori yang terdapat dalam penelitian ini yaitu mengenai proses pembakaran pada bahan bakar cair (bensin), karakteristik *pool*

fire, pemodelan dengan menggunakan Software FDS, dan sistem pemadaman kebakaran kabut air. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal dan situs-situs internet.

BAB III METODOLOGI PENGUJIAN

Pada Bab ini berisi penjelasan secara lengkap tentang konsep desain alat dan proses pembuatan input pada software FDS serta pemasangan-pemasangan device dan input-input properties material pada software

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisikan data-data hasil permodelan, grafik serta analisi hasil yang diperoleh. Bagian ini akan membahas data-data yang terkumpul dari hasil permodelan.

BAB V KESIMPULAN dan SARAN

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

BAB II

Tinjauan Pustaka

I.1 Api

2.1.1 Segitiga Api

Diperlukan tiga komponen untuk dapat menyalakan api atau terjadi kebakaran. Ketiga komponen tersebut adalah bahan bakar, udara dan pemicu, yang biasa disebut dengan segitiga api. Pembakaran tidak akan terjadi apabila bahan bakar tidak ada atau tidak tersedia dalam jumlah yang cukup, pengoksidasi tidak ada atau tidak tersedia dalam jumlah yang cukup, sumber api tidak cukup kuat untuk menimbulkan pembakaran atau menyalakan api



Gambar Error! No text of specified style in document.I-1. Segitiga api

Api muncul akibat proses oksidasi yang terjadi secara cepat antara pembakaran bahan bakar, lalu muncul kalor, nyala api yang kemudian terjadi gas sisa hasil pembakaran.

Bahan bakar, setiap bahan yang mudah terbakar (padat, cair, gas). Bahan bakar selain gas, yaitu yang berupa padat dan cair, sebelum terbakar membutuhkan energi

panas untuk berubah menjadi fase gas. Bahan bakar cair harus dipanaskan (penguapan) terlebih dahulu agar berubah menjadi gas, sedangkan bahan bakar padat perlu dilakukan *pyrolysis*, agar berat molekulnya menjadi lebih ringan sehingga mudah untuk menguap dan terbakar. Oksidizer adalah segala macam gas yang mengandung oksigen. Oksigen, diperlukan suplai oksigen yang cukup untuk dapat bereaksi dengan bahan bakar. Udara merupakan oksidizer alami karena udara pada keadaan normal memiliki kandungan oksigen sebesar 20%. Panas atau pemicu dapat berupa gesekan, energi listrik atau akibat panas sinar matahari, yang selanjutnya meningkatkan temperatur sampai pada temperatur nyala api bahan tersebut.

Nyala api adalah proses oksidasi eksotermal, sehingga berupa energi berintensitas yang bervariasi dan memiliki bentuk cahaya (dengan panjang gelombang juga di luar spektrum visual sehingga dapat tidak terlihat oleh mata manusia) dan panas yang juga dapat menimbulkan asap. Fire point atau reaksi nyala akan kontinu atau terus menerus apabila ada siklus panas yang dapat menghasilkan uap secara terus-menerus atau sebelum bahan bakar habis.

Pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam, yaitu *flaming* dan *smouldering*. Yang membedakan kedua macam pembakaran tersebut, yaitu *smouldering* adalah bentuk kebakaran tanpa adanya nyala api, pergerakannya termasuk lambat dan temperatur yang rendah. Sedangkan *flaming*, merupakan pembakaran disertai nyala api, pergerakannya cepat dan temperaturnya tinggi.

Warna api dipengaruhi oleh intensitas cahayanya, suhu serta bahan bakarnya. Biasanya digunakan untuk menentukan apakah suatu bahan bakar termasuk dalam tingkatan kombusi sehingga dapat digunakan untuk keperluan manusia (misal digunakan sebagai bahan bakar api unggun, perapian atau kompor gas) atau tingkat pembakar yang keras yang bersifat sangat penghancur, membakar dengan tidak terkendali sehingga merugikan manusia (misal, pembakaran pada gedung, hutan, dan sebagainya).

2.1.2 Kelas – kelas api

Di Amerika Serikat melalui badan yang dinamakan National Fire Protection Association (NFPA) menetapkan 4 kategori jenis penyebab kebakaran, yaitu kelas A, B, C, D. :

Kelas A adalah kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda padat, misalnya kertas, kayu, plastik, karet, busa dan lain-lainnya. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: air, pasir, karung goni yang dibasahi, dan Alat Pemadam berbahan tepung kimia kering (*dry powder*).

Kelas B adalah kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda mudah terbakar berupa cairan, misalnya bensin, solar, minyak tanah, spirtus, alkohol dan lain-lainnya. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: pasir dan Alat Pemadam tepung kimia kering (*dry powder*) maupun Foam. Dilarang memadamkan menggunakan air untuk jenis ini karena berat jenis air lebih berat dari pada berat jenis bahan di atas sehingga bila kita menggunakan air maka kebakaran akan melebar kemana-mana.

Kelas C adalah kebakaran yang disebabkan oleh adanya hubungan arus pendek pada peralatan elektronik. Alat pemadam yang bisa digunakan untuk memadamkan kebakaran jenis ini dapat juga menggunakan tepung kimia kering (*dry powder*), akan tetapi memiliki resiko kerusakan peralatan elektronik, karena *dry powder* mempunyai sifat lengket dan korosif. Lebih cocok menggunakan pemadam api berbahan *clean agent*.

Kelas D adalah kebakaran yang disebabkan oleh benda-benda berbahan metal, untuk kebakaran jenis ini tidak diperkenankan menggunakan jenis alat pemadam yang bersifat dingin seperti contohnya CO₂, karena hal tersebut dapat memicu ledakan sehingga bahaya kebakaran akan semakin besar. Kita dapat menggunakan DCP (*dry chemical powder*), walaupun hal tersebut dapat berefek korosif pada metal namun bahaya pada saat pemadaman relatif kecil. Kebakaran jenis ini dapat mengakibatkan kebakaran tipe A.

Kelas K adalah kebakaran yang disebabkan oleh minyak dalam proses penggorengan. Sebenarnya kebakaran ini termasuk dalam kebakaran tipe B, tetapi karena karakteristik yang berbeda maka kebakaran ini mendapatkan perhatian khusus.

2.1.3 Proses pemadaman api.

Seperti penjelasan diatas, api bisa terbentuk jika ada beberapa faktor yang mendukungnya (segitiga api) yaitu bahan bakar, udara, kalor.

Oleh karena itu, untuk memadamkan api, ada 4 prinsip yang dapat dilakukan:

1. Memindahkan bahan bakarnya dari sumber api
2. Pendinginan
3. Memutus suplai oksigen
4. Memasukkan senyawa kimia kedalam api sehingga pembentukkan bahan-bahan yang terbakar bisa dihentikan.(memutus rantai kimia)

Alat Pemadam Api Ringan (APAR) adalah perangkat perlindungan kebakaran portable yang digunakan untuk memadamkan atau mengendalikan kebakaran kecil/ringan, yang sering terjadi dalam situasi darurat. Alat ini tidak diperuntukkan untuk digunakan pada kebakaran besar, membahayakan pengguna (yaitu tidak ada jalan keluar, asap, ledakan bahaya, dll), atau jika memerlukan keahlian pemadam kebakaran. Biasanya, alat pemadam api terdiri dari silinder genggam bejana tekanan berisi zat yang dapat disemprotkan untuk memadamkan api. Untuk APAR sendiri dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan jenis penyebab kebakaran / api.

1. Kimia kering / Dry Chemical
Bubuk berbasis agen yang memadamkan dengan memisahkan bagian-bagian pemicu api. Ini mencegah reaksi kimia antara panas, bahan bakar dan oksigen dan perhentian produksi api berkesinambungan, sehingga memadamkan api. Media yang digunakan dalam APAR ini adalah partikel-partikel kimia yang mencakup sodium bikarbonat, potassium bikarbonat (purple K), potassium klorida atau mono kromonium fosfat yang dicampur secara khusus sehingga dapat menyerap panas. Jenis ini bisa dipakai untuk kebakaran kelas A, B dan C yang tergantung dari bahan /media isi APAR.

2.Foam

Campuran busa yang dilarutkan dalam air, berfungsi sebagai penghalang tercampurnya

udara dengan uap bahan bakar dengan cara membentuk lapisan film hidrokarbon pada permukaan bahan bakar untuk menekan timbulnya uap bahan bakar. Penggunaannya tergantung pada bahan yang terkandung pada alat tersebut, cuma type ini sering digunakan untuk Kebakaran kelas D.

3.Halon

Media ini merupakan senyawa gas hidrokarbon yang salah satu atau lebih gugus hidrogennya diganti dengan atom halogen atau atom bromine. Sifatnya stabil. Cara kerja dari jenis pemadam ini adalah dengan mengikat oksigen, sehingga memutus rantai reaksi kimia pada proses pembakaran. Biasanya digunakan untuk memadamkan jenis kelas kebakaran C. Tetapi halon mempunyai efek samping terhadap ozon.

4.Karbondioksida(CO₂)

Media yang digunakan dalam APAR ini adalah gas CO₂. Cara kerja dari pemadam jenis ini adalah dengan menyingkirkan oksigen dari area kebakaran dan memisahkannya dari bahan bakar, karena CO₂ lebih berat dibandingkan dengan oksigen. Karena gas CO₂ tersimpan dalam fasa cair dengan tekanan tinggi, maka suhunya pun sangat rendah (dibawah -78°C), sehingga pemadamannya juga dilakukan dengan metode pendinginan. Media ini biasanya digunakan untuk jenis kebakaran kelas C, akan tetapi sistem gas CO₂ lebih baik digunakan pada ruangan yang tanpa penghuni. Karena, apabila ruangan tersebut berpenghuni, penggunaan gas CO₂ untuk memadamkan kebakaran justru dapat membahayakan penghuni akibat menurunnya konsentrasi oksigen (O₂) dan menyebabkan kesulitan untuk bernapas.

5.Air

APAR yang berisi air biasanya tabungnya berwarna perak. Isi apar ini adalah air murni yang disimpan dalam sebuah tabung bertekanan. Keunggulan jenis ini adalah karna Murah, tidak berbahaya, dan mudah dibersihkan. Tetapi jika penggunaan air dalam jumlah besar dan dilakukan berulang-ulang (repetitive) tanpa terpakai sepenuhnya

untuk mengenai sumber api dan tergenang begitu saja pada lantai, sehingga cenderung tidak efisien. Pemakaian pemadaman menggunakan air untuk jenis pemadam ini biasanya digunakan untuk jenis kebakaran kelas A.

6. Powder/Bubuk/Kelas D

Bahan powder ini khusus digunakan untuk kelas kebakaran D atau kebakaran yang melibatkan bahan dasar logam. Bahan dari powder ini mengandung garam dan natrium klorida termoplastik aditif. Plastik meleleh untuk membentuk oksigen-termasuk kerak di atas logam, dan garam menghantarkan panas.

7. Kimia (basah)

Wet Chemical (kalium asetat, karbonat, atau sitrat) memadamkan api dengan membentuk selimut busa sabun di atas minyak bakar dan minyak pendinginan di bawah temperatur pengapian. Umumnya kelas A dan K (F di Eropa) saja, meskipun model-model baru yang dilengkapi dengan nozel gerimis seperti yang digunakan pada unit kabut air untuk memberikan alat pemadam ini kemampuan pemadam kebakaran kelas B dan C.

1.2 Bahan Bakar

2.2.1 Bensin

Bensin atau petrol adalah cairan campuran yang berasal dari minyak bumi dan sebagian besar tersusun dari hidrokarbon. Karena bensin merupakan campuran berbagai bahan, daya bakar bensin berbeda-beda menurut komposisinya. Ukuran daya bakar ini dapat dilihat dari bilangan setiap campuran. Bilangan oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan.

2.2.2 Karakteristik Bensin

Beberapa karakteristik yang perlu di ketahui mengenai bensin;

- *Flash point* adalah temperatur terendah bensin agar dapat menguap untuk membentuk campuran yang bisa terbakar di udara jika disulut dengan api.
- Temperatur *Auto ignition* atau disebut juga sebagai *fire point* adalah temperatur dimana uap bensin terbakar secara spontan, tanpa membutuhkan sumber panas luar untuk menyalakan api pada temperatur atmosfer.

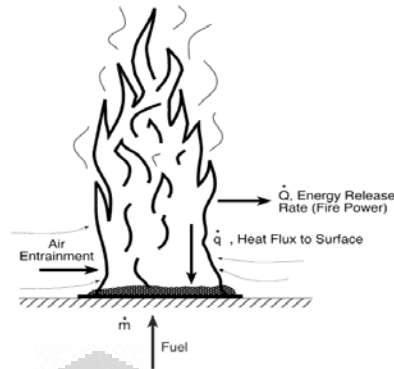
Tabel 2.1 termal properties dari gasoline [1] [2]

Material Properties	Gasoline
Conductivity (W/mK)	0.15
Specific Heat (kJ/kg/K)	2.22
Density (kg/m ³)	737
Heat of combustion (kJ/kg)	44500
Heat of reaction (kJ/kg)	495

1.3 Pool fire

2.3.1. Pendahuluan

Bahan bakar cair cenderung untuk terbakar sebagai suatu 'kolam api' (pool) dengan permukaan yang datar dan merata. *Pool fire* adalah api yang terbakar secara difusi diatas kolam yang berisikan bahan bakar yang sedang mengalami penguapan cairan dengan momentum yang sangat rendah. Kebakaran *pool fire* mempunyai dampak yang sangat berbahaya dan merupakan kejadian yang tidak diharapkan. Penanganan kebakaran dari api jenis ini berbeda dengan kebakaran dari bahan bakar padat.



Gambar II-2 Pool fire

Babrauskas [3] (1983 dan 1986) mendefinisikan empat jenis bentuk sifat *flame* berdasarkan diameternya seperti yang tercantum pada tabel

Tabel 2.2 Sifat-sifat *flame* pada *pool fire*

Diameter <i>pool fire</i> (m)	Sifat <i>Flame</i>
< 0.05	Laminar, konveksi
<0.2	Turbulen, konveksi
0,2 hingga 1.0	Turbulen, radiasi
>1.0	Turbulen, radiasi

Sifat *flame* yang terbentuk dari *pool fire* ada tiga jenis, tergantung dari diameter *pool fire* tersebut. Jika diameternya kurang dari 0.03 m maka *flamena* bersifat laminar dan laju pembakarannya meningkat sebanding dengan peningkatan diameter *pool fire*. Sedangkan pada diameter besar ($D > 1\text{m}$) *flamena* bersifat turbulen dan ukuran diameter tidak mempengaruhi laju pembakaran. Sedangkan pada jangkauan $0.03 < D < 1.0\text{m}$ *flame* bersifat transisi, diantara laminar dan turbulen. Pada *pool fire* berukuran kecil, heat transfer paling besar terjadi secara konduksi, sedangkan pada *pool fire* berukuran besar heat transfernya paling banyak terjadi secara radiasi.

2.3.2 Tinggi Nyala Api *Pool fire*

Nyala api dari *pool fire* selalu berfluktuasi, sehingga untuk menentukan tinggi nyala api dapat dilakukan perhitungan maupun dengan visual yang terjadi sebenarnya. Untuk menentukan tinggi nyala api dengan perhitungan dapat menggunakan korelasi yang telah dibuat oleh Heskestad, (1995) dan Thomas (1962). Rumus berikut merupakan rumus empiris yang berdasarkan kepada eksperimental [Heskestad, 1995] :

$$H_f = 0.235Q^{2/3} - 1.02D \quad (2.1)$$

dimana:

H_f = tinggi nyala api (m)

Q = heat release rate of the fire (kW)

D = diameter dari api (m)

2.3.3 Laju pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) *Pool fire*

HRR digunakan sebagai analisa bahaya kebakaran, nilai HRR tidak bisa dihitung berdasarkan properties dari material akan tetapi didapat dari serangkaian tes.

Untuk menghitung laju pembakaran *pool fire*, maka digunakan rumus :

$$m'' = m''_{\infty} (1 - e^{-k\beta D}) \quad (2.2)$$

dengan :

$k\beta$ = Koefisien perpindahan panas radiasi

D = diameter dari *pool fire*

m'' = laju pembakaran *pool fire* (kg/m²s)

Dari laju pembakaran tersebut dapat diketahui besarnya energi yang dikeluarkan api pembakaran.

$$Q = \dot{m} \Delta H_c A_f \quad (\text{kW}) \quad (2.3)$$

dimana :

A_f = luas horisontal permukaan bakar (m^2)

ΔH_c = panas pembakaran (kJ/g)

2.3.4 Durasi pembakaran Pool Fire

Untuk menghitung lamanya pembakaran pool fire yang mempunyai volume bahan bakar yang tetap dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$t_b = \frac{4V}{\pi D^2 v} \quad (2.4)$$

dimana :

V = volume dari bahan bakar cair (m^3)

D = diameter dari pool (m)

v = laju pembakaran (regression rate) (m/sec)

Pada saat bahan bakar di dalam pool terbakar, kedalaman bahan bakar akan berkurang. Laju pembakaran atau juga disebut dengan *regression rate* didefinisikan sebagai *volumetric loss* dari cairan per unit luas area permukaan dari pool per unit waktu.

$$v = \frac{\dot{m}''}{\rho} \quad (2.5)$$

dimana

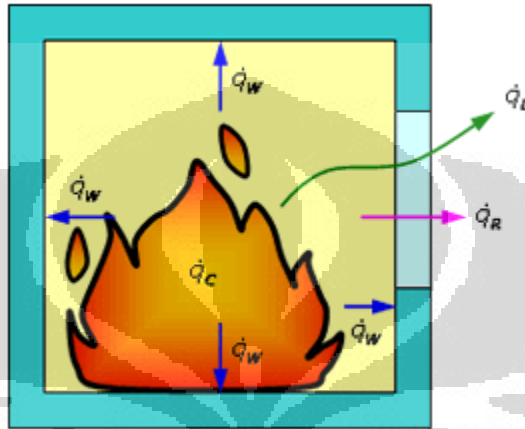
\dot{m}'' = laju pembakaran dari bahan bakar per unit luas ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

ρ = massa jenis bahan bakar cair (kg/m^3)

2.1 COMPARTMENT FIRE

Compartment fire adalah istilah untuk menjelaskan api yang muncul di sebuah ruangan dalam sebuah bangunan. Setelah api menyala atau pada saat terjadi

penyalaan, pada saat api yang menyala masih berukuran kecil, api akan menyala bebas. Laju pirolisis dan pelepasan energi hanya terpengaruh oleh pembakaran bahan bakarnya, bukan pengaruh dari adanya halangan atau batasan terhadap api dalam ruangan tersebut. Kalaupun terjadi penambahan ukuran dari api itu bisa terjadi akibat persebaran nyala api diatas bagian nyala api yang pertama kali terbakar atau karena persebaran api yang merambat dikarenakan dikarenakan terkena objek lain yang bisa terbakar didekatnya.



Gambar II-3 Compartment Fire

Jika terdapat cukup ventilasi untuk pertambahan laju api, maka dapat digambarkan fungsi pertambahan api, dalam hubungan besar temperatur dan waktu. Secara skematik, maka fungsi tersebut dapat dibagi dalam 3 tahapan [4]:

1. Tingkatan perkembangan atau *pre-flashover*, dimana temperature rata-rata *compartment* relatif rendah dan nyala api hanya terjadi pada area kecil di dekat sumber apinya.
2. Tingkatan berkembang penuh atau *post-flashed over*, terjadi saat seluruh benda-benda yang bisa terbakar oleh api di dalam ruangan ikut terbakar, pada saat ini, nyala api ada di dalam seluruh ruangan tersebut.

3. Tingkatan pengurangan atau *decay period*, merupakan tingkatan setelah temperatur rata-rata dari api turun sekitar 80% dari nilai tertingginya.

Compartment fire biasanya disebabkan dari salah satu dari tiga sebab berikut ini:

- 1 *Pilot Ignition*, Biasanya dimulai karena adanya bahan yang mudah terbakar (flammable material) yang bermula karena satu pemicu misalkan api atau listrik.
- 2 *Auto Ignition*, dimana api bermula dengan sendirinya karena temperature ruang yang cukup tinggi dimana diruangan tersebut terdapat bahan yang mudah terbakar tanpa dimulai oleh suatu pemicu.
- 3 *Spontaneous combustion in bulk*, situasi ini yang paling jarang terjadi dibandingkan 2 kejadian diatas, penyebab api ini dikarenakan oleh suatu bongkahan bahan bakar solid yang mengalami self-heating dari hasil proses biologi, proses kimia, ataupun dari oksidasi dari pengeringan minyak yang lalu menyebabkan bagian dalam bahan bakar tersebut mengalami self smoldering.

1.5 Kabut Air

2.5.1. Pendahuluan

Kabut air merupakan air yang dipecahkan menjadi ukuran tetesan air (*droplet*) yang sangat halus. Dikarenakan hal itu, kabut air mempunyai luas permukaan yang sangat besar yang menyebabkan laju perpindahan panas menjadi lebih besar. Pengertian lain dari kabut air adalah semprotan air yang berukuran halus dimana 99% dari volume semprotan air tersebut adalah tetesan yang mempunyai diameter kurang dari 1000 mikron yang biasanya mempunyai ukuran *volumetric mean diameter* 30-300 μm . [5]. Berikut perbandingan ukuran diameter droplet dengan bentuk yang terjadi.

Tabel 2.3 variasi radius droplet

Radius Droplet [μm]	Deskripsi
10	Kabut tipis (fog)
50	Kabut tebal (mist)
100	Water mist
500	Hujan

Wighus mengenalkan suatu konsep hubungan antara ukuran nyala api dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk memadamkan nyala api tersebut, konsep tersebut disebut dengan *Spray Heat Absorption Ratio* (SHAR) yaitu rasio antara jumlah panas yang diserap oleh water mist dan panas yang dihasilkan oleh api. Nilai dari SHAR ini bervariasi untuk berbagai macam jenis api, dan juga efisiensi dari kabut air dalam memadamkan api yang tidak dapat diprediksi.

Dari berbagai literatur lainnya, didapatkan bahwa sistem kabut air memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan pemadam kebakaran konvensional lain, antara lain:

1. Sistem kabut air tidak beracun dan menyebabkan sesak napas karena media yang digunakan adalah air, dibandingkan dengan penggunaan halon seperti pada sistem pemadaman yang biasa dipakai, dengan demikian tidak menyebabkan kerusakan lingkungan juga.
2. Dikarenakan menggunakan media air, biayanya lebih murah dibandingkan dengan menggunakan media lainnya.
3. Air merupakan zat yang mudah diperoleh, tidak seperti zat lainnya yang sulit untuk didapat.
4. Kabut air dapat menjangkau areal yang luas, sehingga laju penyerapan panas menjadi lebih besar.
5. Pemakaian atau penyediaan media (air) lebih irit. Hal ini dikarenakan laju aliran kabut air yang rendah. Hal ini mengurangi jumlah konsumsi air yang digunakan.

6. Bekas atau sisa-sisa pemadaman (genangan bekas proses pemadaman) lebih sedikit, sehingga lebih mudah untuk dibersihkan.

Walau begitu, sistem kabut air ini juga memiliki beberapa kelemahan. Antara lain, dari segi harga pemasangan awal yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan sistem pemadam konvensional, serta pemahaman tentang kabut air oleh masyarakat luas yang belum begitu berkembang.

2.5.2 Mekanisme pemadaman menggunakan kabut air

Air mempunyai kapasitas panas yang tinggi (4.2 J/g.K) dan panas laten uap yang tinggi (2442 J/g) dan dapat menyerap panas api dan bahan bakar dalam jumlah yang cukup banyak secara signifikan. Air juga dapat mengembang 1700 kali ketika menguap menjadi uap panas, dan dapat mengurangi kadar oksigen dan penguapan bahan bakar. Karena ukuran droplet yang sangat halus, efektivitas air untuk memadamkan api menjadi meningkat, karena terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada area permukaan dari air yang tersedia untuk menyerap panas dan penguapan. Seperti penambahan area permukaan dari air yang ditunjukkan pada tabel dimana volume air adalah 0.001m^3 . [6]

Tabel 2.4 variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet (volume air 0.001m^3)

Ukuran droplet (mm)	Jumlah total droplet	Luas area permukaan (m ²)
6	8.8×10^3	1
1	1.9×10^6	6
0.1	1.9×10^9	60

Sistem pemadaman kebakaran kabut air adalah suatu sistem perlindungan bahaya kebakaran yang dipasang tetap pada suatu instalasi bangunan yang

menggunakan air untuk mengontrol, menahan, atau memadamkan api. Sistem tersebut terdiri dari nosel yang terpasang dengan sistem pemipaan yang dihubungkan dengan tempat penampungan air. Pada saat beroperasi, sistem pemadaman menggunakan kabut air ini menyemprotkan air yang memiliki ukuran droplet kecil yang semprotannya berupa kerucut.

Pada pemadaman api dengan sistem kabut air tidak semua droplet yang dihasilkan akan memadamkan api karena sifat dari kabut air yang tidak seperti sifat gas pada umumnya, sebagian droplet ini akan terbagi menjadi;

1. Droplet yang terhembus menjauh sebelum mencapai api.
2. Droplet yang kemudian mencapai permukaan pembakaran dibawah nyala api sehingga dapat menghambat terjadinya pyrolisis dengan cara mendinginkan dan membentuk uap panas yang dapat mengurangi jumlah oksigen disekeliling api.
3. Droplet yang mengenai dinding, lantai dari ruangan dan mendinginkan permukaan dinding dan lantai dan peralatan yang lain.
4. Droplet yang akan membasahi beberapa permukaan yang mudah terbakar untuk mencegah api menyebar.
5. Droplet yang menguap menjadi uap panas pada saat melintasi dinding dan peralatan lainnya akan memberikan kontribusi pada pendinginan nyala api dan permukaan lainnya.

2.5.3 Performa pemadaman dengan kabut air

Kabut air dapat memadamkan, menahan, dan mengontrol api dengan berbagai cara, diantaranya:

1. Pemadaman nyala

Droplet memasuki *flame*, kemudian *flame* mengalami pendinginan temperatur yang cukup rendah sehingga *flame* tidak lagi menyala, sehingga api akan padam. Permukaan panas dari bahan bakar tersebut akan terus memproduksi produk pyrolisis untuk jangka waktu tertentu yang dapat memicu terjadinya nyala api ulang. Mekanisme pendinginan nyala api oleh kabut air dengan cara merubah air menjadi uap panas, perubahan ini terjadi ketika kabut air dengan ukuran droplet yang kecil

dan jumlah yang banyak memasuki nyala api dan dengan menguap dengancepat. Api akan padam pada saat temperatur adiabatik dari nyala api berkurang menjadi temperatur di bawah temperatur limitnya, sehingga dapat menghentikan reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara. Api juga dapat dipadamkan ketika bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala (*fire point*).

1 Pendinginan permukaan

Droplet mengenai permukaan bahan bakar, yang mendinginkan hingga ke temperatur dimana produk *pyrolysis* tidak lagi dapat diproduksi untuk menghasilkan nyala api kembali. Yaitu dengan semprotan kabut air yang menembus nyala api agar dapat mencapai permukaan bahan bakar yang kemudian memindahkan sejumlah panas dari permukaan bahan bakar dengan laju perpindahan yang tinggi dari laju perpindahan panas yang diberikan oleh nyala api.

2 Droplet menghalangi atau mengurangi re-radiasi dari nyala api sehingga mengurangi laju pemanasan dan laju *pyrolysis* pada permukaan bahan bakar.

Rabash[8] telah melakukan perhitungan dari efisiensi kabut air dalam memadamkan nyala api, ditemukan bahwa pada saat air menguap menjadi steam, penyerapan panas yang dibutuhkan untuk memadamkan api berkurang setengah dibandingkan pada uap air yang mengalami kondensasi. Dengan ukuran droplet yang halus, luas permukaan dari air dan kecepatan dimana kabut air menghilangkan panas dan memadamkan nyala api secara signifikan menjadi meningkat. Menurut *Kannury*[9] dan *Herterich*[10] laju penguapan droplet tergantung oleh; Laju penguapan droplet tergantung oleh:

1. Temperatur lingkungan
2. Luas permukaan droplet
3. Koefisien perpindahan panas
4. Kecepatan relatif droplet dengan gas yang terdapat di lingkungan sekitar

Untuk mendapatkan kabut air yang baik. Dapat dilakukan dengan menggunakan tiga jenis nosel, yaitu: nosel tekanan tinggi orifis tunggal, nosel tekanan rendah fluida tunggal dan nosel atomisasi udara.

I.6 Simulasi Pemodelan

Munculnya *performance based regulation* tentang *fire safety* serta semakin kompleksnya desain suatu bangunan telah mendorong peningkatan dalam penggunaan teknologi komputer dalam memodelkan ataupun mensimulasikan pergerakan asap dan api serta persebaran panas dalam suatu ruangan dan bangunan. Untuk dapat menerapkan simulasi ini seoptimal mungkin, *user* harus mengerti mengenai dasar-dasar dari pemodelan untuk mendapatkan keakuratan dan kevalidasian terhadap hasil yang diperoleh. Di bagian ini, akan memberikan pembahasan secara umum terhadap tipe-tipe pemodelan dengan computer yang digunakan dalam *safety fire*.

2.6.1 Deterministic Models

Pada umumnya *deterministic model* digunakan dalam *fire safety engineering design* pada sebuah bangunan yang dibagi kedalam beberapa jumlah kategori yang tergantung pada tipe permasalahan yang diinginkan. Beberapa kategori permasalahan utama adalah penyebaran panas dalam ruangan, 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 model akan mengasumsikan beberapa temperature rata-rata untuk upper part dari ruangan 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 ruang digunakan adalah DETACT model. CFD model juga 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*.

2.6.2 CFD (Computational Fluid Dynamic) Model

Teknik permodelan menggunakan CFD sangat luas digunakan dalam berbagai disiplin ilmu teknik. Model ini didasarkan pada solusi *time dependent* dan analisis tiga dimensi dari hukum konservasi dasar. Bagian volume yang akan dianalisis dibagi menjadi banyak subvolume dan dasar dari persamaan konservasi untuk mengatur massa, energi dan momentum pada masing-masing subvolume tersebut. Persamaan konservasi digunakan untuk menggambarkan aliran fluida. Inti dari seluruh kode CFD adalah persamaan *Navier Stokes*.

Selain untuk melihat aliran fluida serta perpindahan panas, teknik aplikasi CFD ini juga melibatkan pembakaran, fase perubahan, serta reaksi kimia untuk beberapa proses.

Dalam suatu kode CFD terdiri dari:

1. Preprocessor

Tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau boundary condition. Ditahap itu juga sebuah benda atau ruangan yang akan analisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering disebut juga dengan meshing.

2. Solver

Di tahap ini variabel-variabel yang tidak diketahui atau kesalahan pada proses preprocessor dapat diperkirakan, Lalu masuk ke substitusi persamaan aliran dan persamaan aljabar yang telah diselesaikan.

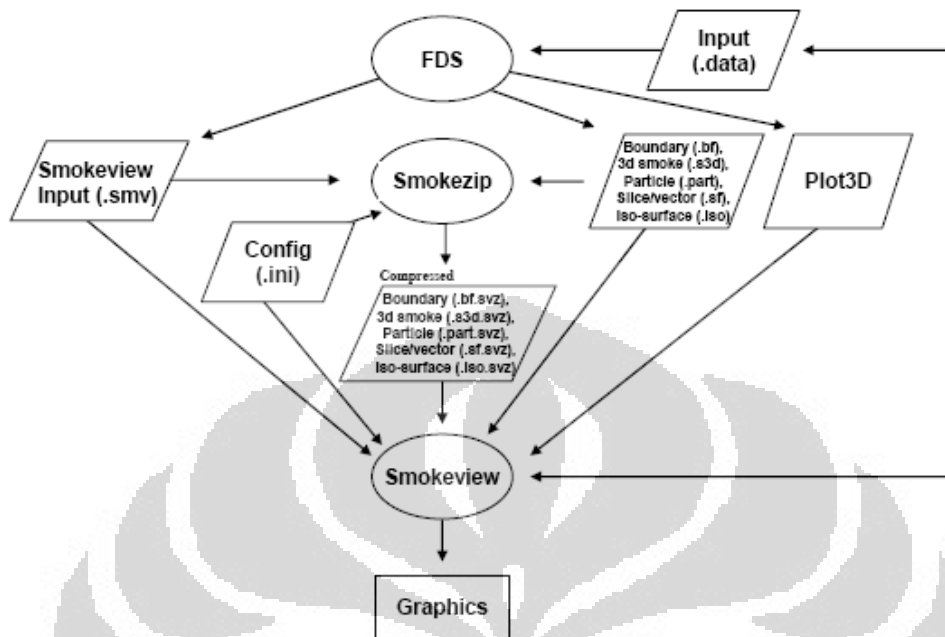
3. Postprocessor

Pada tahap ini sudah ada tampilan dari input dan output data dalam berbagai bentuk tampilan tergantung input yang sebelumnya dimasukan. Tampilan berupa *grid*, 2D maupun 3D plot permukaan, pergerakan partikel, dan lain lain.

2.6.3 FDS (Fire Dynamic Symulator)

FDS adalah program komputer dengan basis CFD (Computational Fluid Dynamic) yang menyelesaikan persamaan atur yang menggambarkan mengenai perkembangan aau pergerakan api. Perangkat lunak Fire Dynamic Symulator ini (yang selanjutnya disingkat menjadi FDS) pertama kali dirilis ke publik pada tahun 2000. Pada saat itu, sekitar setengah dari aplikasi merupakan model untuk rancangan sistem penangan asap dan sprinkler atau studi detektor aktifasi. Dan setengahnya lagi untuk rekonstruksi kebakaran pada perumahan dan industri. Program ini bisa didapatkan secara gratis dengan cara mendownload lewat internet pada alamat www.nist.gov, FDS dapat dijalankan di beberapa sistem operasi seperti MS Windows, Mac OS X dan Linux. Selain itu program ini juga terbuka untuk pengakses untuk ikut serta dalam pengembangan program tersebut. Semenjak tahun 2000, FDS telah mengalami perbaikan dan dikembangkan oleh NIST (National Institute of Standarts and Technology) ke dalam berbagai macam bentuk.

Program FDS merupakan program Fortran yang membaca paarameter input (masukan) dari text file, kemudian menghitung solusi numerik dengan persamaan atur yang kemudian membuat file output (keluaran) yang sesuai dengan profil file input yang dimasukan oleh pengguna. Output berupa animasi maupun nilai-nilai tertentu, temperatur dalam domain, konsentrasi asap dalam domain, dan yang terpenting untuk penelitian ini adalah perkembangan api dalam domain dan pengaruh besarnya input *grid* kedalam hasil nilai-nilai outputnya. Output tidak dapat dilihat langsung menggunakan FDS, melainkan menggunakan companion program yaitu smokeview. *Smokeview* adalah program tambahan untuk membaca output file FDS dan menghasilkan animasi pada layar monitor. *Smokeview* memiliki antar muka berbasis menu sederhana dan FDS tidak.



Gambar Error! No text of specified style in document.-4. Diagram yang menggambarkan file yang digunakan dan dibuat oleh NIST Fire Dynamic Simulator (FDS), Smokezip, dan Smokeview [11]

Untuk dapat lebih mengerti dan memahami tentang permodelan menggunakan FDS ini, maka terlebih dahulu *governing equations, assumptions and numeric* serta *limitation* yang berlaku pada permodelan ini harus dipahami. *Hydrodynamic* model FDS menyelesaikan secara numerik persamaan Navier-Stokes yang diperuntukan untuk *lowspeed, thermally-driven flow* pada perpindahan asap dan panas dari api. Inti dari algoritma ini merupakan suatu bentuk eksplisit dari *predictor - corrector* dari kejadian akurat secara ruang dan waktu. Pada pendekatan turbulensinya digunakan Large Eddy Simulation dan dimungkinkan untuk menampilkan *Direct Numerical Simulation* jika *grid* cukup baik.

FDS melakukan pendekatan geometri sebagai persamaan dari satu atau lebih *rectangular grid*. Dalam permodelan input FDS, semua *solid surface* dianggap sebagai *thermal boundary condition* yang dikombinasikan dengan sifat pembakaran material yang ingin digunakan. Perpindahan panas dan masa dari *solid surface* tersebut dilakukan dengan metode empiris.

Dalam permodelan FDS digunakan combustion model menggunakan *mixture*

fraction-based, fraksi campuran merupakan suatu jumlah skalar yang didefinisikan sebagai fraksi dari gas pada masukan dalam daerah aliran yang kemudian diasumsikan sebagai bahan bakar. Untuk mendapatkan suatu hasil atau nilai bisa menggunakan alat atau *device*, yaitu dengan mengaktifkan detektor asap, detektor panas, alat pengukur panas, water mist, sprinkle yang dimodelkan dengan korelasi yang sederhana terhadap inersia termalnya. Untuk *sprinkler*, water mist dimodelkan sebagai *langrangian particle* dari *water droplet*.

Pada permodelan FDS terdapat beberapa batasan, antara lain:

1. Permodelan dilakukan pada *low speed flow*
2. Lebih dianjurkan untuk menggunakan rectilinier geometri untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Pada permodelan, digunakan combustion model menggunakan *mixture fraction-based*, belum bisa membedakan pembakaran jenis *smoldering* dan *flaming*.
4. 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*".
5. Permodelan dapat digunakan lebih reliable jika heat transfer dari api ditetapkan secara spesifik.

BAB III

Pemodelan

3.1 Permodelan dengan software FDS

Pada pemodelan ini akan disimulasikan sebuah ruangan atau domain berukuran skala laboratorium, 1 m x 0.5 m x 0.5 m dengan material gipsum sebagai *wall* serta *boundary conditions* dipilih open pada bagian x maximum dengan sumber api *pool fire* yaitu *pan* berukuran 6cm dari material *stainless steel* yang diisi dengan 8ml bahan bakar bensin didalamnya. Setelah satu menit api menyala, nosel berjumlah 3 buah yang diletakan seperti gambar, dinyalakan secara serentak.

Pemodelan ini akan menyimulasikan 6 skenario, yaitu:

1. Simulasi penyebaran panas tanpa menggunakan water mist dengan input *grid* 2cm
2. Simulasi penyebaran panas tanpa menggunakan water mist dengan input *grid* 4cm
3. Simulasi penyebaran panas tanpa menggunakan water mist dengan input *grid* 5cm
4. Simulasi penyebaran panas dengan menggunakan water mist dengan input *grid* 2cm
5. Simulasi penyebaran panas dengan menggunakan water mist dengan input *grid* 4cm
6. Simulasi penyebaran panas dengan menggunakan sprray dengan input *grid* 5cm

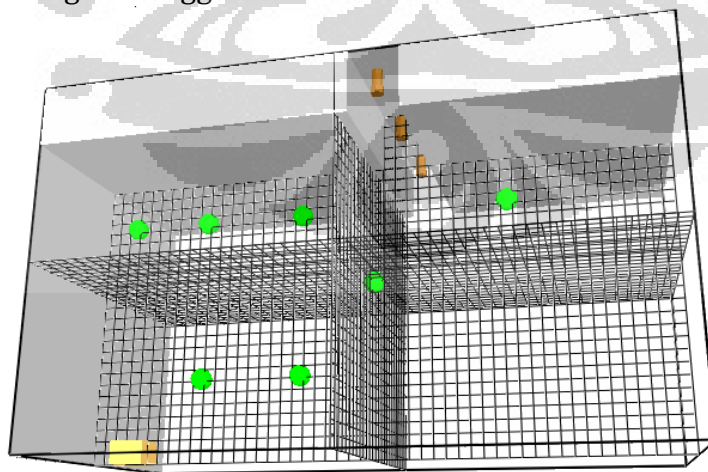
Dalam pembuatan simulasi menggunakan FDS input parameter yang digunakan sama dengan kondisi-kondisi pada keadaan sebenarnya saat dilakukan eksperimen dalam skala laboratorium. Input parameter pokok yang digunakan dalam pembuatan simulasi ini adalah:

3.1.1 Domain

Di dalam setiap pembuatan simulasi menggunakan program FDS, perbandingan besar domain dan *grid* merupakan hal yang mendasar. Besarnya *grid* dapat mempengaruhi keakuratan dari hasil simulasi yang dibuat. Kondisi sampai pada level tertentu dimana perubahan *grid* tidak mempengaruhi hasil simulasi suatu *grid* yang bisa disebut *fine*. Idealnya dalam proses pembuatan simulasi komputer builder hendaklah melakukan penelusuran besar *grid* dari mulai *grid* yang 'kasar' (*coarse mesh*) memperbaikinya dan menemukan *grid* yang lebih halus (*fine mesh*) untuk mensimulasikan fenomena fisik tersebut.

Dalam pelaksanaan simulasi umumnya waktu yang ditempuh dapat berkisar antara beberapa jam sampai 2 hari tergantung *grid* yang dipilih dan luasan model domainnya. Pada saat ini, untuk mensimulasikan sebuah ruangan dengan ukuran skala laboratorium 1 m x 0.5 m x 0.5 m penulis menggunakan 3 macam ukuran *grid*. Yaitu, menggunakan *grid* berukuran 0.02 m x 0.02 m x 0.02 m yang menempuh waktu kurang lebih 8 jam, lalu *grid* berukuran 0.04 m x 0.04 m x 0.04 m yang menempuh waktu 10 menit dan *grid* berukuran 0.05 m x 0.05 m x 0.05 m yang menempuh 5 menit.

Berikut adalah salah satu gambar domain yang disimulasikan, yaitu domain dengan ukuran *grid* 0.02 x 0.02 m x 0.02m dan menggunakan *single mesh* pada percobaan dengan menggunakan water mist :



Gambar III-1 Domain dengan besar grid 2cm

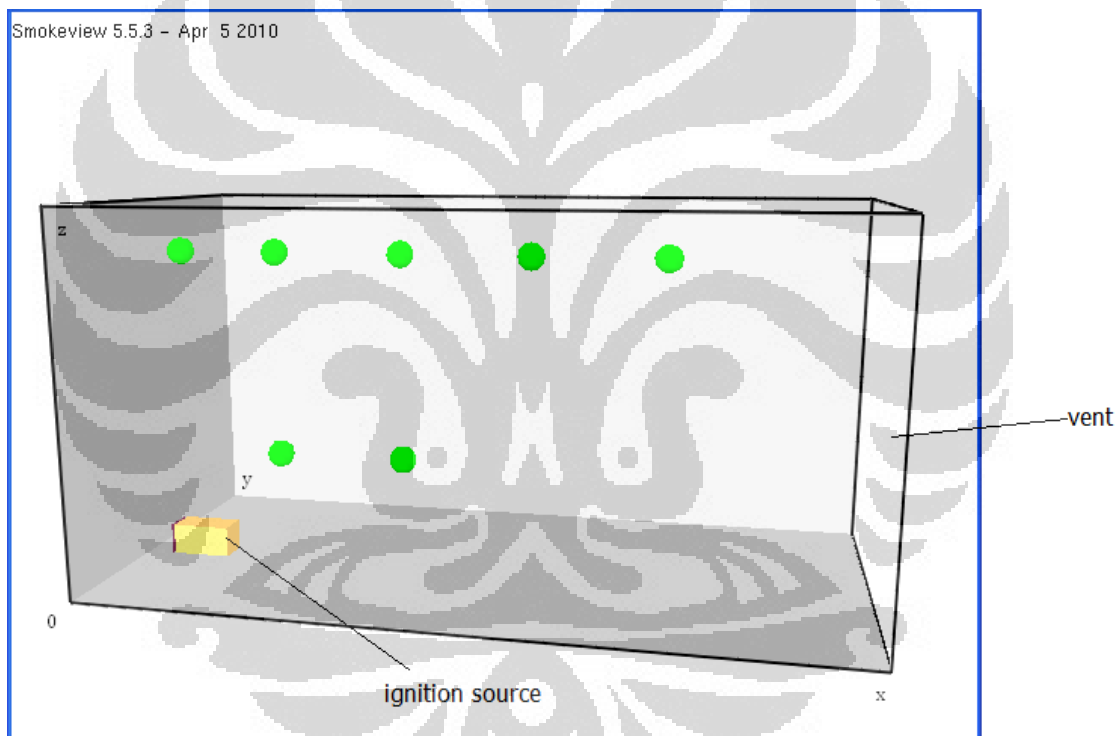
3.1.2 Geometri

Pada simulasi ini terdapat 2 jenis konfigurasi ruangan yang berbeda yaitu dengan menggunakan water mist dan tanpa menggunakan water mist. Geometri yang disimulasikan mempunyai ukuran yang sama dengan yang dilakukan pada eksperimen laboratorium yaitu 100 cm x 50 cm x 50 cm .

Berikut adalah gambar geometri yang disimulasikan:

Gambar konfigurasi ruangan uji a) tanpa water mist dan konfigurasi b) menggunakan water mist

a) Tanpa water mist



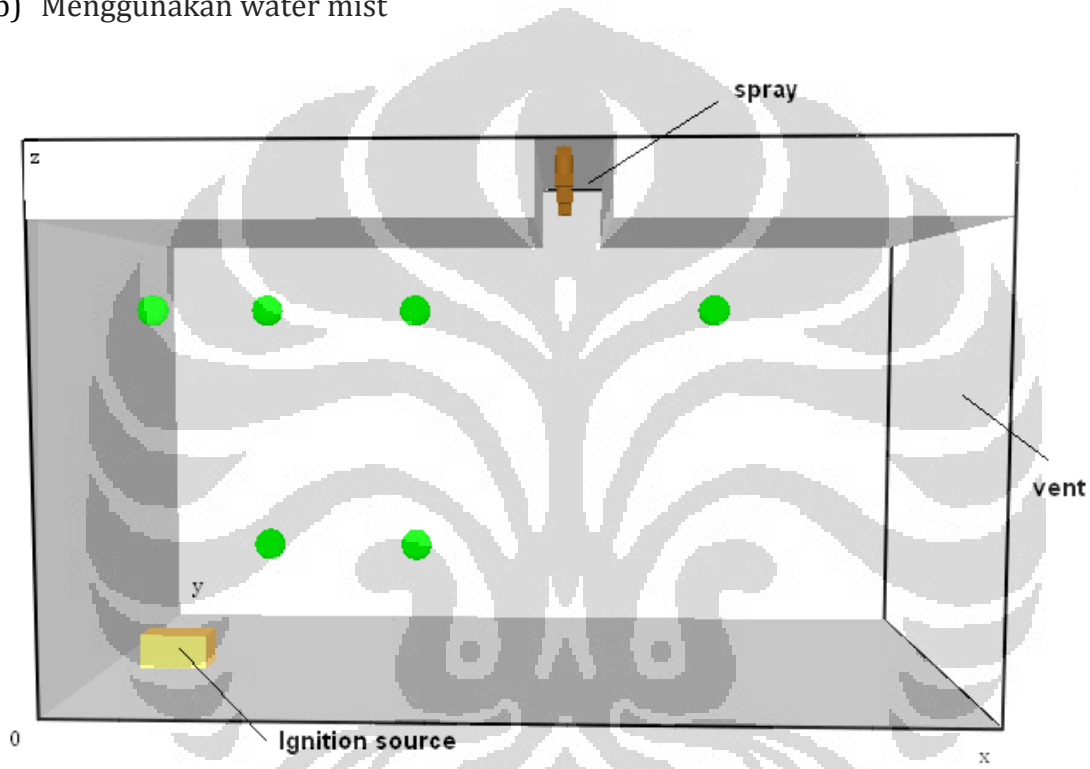
Gambar III-2 Lay out sekenario tanpa water mist

Tabel 3.1 posisi termokopel pada percobaan FDS (tanpa water mist)

Termokopel	Sumbu-x	Sumbu-y	Sumbu-z
Termokopel 1	5	25	43
Termokopel 2	19	25	43
Termokopel 3	37	25	43

Termokopel 4	55	25	43
Termokopel 5	73	25	43
Termokopel 6	19	25	14.5
Termokopel 7	37	25	14.5

b) Menggunakan water mist



Gambar III-3 Lay out sekenario dengan

Tabel 3.2 posisi termokopel pada percobaan FDS (dengan water mist)

Termokopel	Sumbu-x	Sumbu-y	Sumbu-z
Termokopel 1	5	25	43
Termokopel 2	19	25	43
Termokopel 3	37	25	43
Termokopel 4	-	-	-
Termokopel 5	73	25	43

Termokopel 6	19	25	14.5
Termokopel 7	37	25	14.5

3.1.3 Ignition Fire Source

Pada skenario ini api bermula pada bagian alas atau bawah ruangan. Bensin 8ml yang berada di dalam wadah stainless steel berukuran 5.5 cm x 5.5 cm x 5.5 cm. dengan ketebalan stainless steel 0,001m dan tebal layer bensin 0,0025m yang lalu aliran panas menyebar ke bagian atas ruangan terlebih dahulu kemudian menuju kearah vent. Sebelum sampai diujung ruangan (vent) pada salah satu scenario api 'terhalang' oleh water mist yang aktif 1 menit setelah api menyala. Sehingga persebaran panas yang menjalar diseluruh ruangan terhambat oleh adanya nyala water mist tersebut.

3.1.4 Properti material dan alat

Dalam pembuatan simulasi ini, permodelan menggunakan beberapa material baik material untuk ruangan domainnya dan material bahan bakar yang digunakan dalam *pool fire*. Material bensin digunakan sebagai bahan bakar, sedangkan material *stainless steel* digunakan sebagai wadah bahan bakar bensin, serta material gypsum sebagai bahan dasar compartemen.

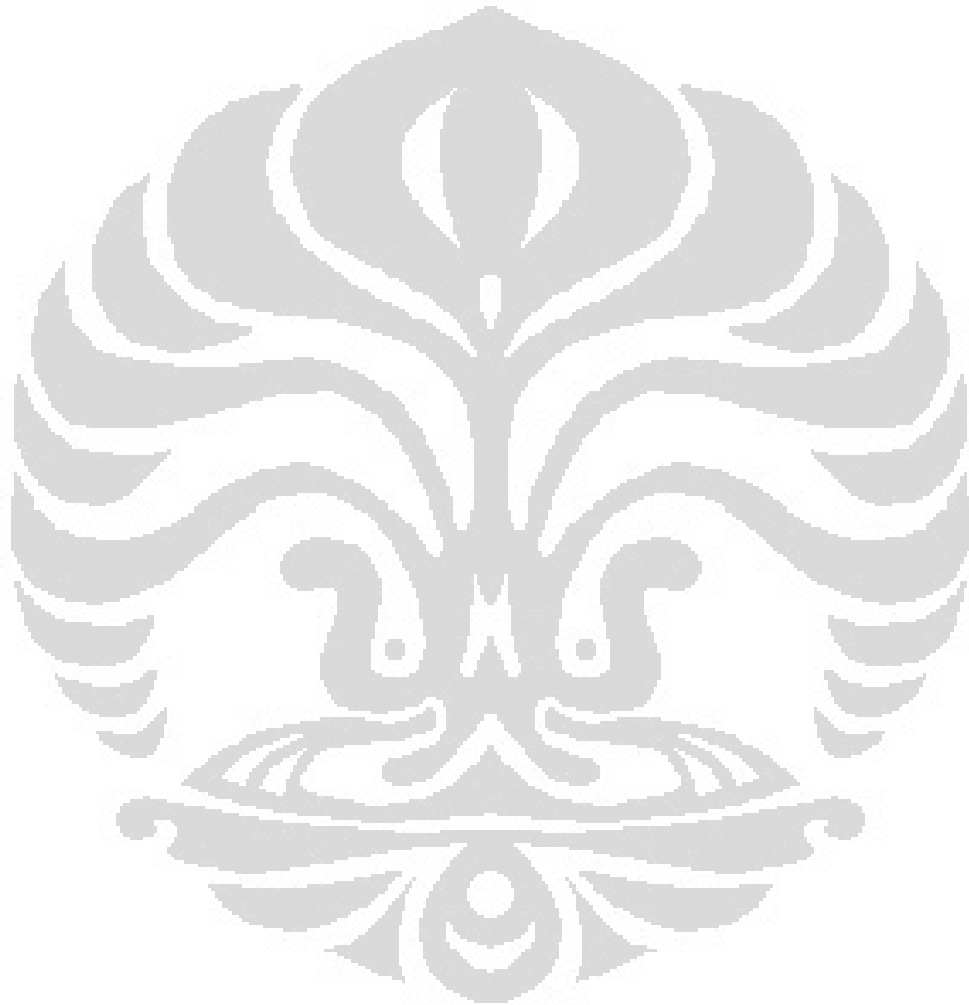
Berikut adalah tabel properties material yang digunakan pada simulasi ini.

Tabel 3.3 material properties gasoline, stainless steel, gypsum

Material Properties	Gasoline	Stainless Steel	Gypsum
Conductivity (W/mK)	0.15	16.27	0.48
Specific Heat (kJ/kg/K)	2.22	0.46	0.84
Density (kg/m ³)	737	7480	1440
Heat of combustion (kJ/kg)	44500	-	-
Heat of reaction (kJ/kg)	495	-	-

Dalam FDS Partikel Langrangian digunakan sebagai tetesan air atau bahan bakar

cair, pelacak aliran dan berbagai objek lainnya yang tidak didefinisikan atau terbatas oleh numerik mesh, dimana mesh adalah kelompok *namelist* yang menetapkan volume dari komputasi domain.

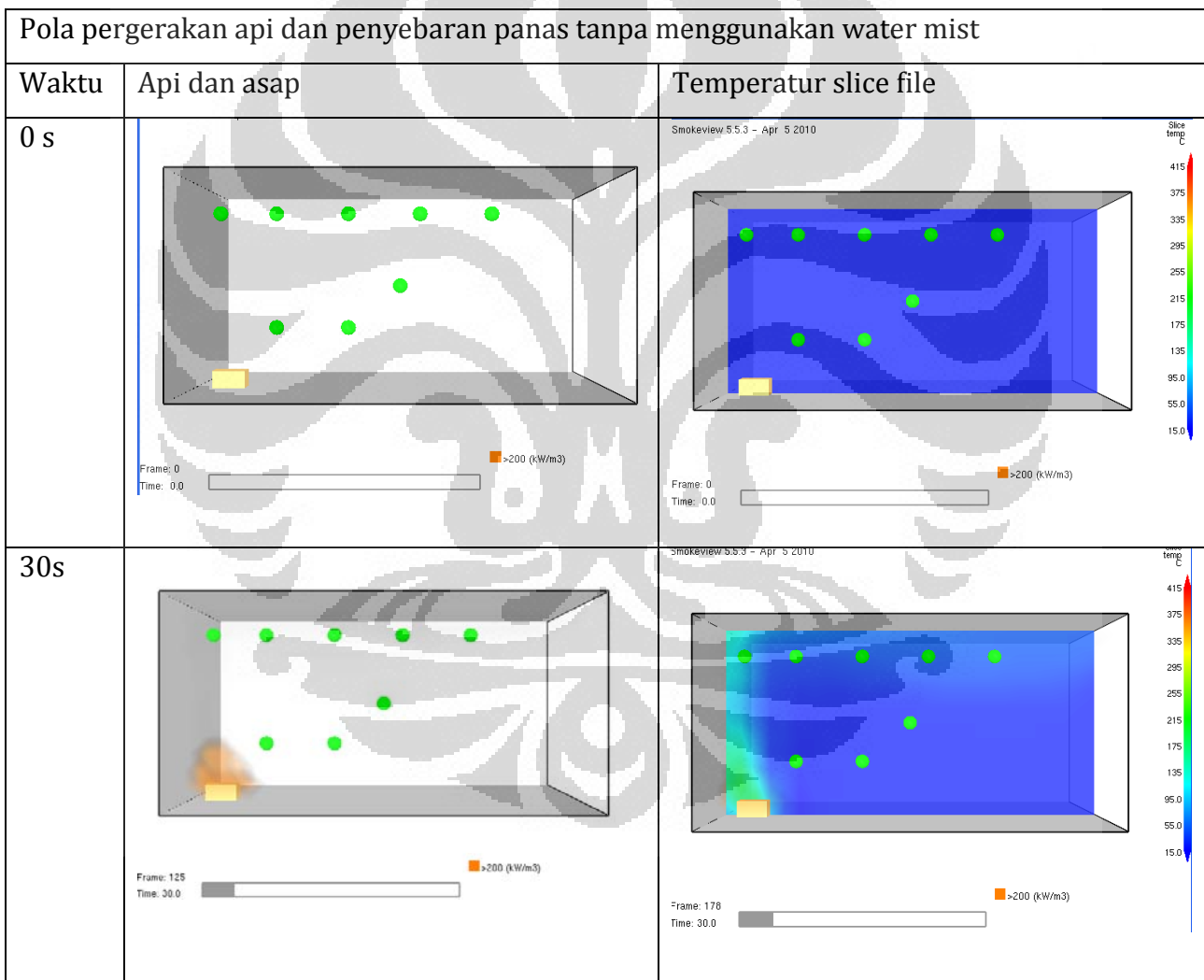


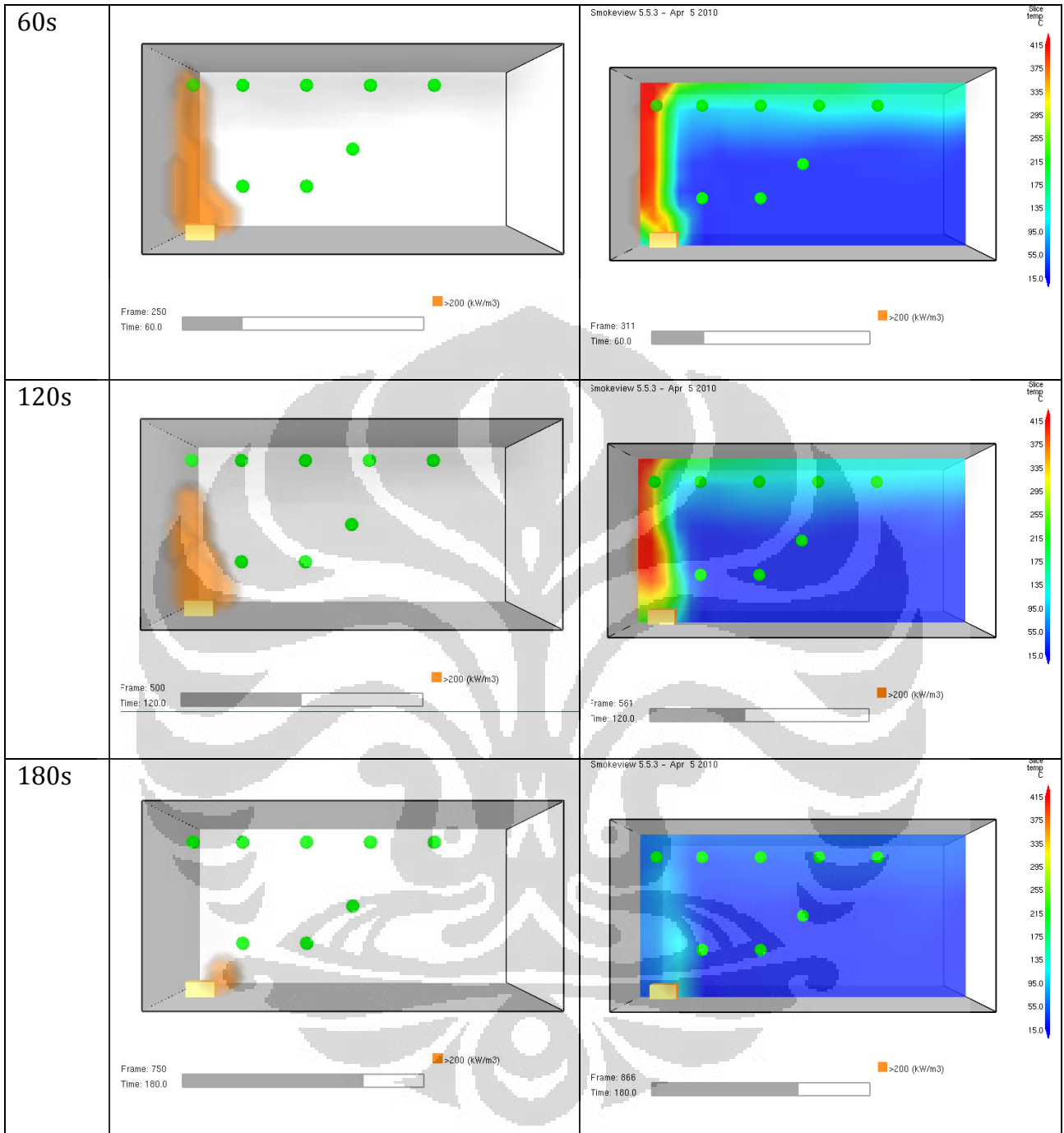
BAB IV

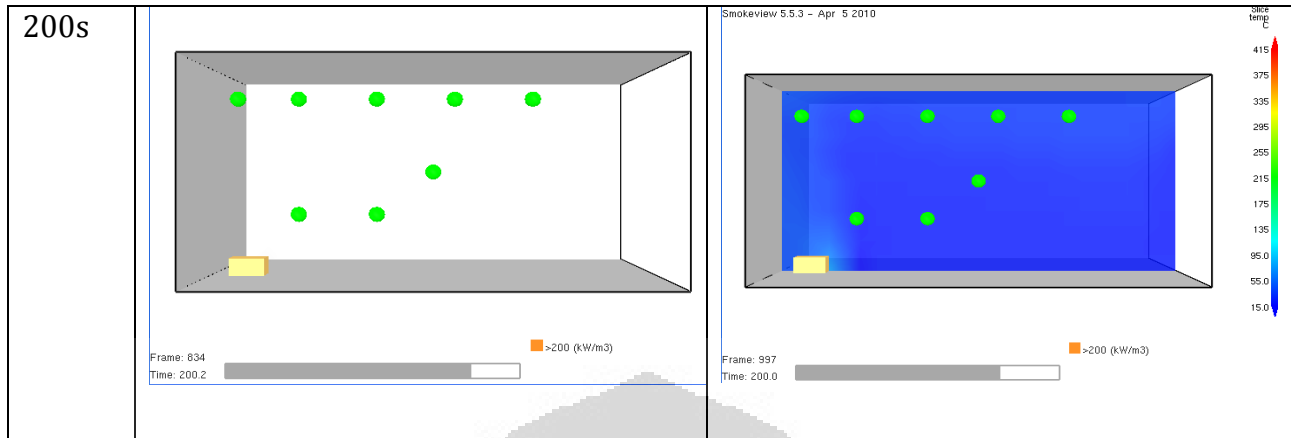
Hasil dan Analisa

1.1 Pola Penyebaran

4.1.1 Pola pergerakan api dan penyebaran panas





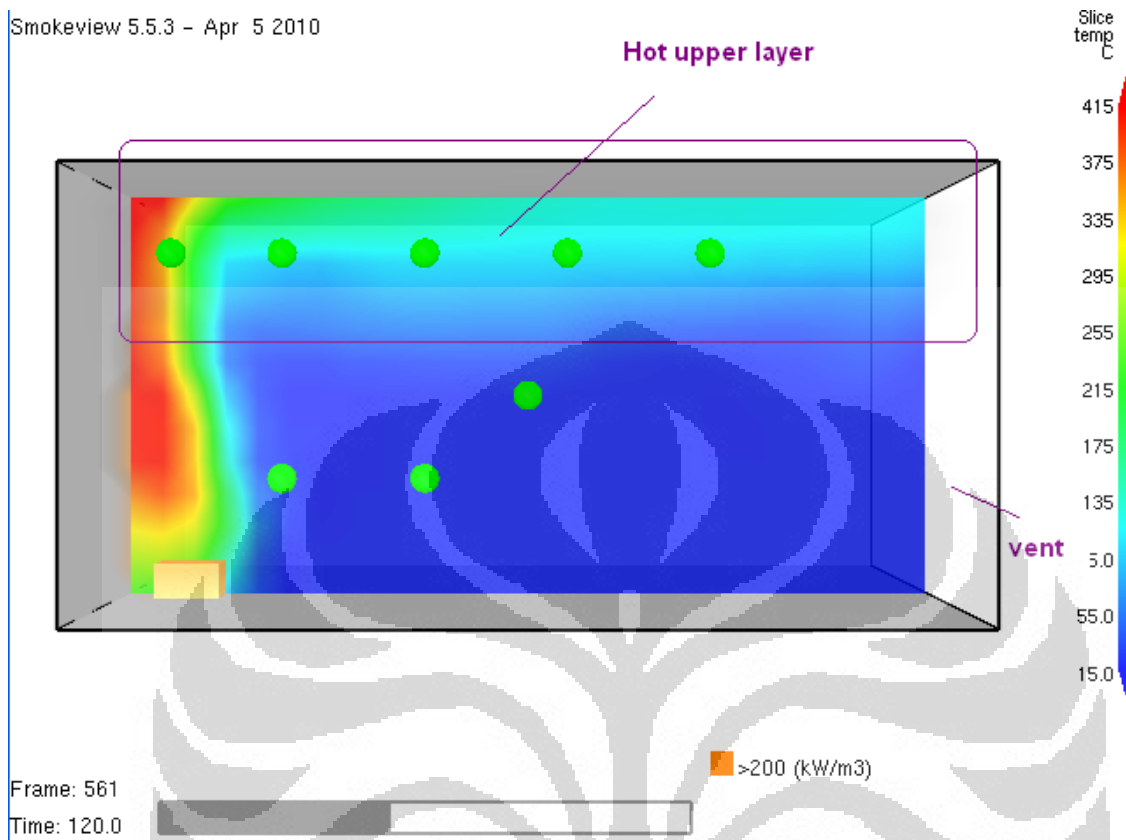


Gambar Error! No text of specified style in document.-1. Pola pergerakan api dan penyebaran panas pada compartment

Beberapa faktor yang mempengaruhi penyebaran panas dan asap dalam *compartment fire* adalah densitas, *fire load type*, ukuran, geometri dan bentuk dari *compartment*, area dan bentuk dari jendela, pintu, atau ventilasi lain di dalam *compartment* tersebut, thermal insulation dari atap dan tembok, serta thermal properties dari *compartment boundary*.

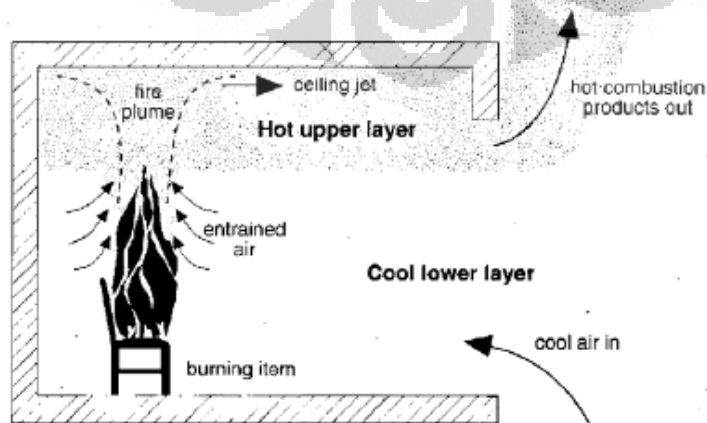
Pada proses penyebaran panas dalam suatu ruangan (*compartment fire*) dengan sumber api yang berada di dalamnya, pertumbuhan api salah satunya dipengaruhi oleh adanya *vent* atau udara dari luar dan besar dari bukaan ventilasi itu sendiri, karena pada *compartment fire burning rate* (laju pembakaran) dari bahan bakar sangat dipengaruhi dari besarnya *supply* udara serta *heat* hasil pembakaran yang diterima oleh bahan bakar, Selain itu, Ukuran dan bentuk dari jendela, Research in Great Britain merumuskan bahwa untuk *ventilation controlled fires*, laju pembakaran berhubungan langsung dengan geometri jendela engan rumus $A \sqrt{H}$, dimana A adalah luasan dari jendela dan H adalah tinggi jendela. Riset ini menyatakan bahwa semakin tinggi lebar dan panjang jendela, semakin tinggi nilai burning ratenya.

Dalam pola pergerakan dari api maupun asap ada beberapa hal yang mempengaruhi persebarannya, diantaranya adalah pola dari *fire plumes* yang terbentuk. Pada *compartment fire*, *plumes* yang terjadi sangat bergantung dari panjang dan lebar bukaan (jendela) atau adanya ventilasi yang terdapat pada *compartment*.



Gambar IV-2 Pola persebaran panas pada compartment setelah 120s

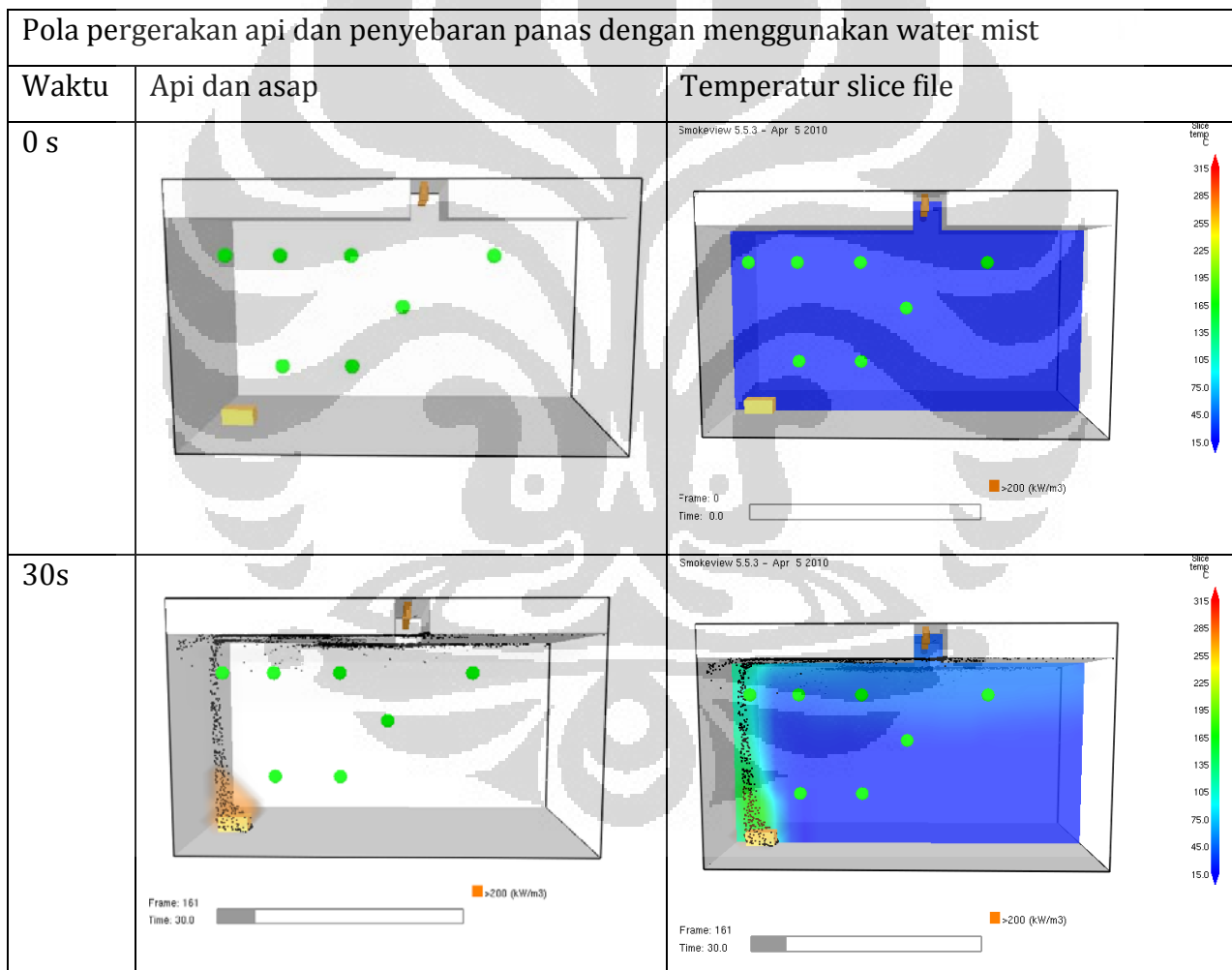
Pada proses pembakaran gerakan *plumes* diakibatkan oleh adanya gaya *boyancy* pada *plumes*, hal ini mengakibatkan *plumes* tersebut bergerak ke atas. Sedangkan pada *compartment fire* pergerakan *plumes* terhambat oleh adanya *ceiling* dan mengakibatkan *plumes* bergerak ke samping, hal ini disebut *ceiling jet*.



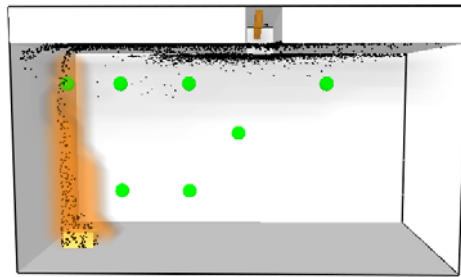
Gambar Error! No text of specified style in document.-3. Karakter api dan plumes pada proses pembakaran compartment

Setelah bergerak secara horizontal akibat adanya *ceiling*, ketika *plumes* sudah keluar dari ruangan maka *plumes* akan kembali bergerak ke atas.

4.1.2 Pola pergerakan api dan penyebaran panas dengan menggunakan watermist

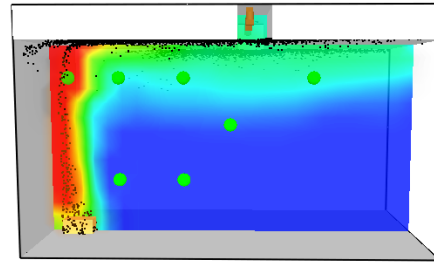


60s



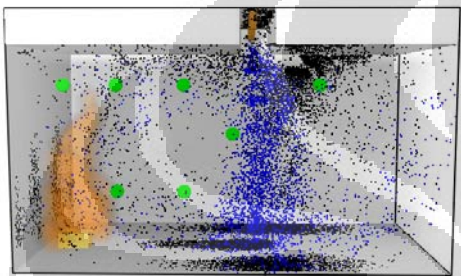
Frame: 200
Time: 60.0

Smokeview 5.5.3 - Apr 5 2010



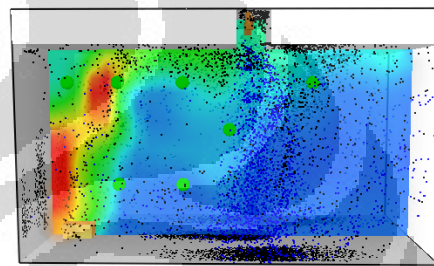
Frame: 288
Time: 60.0

120s



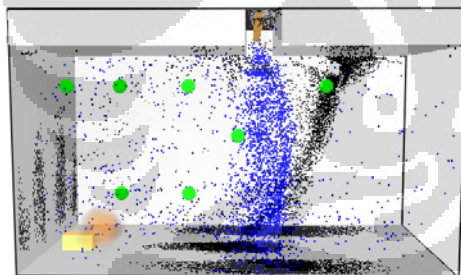
Frame: 538
Time: 120.0

Smokeview 5.5.3 - Apr 5 2010



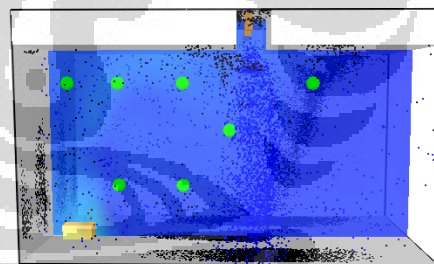
Frame: 538
Time: 120.0

180s

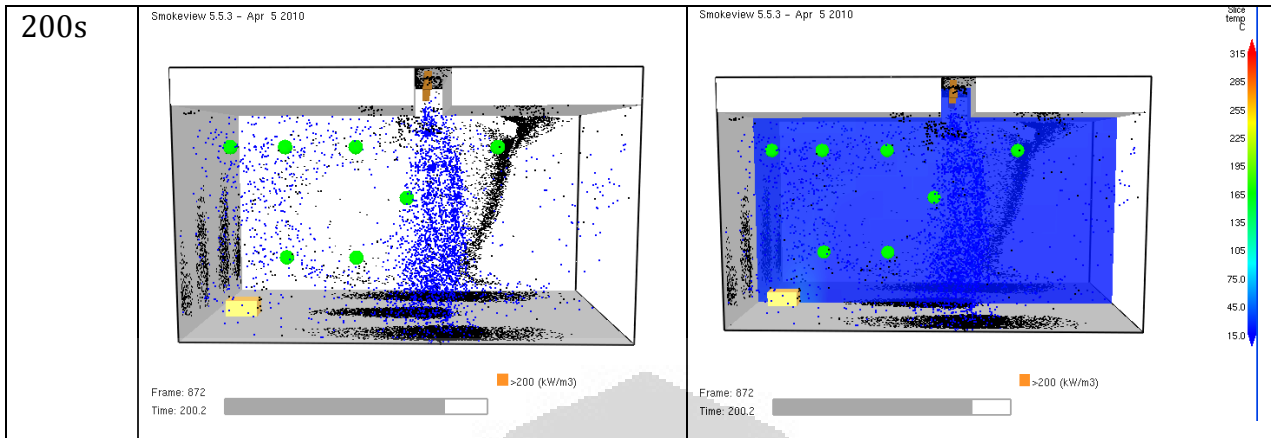


Frame: 700
Time: 180.0

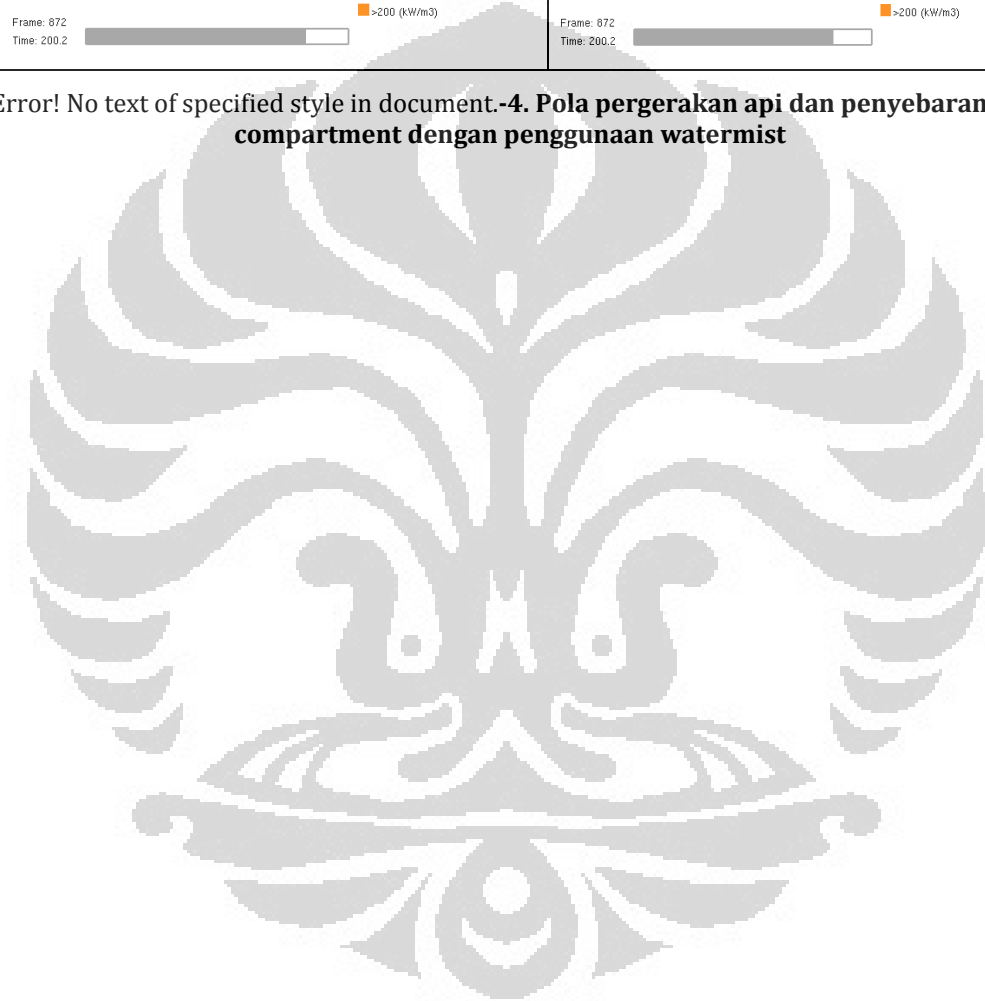
Smokeview 5.5.3 - Apr 5 2010



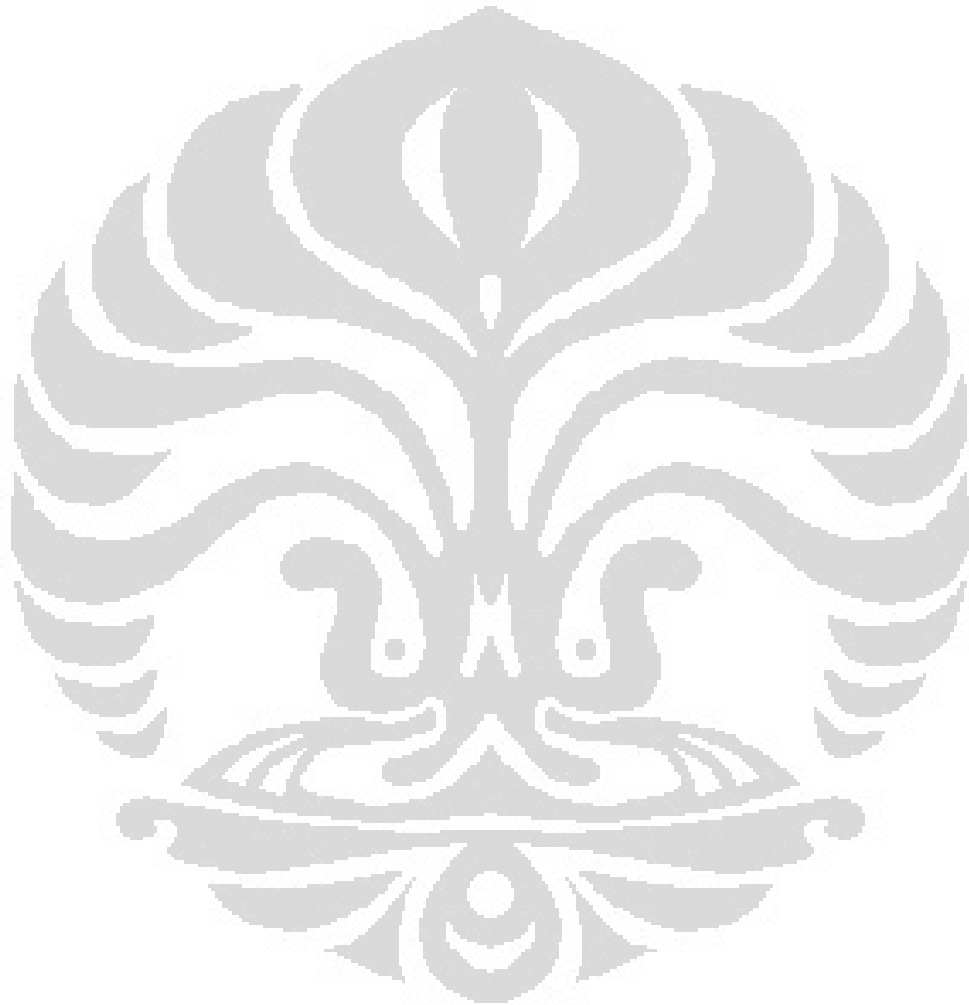
Frame: 788
Time: 180.0



Gambar Error! No text of specified style in document.-4. Pola pergerakan api dan penyebaran panas pada compartment dengan penggunaan watermist

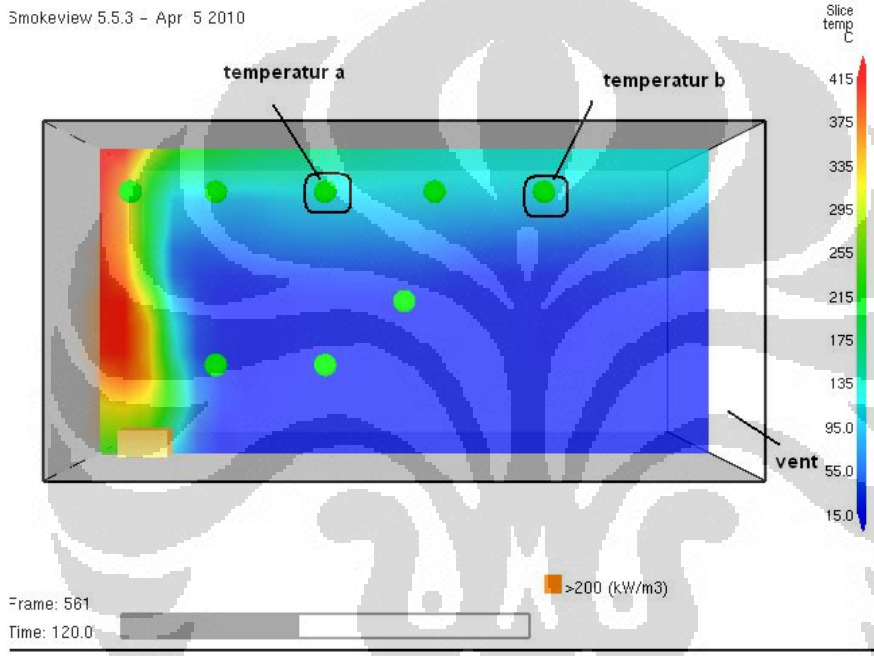


Proses pendinginan dari api adalah proses kompleks yang berhubungan dengan

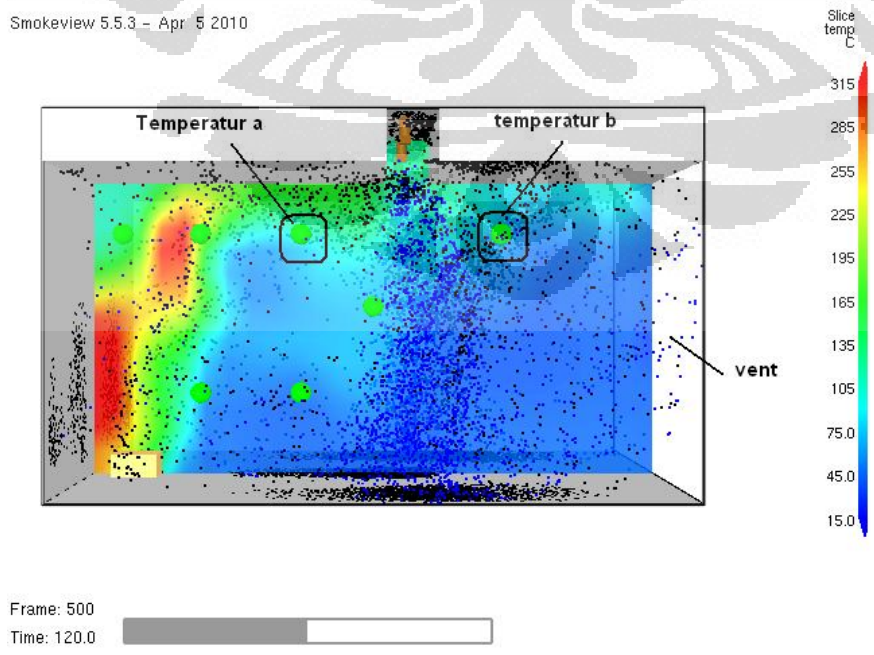


habisnya bahan bakar, aktivitas memadamkan api, atau juga dengan adanya *sprinkler /water mist system*. Durasi nyala api tergantung dari *combustion rate* yang berhubungan dengan tipe bahan bakar, distribusi bahan bakar dan kondisi ventilasi. Pada umumnya pola persebaran api dari satu ruangan menuju ruangan lain dikarenakan adanya ventilasi ataupun sekat-sekat yang memisahkan antar ruangan. Hal ini disebabkan jika api yang menyala cukup lama di satu ruangan yang memiliki oksigen yang cukup, lama kelamaan akibat semakin lama menyala kondisi ruangan tersebut menjadi kekurangan oksigen akibat

api
 asap
 ke
 dan
 yang



Hal



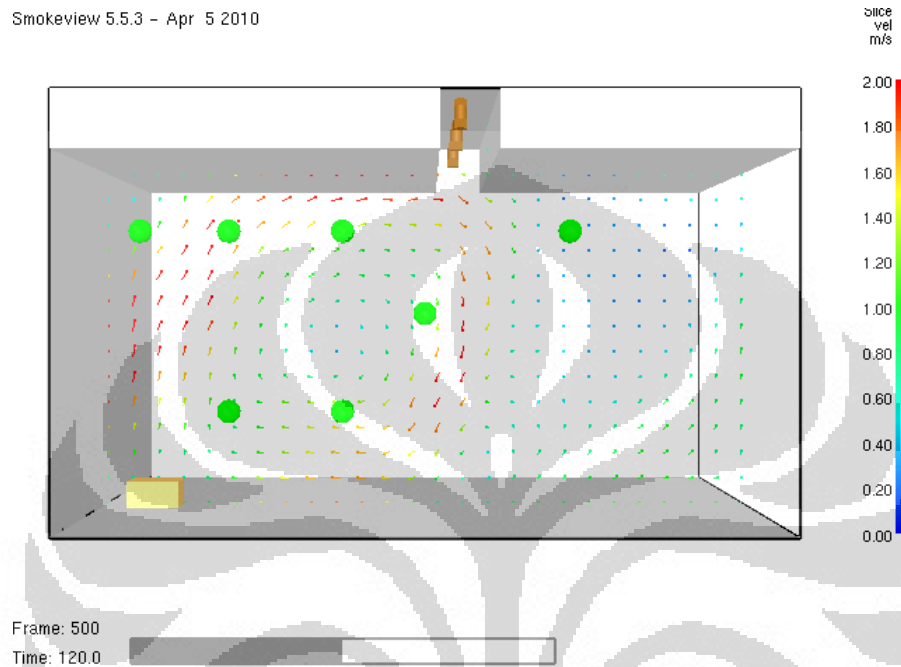
adanya radiasi langsung oleh mapun yang disembarkan oleh secara konveksi merata di dalam ruangan. Hal ini membuat api dapat menjalar luar ruangan 'mencari' supply oksigen baik atau biasa disebut *fuel control burning* menjadi *ventilated control burning*. ini tentu saja membahayakan ruangan di sekitar *origin*.



Gambar IV-5. Simulasi tanpa menggunakan watermist (Atas) dan simulasi dengan watermist (bawah) pada detik ke 120

Pada potongan gambar dari simulasi diatas, gambar 1 (atas) tanpa nyala water mist dan gambar 2 (bawah) adalah dengan pemakaian water mist pada waktu yang sama, yaitu 120s. Dengan membandingkan skala temperature yang berada di bagian psebelah kanan gambar bisa dilihat bahwa pada gambar 2, terlihat bahwa ruangan disebelah kiri water mist (dekat sumber api), yaitu pada bagian dalam *compartment* akan semakin

memanas dibandingkan temperatur persebaran panas pada gambar 1, di titik yang sama. Hal ini dikarenakan 'efek pendingin' dari hembusan angin (airflow) dari jendela berkurang akibat adanya tirai kabut air yang dinyalakan. Hal ini bisa dilihat pada gambar berikut:



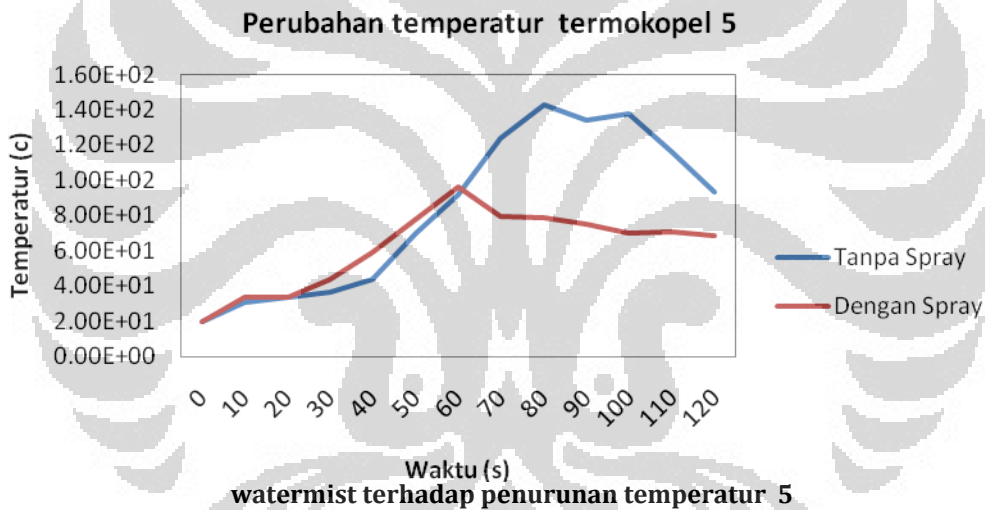
Gambar IV-6 simulasi vector kecepatan pada detik ke 120

Panas yang terjadi akibat api terhalang oleh adanya tirai kabut air, akibatnya panas terperangkap pada bagian dalam *compartment*, dan suhu pada bagian dalam *compartment* pun meningkat, sedangkan pada bagian luar kabut air suhunya menurun hal ini diakibatkan air yang mencapai permukaan pembakaran ataupun yang terkena temperatur yang cukup tinggi akan memanaskan dan menguap, dan hal ini dapat mengakibatkan turunnya suhu permukaan.

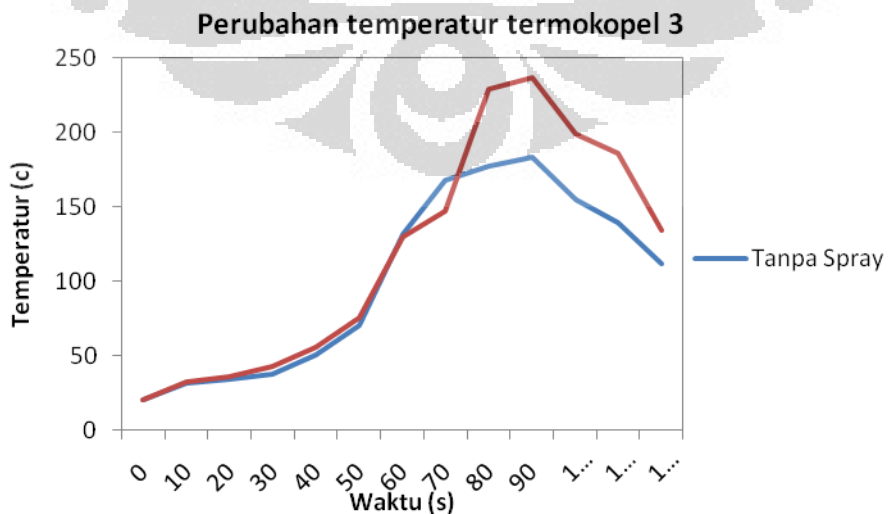
Seperti penjelasan dalam bab 2, api bisa terbentuk jika ada beberapa faktor yang mendukungnya (segitiga api) yaitu bahan bakar, udara, kalor. Oleh karena itu, untuk memadamkan api, ada 4 prinsip yang dapat dilakukan yaitu memindahkan bahan bakarnya dari sumber api, melakukan pendinginan, memutus suplai oksigen, memasukkan senyawa kimia kedalam api sehingga pembentukkan bahan-bahan yang terbakar bisa dihentikan.(memutus rantai kimia). Pemasangan water mist berbahan air seperti yang dilakukan pada simulasi, termasuk usaha menghambat proses penyebaran panas dan api

dengan memutuskan supply oksigen, sekaligus melakukan pendinginan, dikarenakan air mempunyai kapasitas panas yang tinggi (4.2 J/g.K) dan panas laten uap yang tinggi (2442 J/g) dan dapat menyerap panas api. Air juga dapat mengembang 1700 kali ketika menguap menjadi uap panas dan dapat mengurangi kadar oksigen dan penguapan bahan bakar.

IV-7



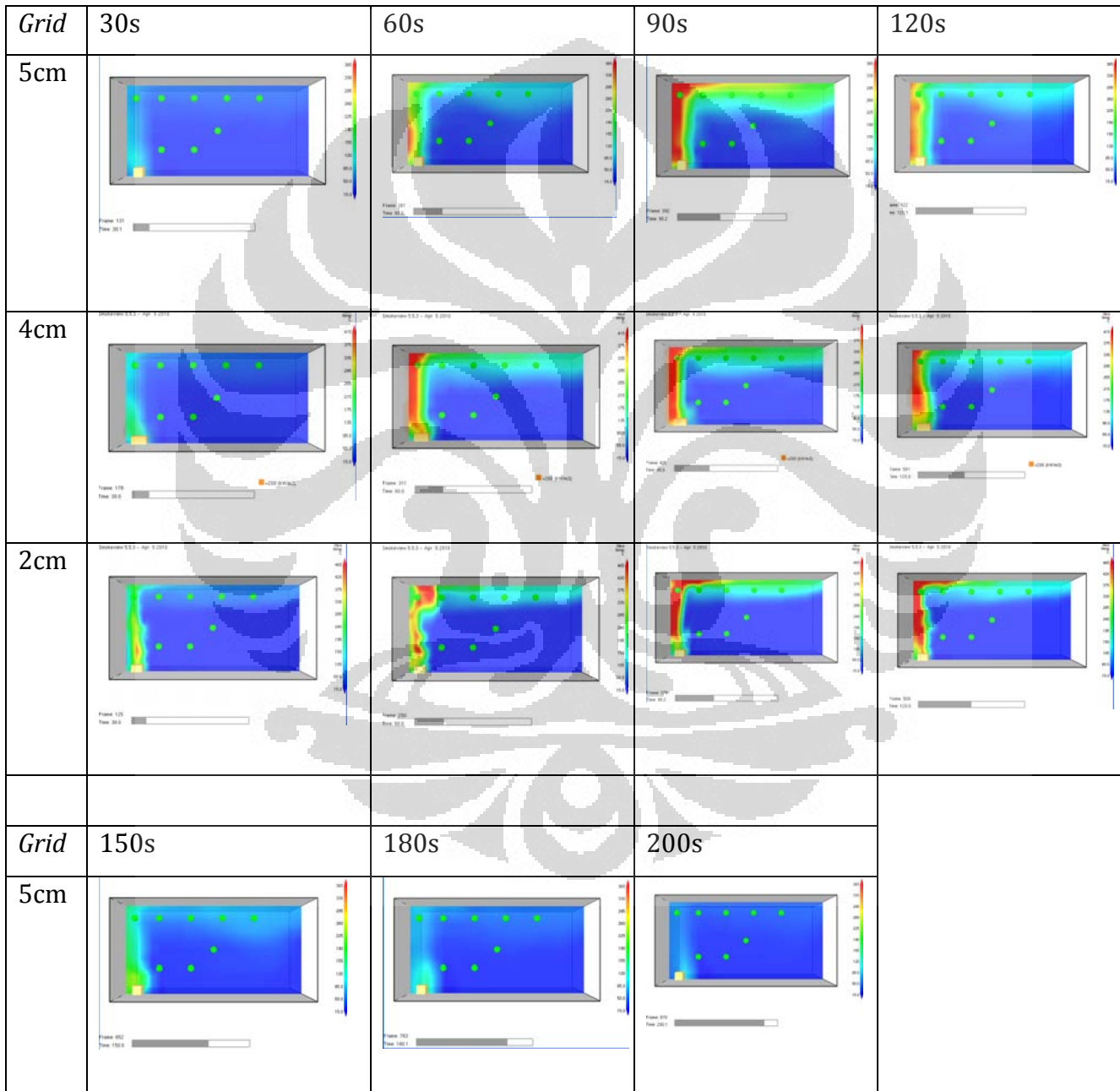
Gambar Pengaruh

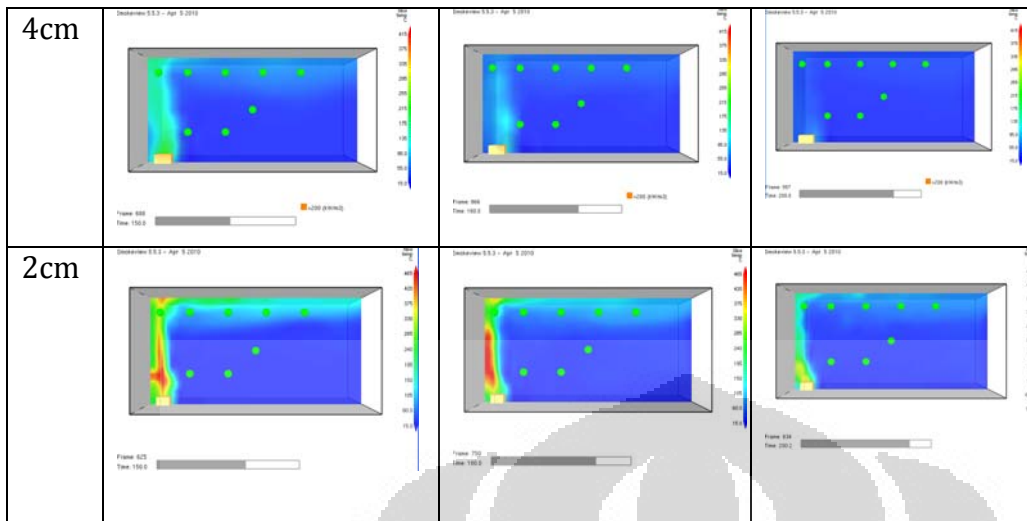


Gambar IV-8 Pengaruh watermist terhadap kenaikan temperatur 3

4.2 Pengaruh besar *grid* terhadap output yang dihasilkan

Perbandingan fungsi *grid* terhadap distribusi temperature pada ruangan *pool fire* tanpa water mist



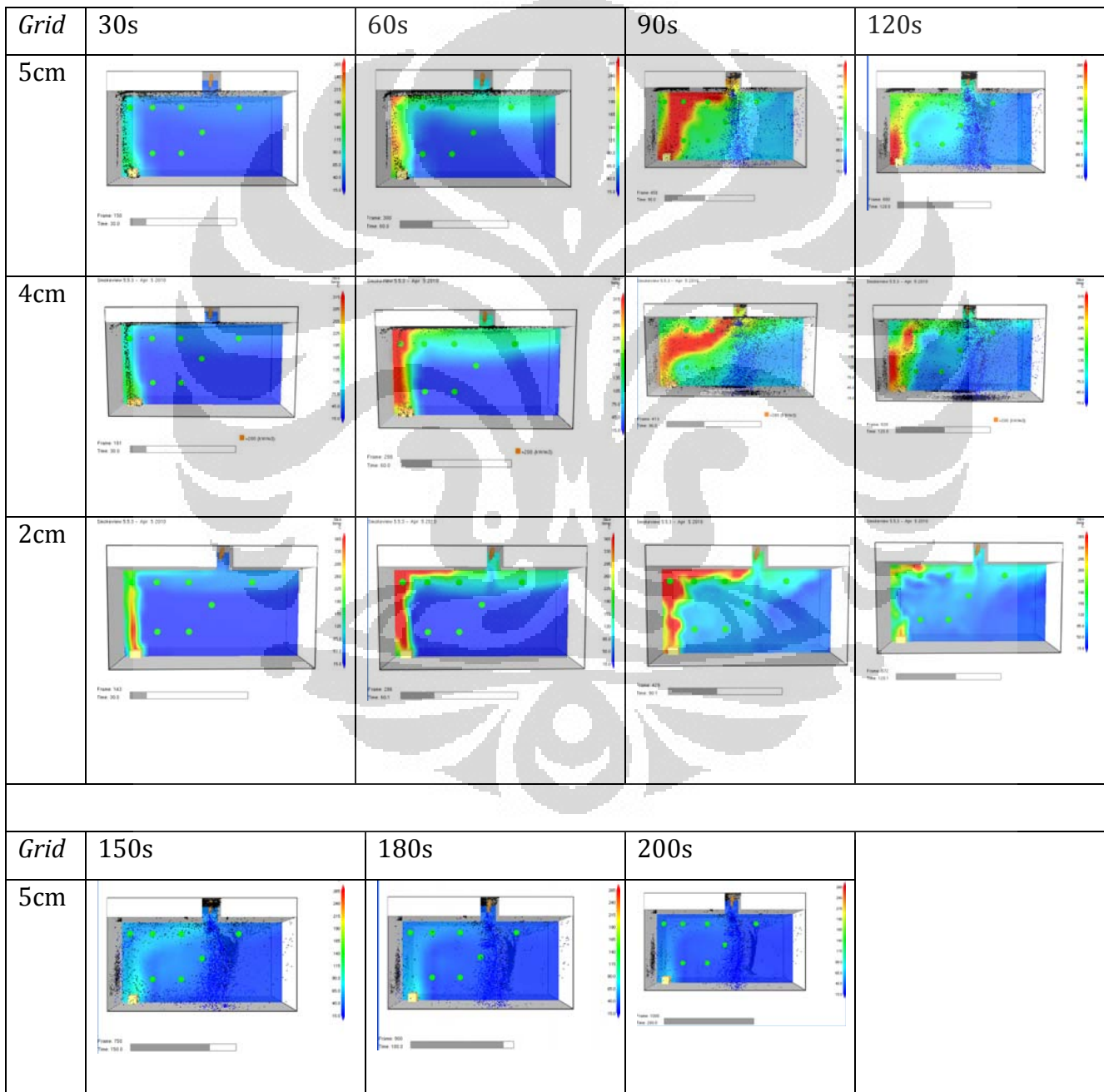


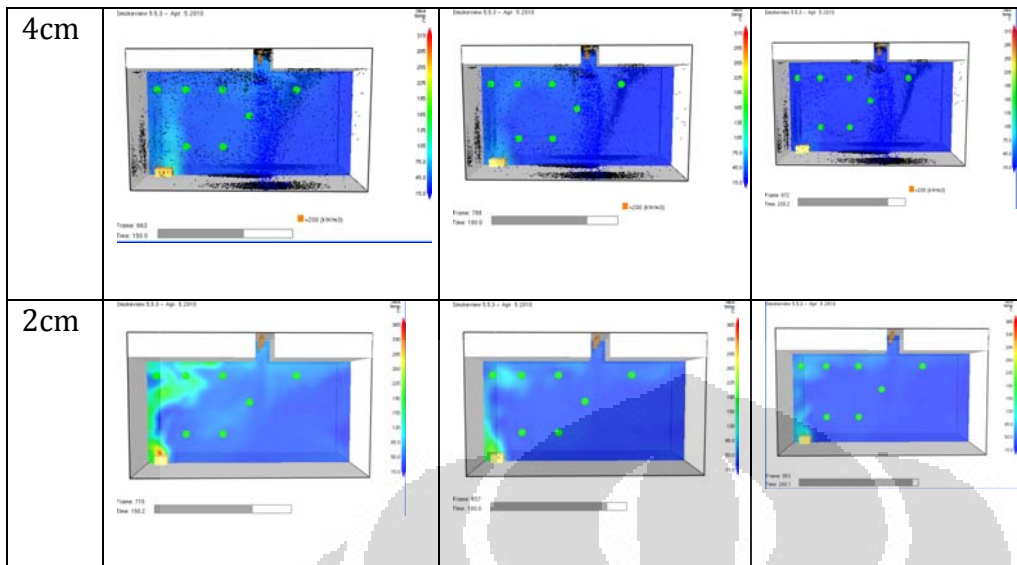
Gambar IV-9. Simulasi dengan menggunakan ukuran grid 5cm, 4cm dan 3cm

Perhitungan dalam FDS bergantung pada performansi domain yang dibuat dari *rectilinear volumes* yang selanjutnya disebut *mesh*. Mesh ini terdiri dari arah *x*, *y* dan *z*. Setiap mesh terbagi dalam *rectangular cells*, yang jumlahnya tergantung dari keinginan pembuat simulasi dan hal ini berpengaruh kepada resolusi yang dihasilkan. Dalam simulasi ini penulis menggunakan single mesh, dengan 3 macam ukuran, yaitu 5cm, 4cm dan 2 cm. Yang dimaksud dengan ukuran-ukuran tersebut adalah, dalam 1 mesh terbagi menjadi 5 cm *cubes* dalam ke tiga arah (*x*, *y*, *z*), 4cm *cubes* dan 3 cm *cubes* pada setiap simulasi,

Perbedaan besar *grid* yang dipakai juga berpengaruh dalam proses untuk ukuran *grid* 0.02 m x 0.02 m x 0.02 m menempuh waktu kurang lebih 8 jam, lalu *grid* berukuran 0.04 m x 0.04 m x 0.04 m yang menempuh waktu 10 menit dan *grid* berukuran 0.05 m x 0.05 m x 0.05 m menempuh waktu selama 5 menit. Pemilihan mesh yang semakin 'halus' selain mempunyai keuntungan tersendiri karena 'erat'nya hubungan antar *grid*, atau bisa dikatakan semakin sedikit jarak yang ada dalam tiap tiap *grid*, tetapi selain itu dengan semakin banyaknya *cubes*, informasi yang ditransfer dari mesh ke mesh membutuhkan waktu yang lebih lama. Selain itu, detail dengan ukuran *grid* yang lebih kecil baik untuk digunakan pada simulasi pertumbuhan api dan penyebaran api karena informasi-informasi mengenai dua hal tersebut tidak terbaca dengan mesh yang berukuran lebih besar.[FDS 5 hal 31]

Perbandingan fungsi *grid* terhadap distribusi temperatur pada ruangan *pool fire* dengan water mist





Gambar IV-10. Simulasi menggunakan ukuran grid 5cm, 4cm dan 3cm dengan watermist

FDS melakukan pendekatan geometri sebagai persamaan dari satu atau lebih *rectangular grid*. Dalam permodelan input FDS, semua *solid surface* dianggap sebagai *thermal boundary condition* yang dikombinasikan dengan sifat pembakaran material yang ingin digunakan. Perpindahan panas dan masa dari *solid surface* tersebut dilakukan dengan metode empiris.

Berikut ini salah satu contoh persamaan-persamaan dasar yang terlibat dalam suatu aliran laminar tanpa melibatkan perpindahan kalor maupun spesies.

Persamaan Konservasi Massa

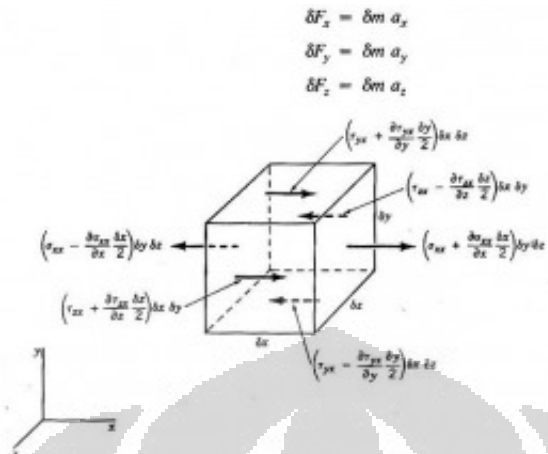
Persamaan konservasi massa atau persamaan kontinuiti yang digunakan dalam CFD adalah:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4.1)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan umum dari konservasi massa dan valid untuk setiap aliran compressible dan incompressible.

Persamaan Konservasi Momentum

Persamaan konservasi momentum adalah persamaan yang mendefinisikan gerakan fluida ketika terjadi gaya-gaya pada partikel-partikelnya pada setiap elemen fluida yang didefinisikan di dalam model CFD. Untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah ini:



Gambar IV-11 gaya-gaya yang terjadi dalam arah x pada suatu elemen fluida

$$\rho g_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\rho g_y + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\rho g_z + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

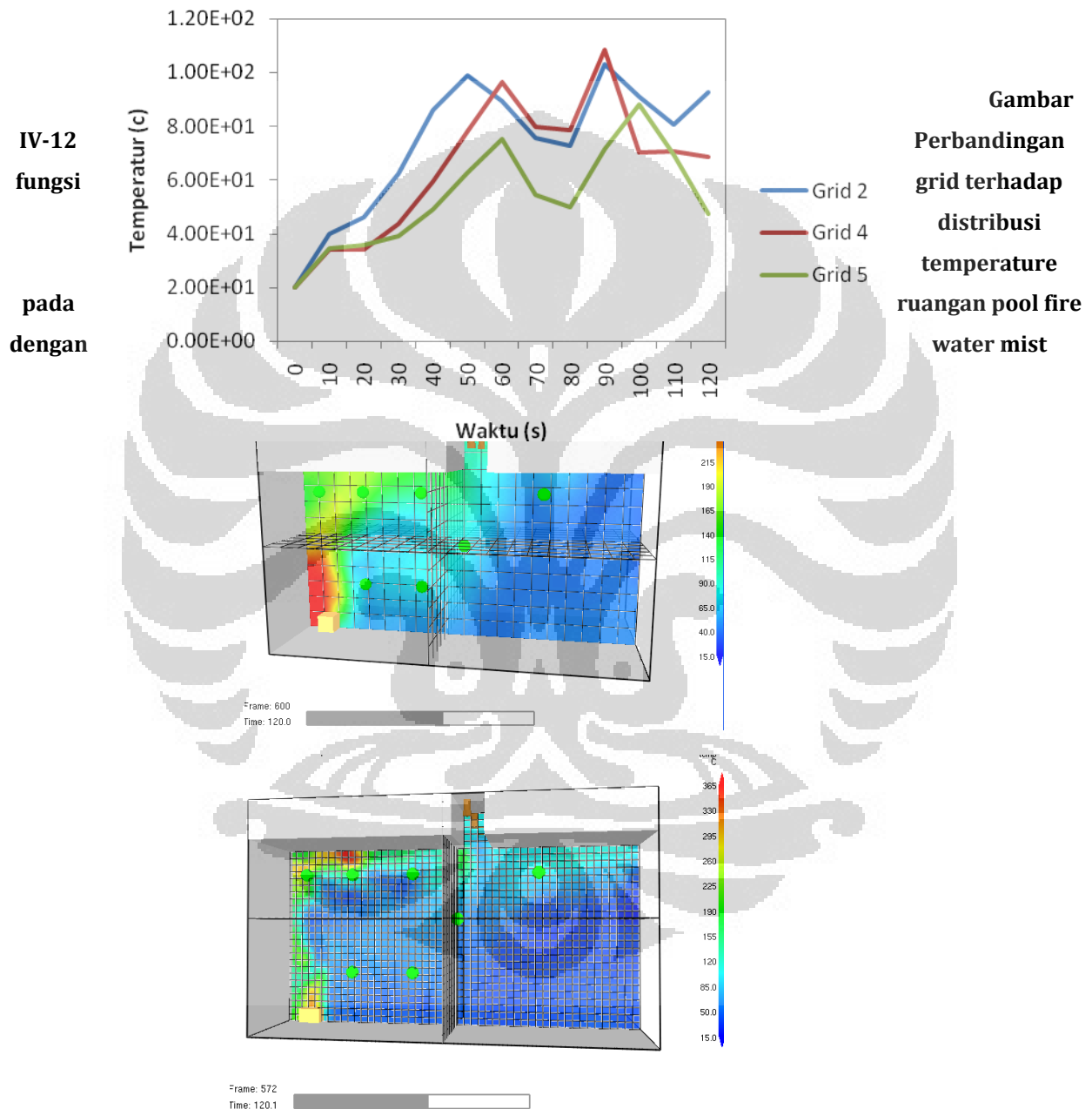
(4.2)

Persamaan diatas adalah persamaan diferensial umum dari gerakan fluida. Kenyataannya persamaan tersebut dapat diaplikasikan untuk setiap continuum (solid atau fluid) ketika bergerak ataupun diam.

Grid Konvergensi

Untuk mendapatkan hasil *numerical* yang stabil, dalam user guide FDS hal.63 dikatakan bahwa *“the numerical stability of solid phase solution may then be improved by making the mesh density more uniform inside the material and by making the mesh cells smaller”*. Dalam studi pengujian *grid* pada CFD yang dilakukan untuk pemrograman 'fluent', salah satu model CFD selain FDS, oleh *Rajesh Bhaskaran dan Lance Collins*. Dengan mempertimbangkan efek dari meningkatnya jumlah titik *grid N* di numerik, yaitu dilakukan uji coba dengan *grid* 8 dan 16 serta 4 dengan kasus yang sama dan dicoba berulang kali

menggunakan sistem diskrit yang dihasilkan dengan menggunakan MATLAB. Lalu membandingkan hasil yang diperoleh pada tiga *grid* dengan hasil yang tepat. Hasil yang diperoleh adalah menurunnya kesalahan numerik sebanding dengan jumlah titik *grid* yang meningkat atau berkurangnya ukuran sel. (<http://courses.cit.cornell.edu/fluent/cfd>)



Gambar IV-13 *Slice perbandingan fungsi grid terhadap distribusi temperature pada ruangan pool fire dengan water*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengujian simulasi pengaruh tirai kabut air pada distribusi temperatur:

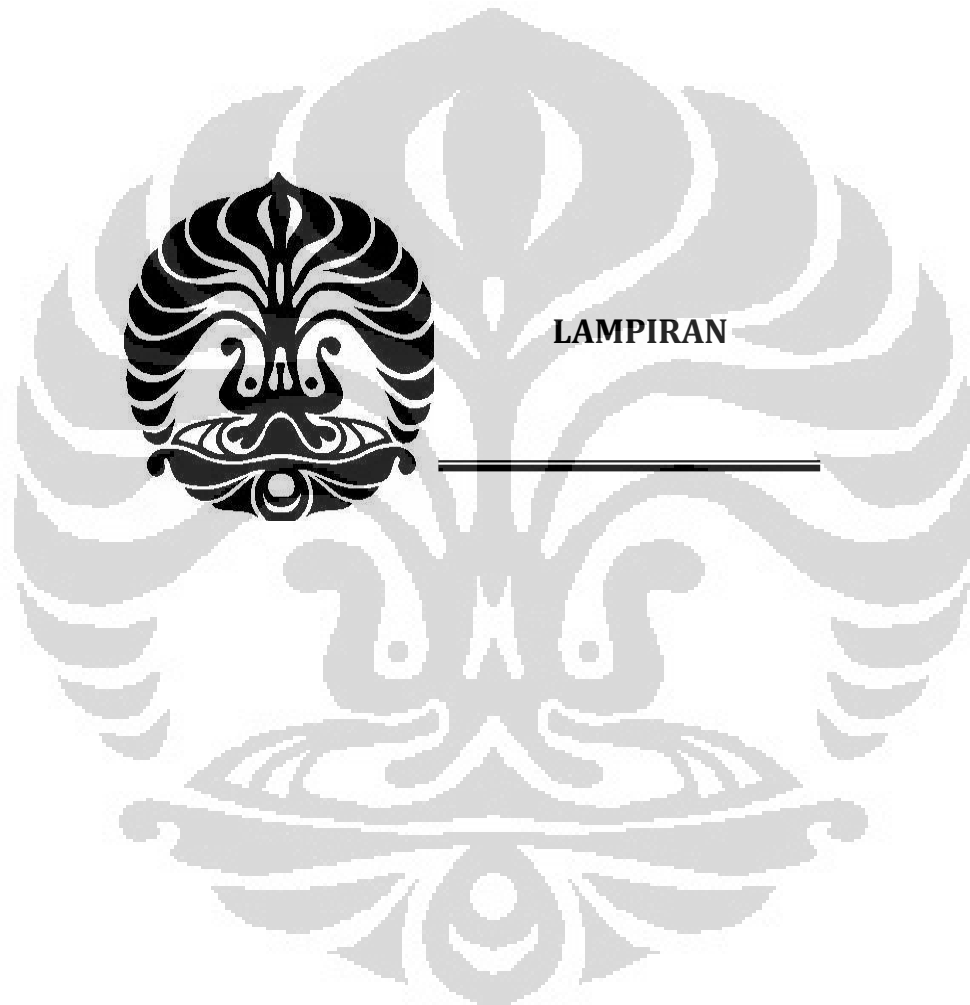
1. Pemasangan kabut air berpengaruh pada persebaran temperatur dalam ruangan. pada sisi dalam kabut air, daerah yang berdekatan dengan sumber api temperatur menjadi jauh lebih tinggi setelah pemasangan kabut air, sedangkan sisi luarnya temperatur menurun. Hal ini disebabkan performa kabut air dalam menyerap panas dan menghalangi panas.
2. Pemilihan penggunaan ukuran *grid* mempengaruhi nilai hasil output device yang diukur. Hal ini disebabkan ketelitian pembacaan device pada *grid* yang lebih kecil untuk pengukuran parameter penelitian ini. Sedangkan ketelitian *grid* tidak berdasarkan besar kecilnya ukuran melainkan tergantung dari parameter yang akan diukur.

5.2 SARAN

1. Diperlukannya lebih banyak lagi titik-titik pengukuran (termokopel), untuk melihat distribusi temperatur ruangan yang lebih valid.
2. Pemilihan *grid* hendaknya dilakukan bertahap, dimulai dari pemakaian coarse *grid* sampai menemukan fine *grid*. Bahkan bila perlu menggunakan *multiple mesh* untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] www.engineeringtoolbox.com
- [2] www.simetric.co.uk
- [3] Babrauskas, V., and Peacock, R.D., "Heat Release Rate : The Single Most Important Variable in Fire Hazard", *Fire Safety Journal*, 255-272, 1992.
- [4] Drysdale, Dougal, *An Introduction to Fire Dynamics Second Edition*, John Wiley & Sons Ltd, England, 2003.
- [5] Mawhinney, J.R., "Fire Protection Water Mist Suppression Systems," NFPA Handbook - 18th Edition, 1997
- [6] Zhigang Liu and Andrew K. Kim, A Review Of The Research and Application of Water Mist Fire Suppression Systems – Fundamental Studies, *Journal of Fire Protection Engineering*, v. 10, no. 3, 2000, pp. 32-50
- [7] Pietrzak, L.M. and Ball, J.A., "A Physically Based Fire Suppression Computer Simulation - Definition, Feasibility Assessment, Development Plan, and Applications," Mission Research Corporation, MRC-R-732, April 1983.
- [8] Rasbash, D.J., "Extinction of Fire with Plain Water: A Review," *Proceedings of the First International Symposium on Fire Safety Science*, Hemisphere Publishing Corporation, 1986, pp. 1145-1163.
- [9] Kanury, A.M., "Introduction to Combustion Phenomena," Eighth Edition, Gordon and Breach Science Publishers, USA, 1994.
- [10] Herterich, A.O., "Library of the Science of Fire Protection and Related Areas:Section 3: the Diffuse Jet – Spray Jet," The Dr. Alfred Huthig Publishing Co., Heidelberg, 1960.
- [11] 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.

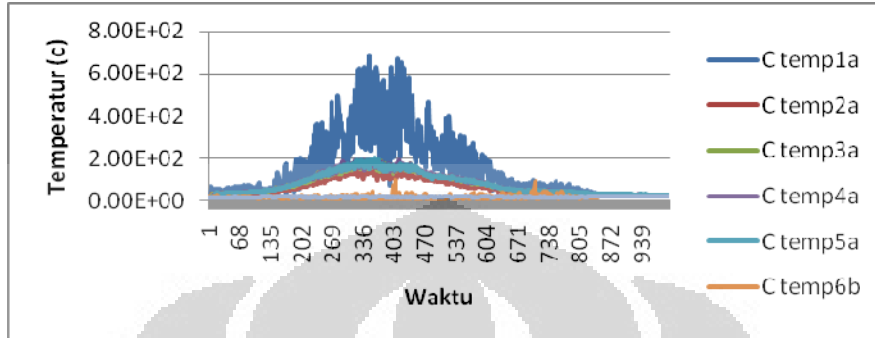


LAMPIRAN

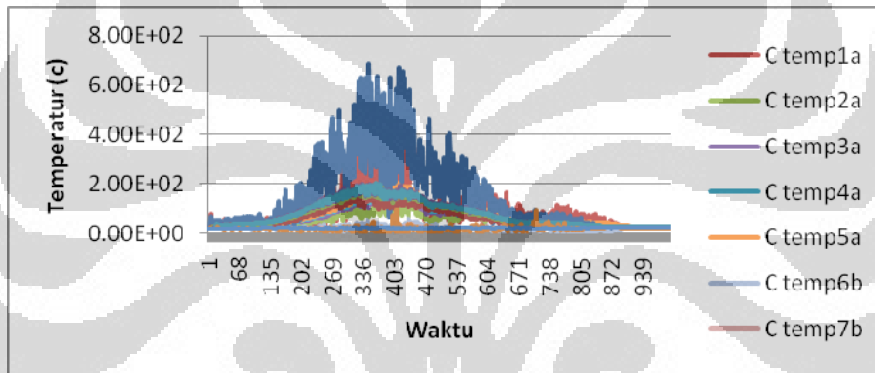
Gambar Hasil Simulasi

1. Nilai temperatur pada 7 termokopel pada simulasi tanpa watermist

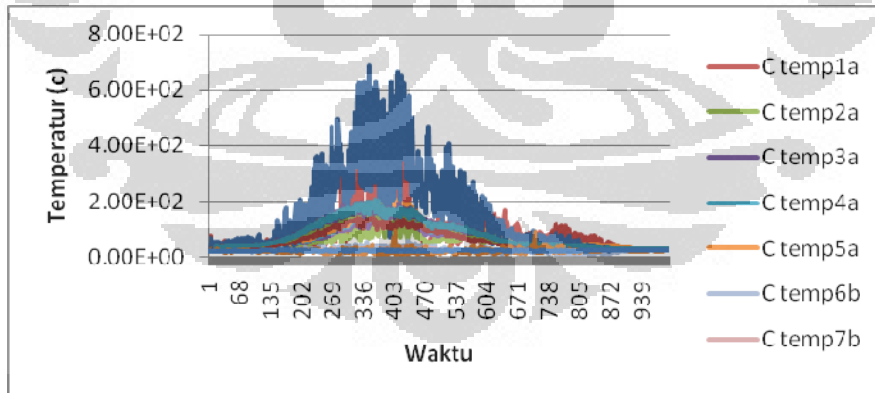
Simulasi menggunakan ukuran grid 2cm



Simulasi menggunakan ukuran grid 4cm

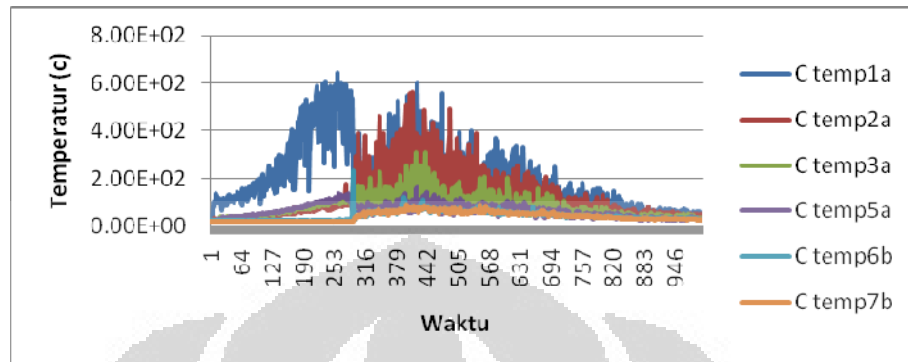


Simulasi menggunakan ukuran grid 5cm

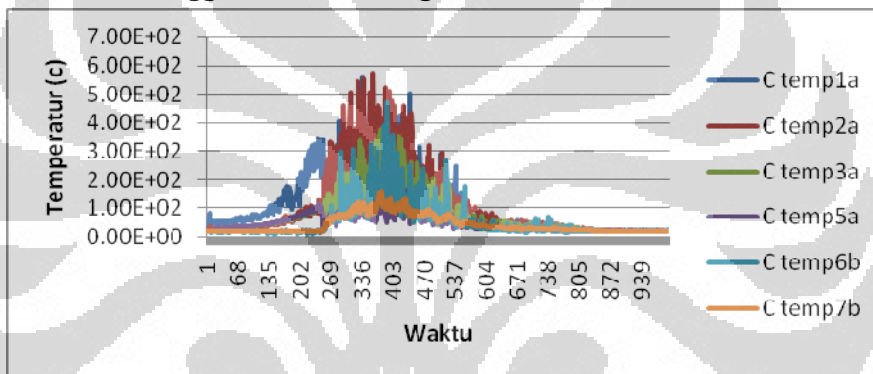


2. Nilai temperatur pada 7 termokopel pada simulasi dengan watermist

a) Simulasi menggunakan ukuran grid 2cm



b) Simulasi menggunakan ukuran grid 4cm



c) Simulasi menggunakan ukuran grid 5cm

