



UNIVERSITAS INDONESIA

PENELITIAN SKALA LABORATORIUM  
PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA  
DISTRIBUSI TEMPERATUR RUANGAN

SKRIPSI

NAMA: STEVANUS SAGALA  
NPM: 0806368862

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DEPOK  
DESEMBER 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

PENELITIAN SKALA LABORATORIUM  
PENGARUH TIRAI KABUT AIR PADA  
DISTRIBUSI TEMPERATUR RUANGAN

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

NAMA: STEVANUS SAGALA  
NPM: 0806368862

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

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **PENELITIAN SKALA LABORATORIUM 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 : STEVANUS SAGALA

NPM : 0806368862

Tanda Tangan

Tanggal : 30 Desember 2010

## PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : STEVANUS SAGALA  
NPM : 0806368862  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PENELITIAN SKALA LABORATORIUM  
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 Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc, PhD ( )

Penguji : Dr. Ir. Danardono AS, DEA ( )

Penguji : Dr. Ir. Warjito, MEng ( )

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

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 30 Desember 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur dan terima kasih, penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahnat dan karuniaNya, karena penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam penelitian ini, penulis banyak menerima saran, bimbingan, bantuan dan informasi dari berbagai pihak, kedua Orang tua penulis, kakak dan lae, abang serta sernua kerabat yang telah memberikan dukungan dan doa, sampai penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Prof Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan ide dan mengenalkan pengetahuan mengenai kabut air, serta telah meluangkan waktu & tenaga dalam memberikan saran dan bimbingan.
- (2) I Gede Wahyu, Raka Cahya Pratama, Adhi W., Raksa A R., Abe '06, Tasya, Rudy Hartono Lumbangaol, Frinses Dayan Hutajulu.dan teman-teman lab pendingin yang telah memberikan kontribusi yang besar dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini.
- (3) Margareth N. M. yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungannya.
- (4) Mas Yasin, Mas syarie yang telah membantu penulis dalam pengerjaan alat.
- (5) Seluruh teman-teman Penulis di kampus yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.
- (6) Dan seluruh karyawan staf Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah membantu memberi saran, menyediakan dan meminjamkan peralatan serta sarana dalam pengerjaan alat.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2010

Penulis

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

---

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

Nama : STEVANUS SAGALA  
NPM : 0806368862  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**PENELITIAN SKALA LABORATORIUM PENGARUH TIRAI KABUT  
AIR PADA DISTRIBUSI TEMPERATUR RUANGAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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

( Stevanus Sagala )

## ABSTRAK

Nama : STEVANUS SAGALA  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul : PENELITIAN SKALA LABORATORIUM PENGARUH  
TIRAI KABUT AIR PADA DISTRIBUSI TEMPERATUR  
RUANGAN

Sebuah eksperimen sistem kabut air dengan skala laboratorium dilakukan untuk mempelajari pengaruhnya terhadap perubahan distribusi temperatur ruangan. Pendekatan yang dilakukan yaitu untuk melihat pengaruh tirai kabut air terhadap api ruangan (*compartment fire*). Penggunaan bahan bakar bensin sebanyak 8 ml sebagai bahan bakar untuk *pool fire* yang nantinya digunakan menjadi sumber panas, karena dari beberapa kali percobaan, menghasilkan durasi pembakaran rata-rata 4 menit. Selain itu pemilihan volume bahan bakar ini didasarkan dari pola perubahan temperatur ruangan yang dihasilkan, dimana tingkatan pola berkembang penuh (*fully develop stage*) berada pada durasi waktu  $\pm 1$  menit dari awal penyalaan.

Karakteristik dari kabut air berupa besar bukaan *flap*, tekanan discharge, mempunyai pengaruh yang besar pada percobaan ini. Beberapa variabel di atas selain berpengaruh terhadap perubahan temperatur, juga terhadap aliran asap yang berasal dari *pool fire*. Dengan adanya penambahan kabut air ke dalam model ruangan, pembacaan temperatur oleh termokopel mengalami perubahan. Penambahan tirai kabut air ini juga menghasilkan pengaruh *enclosure effect*, yang mana akan menghambat suplai oksigen ke dalam *pool fire*. Perubahan pembacaan ini kemungkinan dipengaruhi oleh kabut air yang melapisi permukaan termokopel, selain juga dikarenakan oleh menguapnya sejumlah massa dari kabut air yang ikut menyerap panas dari *pool fire*.

### **Kata kunci:**

Kabut air, *compartment fire*, *enclosure effect*, perubahan temperatur

## ABSTRACT

Name : STEVANUS SAGALA  
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING  
Title : LABORATORY SCALE EXPERIMENT ON THE EFFECT  
OF WATER MIST CURTAIN ON ROOM TEMPERATURE  
DISTRIBUTION

A series of water mist laboratory-scale experiments were conducted to study its effect on room temperature distribution. The approach taken is to see the effect of water mist curtain of fire occur in a room (compartment fire). The use of gasoline as much as 8 ml as fuel for the fire pool that will be used as heat sources, because of several attempts, the duration of combustion produces an average of 4 minutes. In addition, the volume of fuel selection is based from the pattern produced by room temperature changes, where the fully developed (fully develop the stage) occur at  $\pm 1$  minute duration from the initial ignition.

Characteristics of water mist in the form of the opening flap, discharge pressure, has a huge effect on this experiment. Some of the variables above in addition to influence the changes in temperature, also on the flow of smoke coming from the pool fire. With the addition of water mist into the model room, the reading by the thermocouple is also changing. The addition of this water mist curtains create the enclosure effects, which will inhibit the supply of oxygen to the pool fire. Changes in reading is likely influenced by water mist that coats the surface of the thermocouple, and also due to the vaporization of a mass of water mist that absorb heat from the pool fire.

### Key Words:

Water mist, compartment fire, enclosure effect, temperatur changes

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUruAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Api .....	5
2.2 Bahan Bakar .....	6
2.2.1 Bensin .....	6
2.2.2 Karakteristik Bensin .....	6
2.3 Pool Fire .....	6
2.3.1 Pendahuluan .....	7
2.3.2 Laju pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) Pool Fire .....	7
2.3.3 Durasi pembakaran Pool Fire .....	8
2.4 Compartment Fire .....	9
2.5 Kabut Air.....	10
2.5.1 Pendahuluan .....	10
2.5.2 Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air .....	10
2.5.3 Mekanisme Pendinginan Oleh Kabut Air.....	11
2.5.4 Efek Penghalangan ( <i>enclosure effect</i> ) .....	12
2.5.5 Metoda Pembuatan Kabut Air .....	12
2.5.6 Proses Pembentukan <i>Spray Droplet</i> .....	13
2.5.7 Tipe-tipe Nosel dan pola penyebarannya .....	13
<b>BAB 3 PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR</b>	
3.1 Konsep Perancangan Rangka Dudukan Nosel .....	15
3.2 Hasil Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut Air.....	16
3.3 Perakitan Sistem Kabut Air.....	19
<b>BAB 4 METODOLOGI PENGUJIAN</b>	
4.1 Tujuan Pengujian .....	23
4.2 Komponen Pengujian .....	23
4.2.1 Termokopel .....	24
4.2.2 Data Akuisisi.....	25
4.2.3 Wadah bahan bakar ( <i>poolfire</i> ) .....	26
4.2.4 Tabung Nitrogen dan Regulaor.....	26

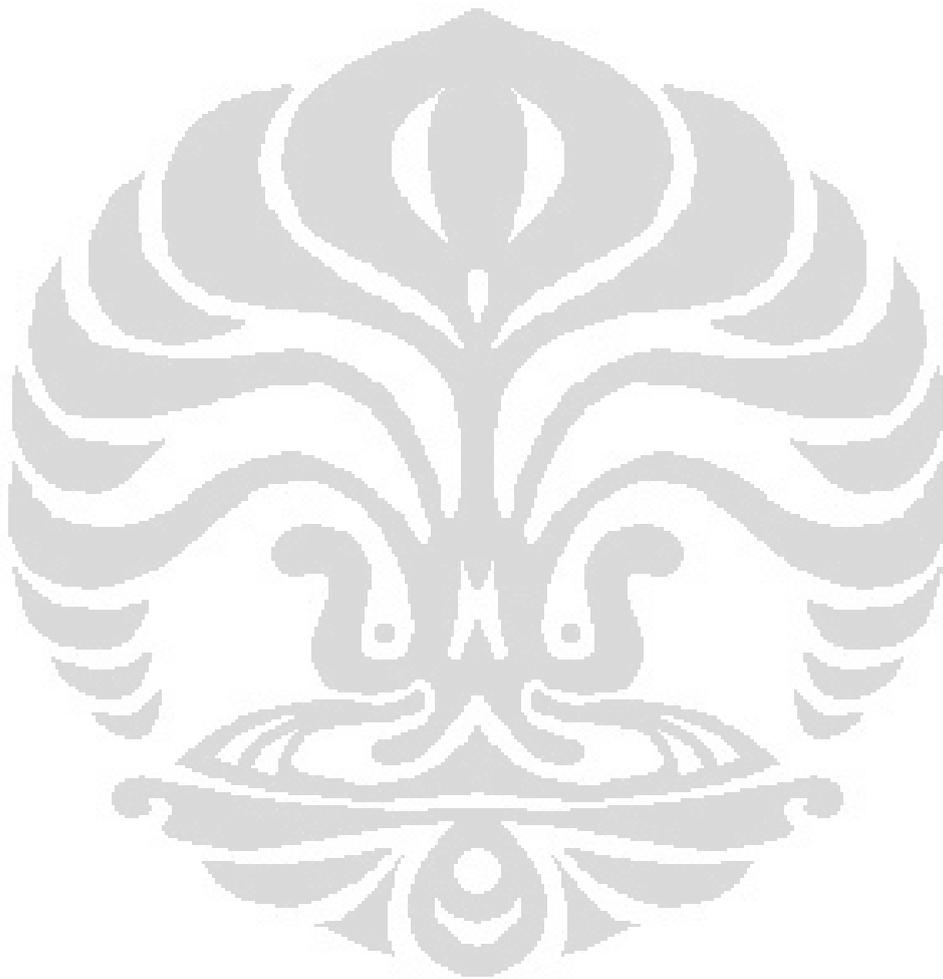
4.2.5	<i>Pressure Vessel</i> .....	26
4.2.6	Nosel.....	26
4.3	Variasi Pengambilan Data .....	27
4.4	Prosedur Pengambilan Data .....	27
4.4.1	Prosedur pengambilan data temperatur <i>pool</i> fire tanpa kabut air .....	27
4.4.2	Prosedur pengambilan data temperatur <i>pool</i> fire dengan bukaan flap .....	27
<b>BAB 5 HASIL DAN ANALISA</b>		
5.1	Hasil dan Analisa Pengujian .....	29
5.2	Pengujian Distribusi Temperatur Model Ruang .....	29
5.2.1	Tanpa Mist.....	29
5.2.2	<i>Denganflap</i> kabut air .....	30
5.3	Karakteristik Bahan Bakar .....	32
5.3.1	Laju Pembakaran <i>pool</i> .fire bahan bakar bensin.....	32
5.3.2	Durasi Pembakaran <i>pool</i> .fire .....	33
5.4	Unjuk Kerja Tirai Kabut Air .....	33
5.4.1	Perubahan Temperatur .....	34
5.4.2	Variasi massa air.....	36
5.5	Penerapn terhadap skala aktual .....	38
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
6.1	Kesimpulan .....	40
6.2	Saran .....	40
<b>DAFTAR ACUAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elemen segitiga api.....	5
Gambar 2.2 Pool fire.....	6
Gambar 2.3 Tingkatan pertambahan api .....	9
Gambar 3.1 Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut air .....	17
Gambar 3.2 Dudukan Nosel Kabut Air.....	18
Gambar 3.3 Dudukan/Jalur pipa dudukan nosel.....	18
Gambar 3.4 Model ruangan .....	19
Gambar 3.5 Pengatur bukaanflap .....	20
Gambar 3.6 Nosel Kabut air .....	20
Gambar 3.7 Skema sistem piping kabut air.....	21
Gambar 3.8 Hasil perancangan dan pembuatan dudukan nosel kabut air .....	23
Gambar 3.9 Hasil perancangan dan pembuatan sistem kabut air .....	23
Gambar 4.1 Data Akuisisi .....	25
Gambar 4.2 Wadah bahan bakar.....	26
Gambar 5.1 Posisi termkopel .....	29
Gambar 5.2 Distribusi temperatur tanpa kabut air.....	30
Gambar 5.3 Distribusi temperatur denganflap minimum (150psi).....	30
Gambar 5.4 Distribusi temperatur denganflap maksimum (150psi).....	31
Gambar 5.5 Distribusi temperatur denganflap minimum (200psi).....	31
Gambar 5.6 Distribusi temperatur denganflap maksimum (200psi).....	31
Gambar 5.7 Distribusi temperatur denganflap minimum (250psi).....	32
Gambar 5.8 Distribusi temperatur denganflap maksimum (250psi).....	32
Gambar 5.9 Variasi temperatur T5 .....	34
Gambar 5.10 Distribusi temperatur T5 (150 psi, <i>flap</i> min dan maks) .....	35
Gambar 5.11 Distribusi temperatur T5 (200 psi, <i>flap</i> min dan maks) .....	35
Gambar 5.12 Distribusi temperatur T5 (250 psi, <i>flap</i> min dan maks) .....	35
Gambar 5.13 Posisi nosel terhadap <i>pressure vessel</i> .....	36
Gambar 5.14 Distribusi massa air tiap tekanan kerja .....	36
Gambar 5.15 Pengujian Termkopel terhadap tetesan droplet air .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat flame pada pool fire.....	7
Tabel 2.2 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet (volume air 0.001m <sup>3</sup> ) .....	10
Tabel 2.3 Pola bentuk penyebaran kabut air.....	13



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATARBELAKANG**

Bahaya kebakaran masih menjadi salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam mendirikan bangunan. Terlebih lagi bangunan yang dirancang untuk kepentingan umum. Kelengkapan alat pemadam merupakan faktor penting yang harus dipenuhi. Namun hal ini, kurang mendapatkan perhatian dari para pengembang, kesadaran masyarakat akan bahaya kebakaran juga masih sedikit. Adapun sebagian besar bangunan sudah memiliki alat pemadam berupa *sprinkler* serta alat pemadam api ringan (APAR). Kelengkapan alat pemadam ini tidak semerta-merta melepaskan masyarakat sebagai pengunjung dan pemilik bangunan dari bahaya kebakaran. Kelengkapan ini juga harus dipastikan kemampuannya dengan melakukan pengujian secara berkala, yang mana juga melibatkan pengunjung atau paling tidak karyawan pemilik gedung.

Dalam sebuah skenario kebakaran, penggunaan kabut air dapat menjadi sebuah alternatif. 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[1]. Penggunaan kabut air bukan lagi hal yang dianggap baru, ini juga dikarenakan makin banyaknya perusahaan pembuat alat dan sistem keselamatan kebakaran yang mengembangkan bahkan sudah memproduksi alat dan sistem keselamatan kebakaran dengan pengaplikasian kabut air.

### **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Penelitian yang dilakukan saat ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan tirai kabut air terhadap perubahan temperatur ruangan. Adapun ruangan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model dengan skala laboratorium. Aplikasi kabut air dalam penelitian ini tidak dirancang untuk memadamkan api.

### 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Mengetahui karakteristik pembakaran *pool fire* berbahan bakar minyak goreng, berupa *heat release rate* (HRR) teoritis.
2. Mengetahui distribusi temperatur ruangan sebagai pengaruh nyala api dari *pool fire*.
3. Mengetahui pengaruh besar bukaan *flap* pengarah terhadap perubahan temperatur.
4. Mengetahui pengaruh tekanan kerja pada kabut air terhadap perubahan temperatur.

### 1.4 PEMBATASAN MASALAH

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi;

1. Merancang dan membuat alat sistem kabut air berupaudukan nosel kabut air, model ruangan dan *flap* pengarah kabut air.
2. Tekanan air yang digunakan pada nosel kabut air ini adalah 150 psi, 200 psi dan 250 psi yang dibaca pada *pressure gauge* keluaran dari *pressure vessel*.
3. Nosel yang digunakan adalah nosel dengan merek *Mist Nozzle APO TW-3*, tekanan yang digunakan, sudut bukaan nosel dan ukuran droplet yang dihasilkan mengacu kepada spesifikasi manufaktur yang di keluarkan oleh supplier *Mist Nozzle APO TW-3*.
4. Jumlah nosel yang digunakan 3 buah dengan jarak antar nosel 15 cm.
5. Tidak dilakukan perhitungan terhadap *flow rate* dan *pressure drop* dari sistem pemipaan dan ukuran droplet serta mekanisme penyalaan api.

### 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 Alat uji

Perancangan alat uji sesuai dengan tujuan penelitian. Pada penelitian ini alat seperti, nosel, *pressure vessel* dan tangki nitrogen telah tersedia, sehingga yang dilakukan yaitu membuat alat-alat uji tambahan seperti perancangan model ruangan, sistem pemipaan, dan dudukan pemegang nosel.

## 3. Pengujian sistem kabut air

Melakukan pengujian atau pengambilan data setelah alat Uji selesai dibuat.

## 4. 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.

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

### 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab-bab sebagai berikut:

#### **BABIPENDAHULUAN**

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

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian ini dan perkembangan. Dasar teori yang terdapat dalam penelitian ini yaitu mengenai proses pembakaran pada bahan bakar cair, karakteristik *pool fire*, sistem pemadaman api, dan sistem pemadaman kebakaran kabut air. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal dan situs-situs internet.

### **BAB III PROSES PERANCANGAN DAN PEMBUATAN**

Bab ini berisi penjelasan secara lengkap tentang konsep desain alat dan proses pembuatan dudukan nosel pada sistem pemadaman berbasis kabut air.

### **BAB IV METODOLOGI PENGUJIAN**

Bab ini menerangkan tentang bagaimana instalasi pengujian dilakukan, komponen yang digunakan dalam pengujian, prosedur dan metode pengujian untuk mengetahui karakterisasi alat.

### **BAB V BASIL DAN ANALISA**

Bab ini memuat data-data hasil pengujian yang diolah menjadi data berupa grafik, foto dan penjelasan mengenai analisa terhadap kinerja sistem kabut air. Dan selanjutnya data ini akan dianalisis sesuai dengan hasil yang didapat dan berdasarkan literatur yang ada.

### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

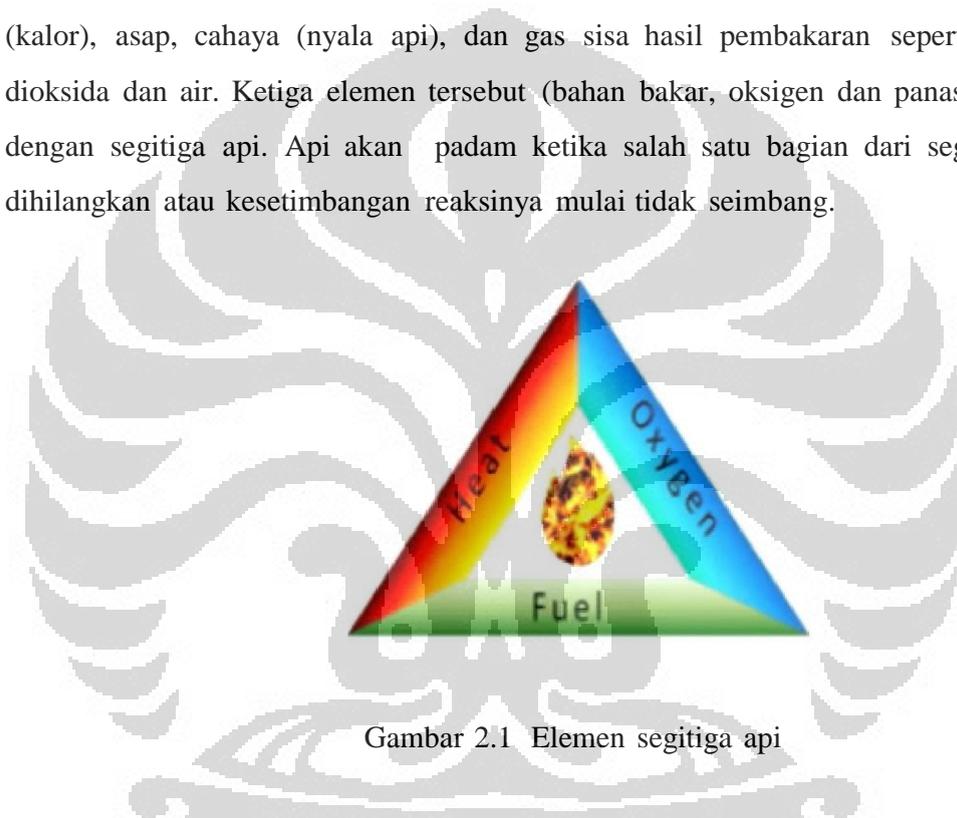
Pada bagian ini akan diambil beberapa kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan dengan disertai saran terhadap pengembangan selanjutnya.

## BAB2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 1.7 API

Api muncul akibat proses oksidasi yang terjadi secara cepat pada pembakaran material (bahan bakar), yang disertai dengan munculnya panas (kalor), asap, cahaya (nyala api), dan gas sisa hasil pembakaran seperti karbon dioksida dan air. Ketiga elemen tersebut (bahan bakar, oksigen dan panas) disebut dengan segitiga api. Api akan padam ketika salah satu bagian dari segitiga api dihilangkan atau kesetimbangan reaksinya mulai tidak seimbang.



Gambar 2.1 Elemen segitiga api

Nyala api adalah sebuah hasil reaksi eksotermis, suatu reaksi oksidasi kimia yang melepaskan panas serta menghasilkan energi dan gas yang bereaksi, pancaran padat yang terlihat dan sinar infra merah. Nyala api juga bergantung kepada pasokan oksigennya. Karena proses pembakaran merupakan reaksi eksotermis, yang menghasilkan panas maka memungkinkan reaksi nyala akan berlangsung kontinyu, selama bahan bakar belum habis.

## 1.8 BAHAN BAKAR

### 2.2.1 Bensin

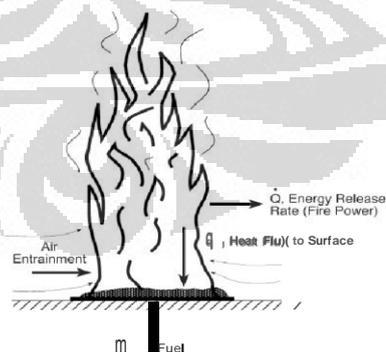
Minyak adalah senyawa yang berbentuk cairan pekat pada suhu ruangan ( $25^{\circ}\text{C}$ ) dan tidak larut dalam air. Berdasarkan sumbernya, minyak dibagi menjadi dua macam, yaitu minyak bumi (*mineral oils* atau *petroleum*), dan minyak dari makhluk hidup (lipida atau lipids). Bensin merupakan salah satu hasil penyulingan dari minyak bumi.

### 2.2.2 Karakteristik Bensin

Beberapa karakteristik yang perlu di ketahui mengenai bensin;

1. *Flash point* adalah temperatur terendah bensin agar dapat menguap untuk membentuk campuran yang bisa terbakar di udara jika disulut dengan api.
2. 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.

## 1.9 POOL FIRE



Gambar 2.2 Pool fire

### 2.3.1 Pendahuluan

Pool fire didefinisikan sebagai api yang terbakar secara difusi diatas kolam yang berisi bahan bakar yang sedang mengalami penguapan, dan mempunyai permukaan horisontal, dalam kondisi dimana momentum bahan bakarnya sangat rendah atau tidak ada sama sekali.

Babrauskas (1983 dan 1986) mendefinisikan empat jenis bentuk *sifatflame* berdasarkan diameter pool firenya seperti yang tercantum pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat-sifat flame pada pool fire

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

### 2.3.2 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[5]:

$$\dot{m}'' = m_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D}) \quad (2.1)$$

dengan:

$K$  = Koefisien perpindahan panas radiasi

$D$  = diameter dari pool fire

$\dot{m}''$  = laju pembakaran pool fire ( $\text{kgjm}^2\text{s}$ )

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

$$Q = m'' LHC A_f \quad (\text{kW}) \quad (2.2)$$

dimana:

$A_f$  = luas horisontal permukaan bakar ( $\text{m}^2$ )

$LHC$  = panas pembakaran ( $\text{kJ/g}$ )

### 2.3.3 Durasi pembakaran Pool Fire

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

$$t_b = \frac{4V}{\pi D^2 v} \quad (2.3)$$

dimana:

$V$  = volume dari bahan bakar cair ( $\text{m}^3$ )

$D$  = diameter dari pool (m)

$v$  = laju pembakaran (regression rate)  $\text{cm/sec}$

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.

$$v = \frac{m''}{\rho} \quad (2.4)$$

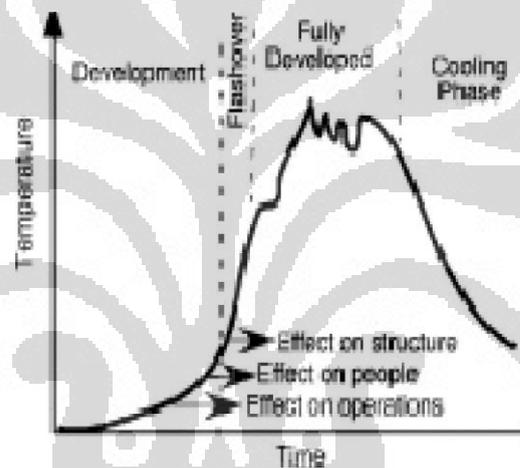
dimana

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

$\rho$  = masa jenis bahan bakar cair ( $\text{kg/m}^3$ )

## 1.10 COMPARTMENT FIRE

*Compartment fire* merupakan istilah untuk menjelaskan tentang api yang muncul dalam ruangan dalam sebuah bangunan. Setelah terjadi penyalaan, ketika api masih berukuran kecil, api akan menyala bebas, laju pirolisis dan pelepasan energi hanya terpengaruh oleh pembakaran bahan bakar tersebut bukan pengaruh dari adanya halangan terhadap api dalam ruangan tersebut. 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[5, 9];



Gambar 2.3 Tingkatan pertumbuhan api

Tingkatan ini dapat dibagi menjadi:

- (i) Tingkatan perkembangan atau *pre-flashover*, dimana temperatur rata-rata *compartment* relatif rendah dan api hanya terjadi pada area kecil dimana api muncul.
- (ii) Tingkatan berkembang penuh, terjadi selama benda-benda yang terbakar oleh api di dalam ruangan, serta api akan terpapar di keseluruhan isi ruangan tersebut.
- (iii) Tingkatan pengurangan, merupakan tingkatan dimana setelah temperatur rata-rata dari api turun sekitar 80% dari nilai tertingginya.

## 1.11 KABUT AIR

### 2.5.1 Pendahuluan

Kabut air adalah air yang diuraikan menjadi bentuk seperti awan dengan ukuran tetesan air (*droplet*) yang sangat halus. Hal ini menyebabkan luas permukaannya menjadi sangat besar, sehingga memperbesar laju perpindahan panas. Permukaan air mampu menjadi luas 1700 kali dari permukaan awalnya ketika berubah menjadi uap. Efek inilah yang nantinya mampu menggantikan / menghambat oksigen dan uap bahan bakar ketika diaplikasikan dalam pemadaman. Dengan bentuk dan ukuran droplet yang cukup kecil, efektifitas air menjadi signifikan karena penyerapan panas yang cukup besar yang dikarenakan oleh penambahan luas permukaan air[2] . Hal ini dapat dilihat dalam tabel.

Tabel 2.2 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet  
(volume air 0.001m<sup>3</sup>)

	6	1	0.1
Jumlah total droplet	$8.8 \times 10^3$	$1.9 \times 10^6$	$1.9 \times 10^9$
Luas area permukaan (m <sup>2</sup> )	1	6	60

### 2.5.2 Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air

Sistem kabut air memiliki beberapa kelebihan dalam memadamkan api dibandingkan dengan pemadam kebakaran konvensional diantaranya;

1. Sistem kabut air tidak beracun dan menyebabkan sesak napas karena media yang digunakan adalah air, dibandingkan dengan penggunaan halon
2. Tidak mengganggu lingkungan
3. Akses air yang mudah diperoleh. Air adalah materi yang dapat diperoleh dari mana saja, tidak seperti zat lainnya yang sulit untuk didapat.

4. Biaya penyediaanya air lebih murah dibandingkan dengan zat media pemadam lainnya.
5. Mempunyai penetrasi yang luas. Kabut air dapat menjangkau areal yang luas, sehingga laju penyerapan panas menjadi lebih besar
6. Laju aliran yang rendah. Hal ini mengurangi jumlah konsumsi air yang digunakan.

Kelebihan penggunaan sistem kabut air dibandingkan dengan sistem *sprinkler* konvensional yaitu

1. Mempunyai laju aliran air yang lebih rendah, sehingga mengurangi konsumsi air.
2. Kerusakan peralatan-peralatan yang sensitif yang ditimbulkan oleh air karena proses pemadaman lebih sedikit.
3. Ceceran air atau bahkan genangan bekas proses pemadaman lebih sedikit sehingga mudah dalam pembersihannya.
4. Kabut air mempunyai diameter tetesan air yang sangat kecil sehingga saat memadamkan kebakaran minyak goreng fenomena cipratan minyak dapat dihindarkan.

Sistem kabut air ini juga memiliki kelemahan, antara lain, dari segi harga pemasangan awal yang relatif mahal dibandingkan dengan sistem pemadam konvensional, serta pemahaman masyarakat tentang kabut air yang belum berkembang.

### 2.5.3 Mekanisme Pendinginan Oleh Kabut Air

Kapasitas kalor yang tinggi dari kabut air ( $4.2 \text{ J/g.K}$ ) dan kalor laten penguapan yang tinggi ( $2442 \text{ J/g}$ ) mampu menyerap kalor yang dihasilkan api dan bahan bakar dalam jumlah yang cukup banyak secara signifikan. Mekanisme pendinginan oleh kabut air dapat dibagi menjadi pendinginan api (*fire plume*) serta pendinginan permukaan *pool fire*. Pendinginan api oleh kabut air dihasilkan akibat perubahan fase dari air menjadi uap ketika droplet kabut air dalam ukuran yang cukup halus dalam jumlah yang banyak masuk ke area api (*fire plume*) dan

menguap secara cepat. Efek ini akan menghasilkan penurunan temperature dari *pool fire* dan kemudian perlahan api akan mati[2].

#### 2.5.4 Efek Penghalangan (*enclosure effect*)

Ketika terjadi kebakaran dalam sebuah ruangan, maka terjadi pemanasan di dalam ruangan tersebut dan konsentrasi oksigen akan berkurang secara bertahap. Di samping itu gas panas yang dihasilkan oleh api akan berkumpul di atas api (area langit-langit) dari ruangan tersebut. Dengan penyemprotan kabut air ke bawah secara vertikal, maka sejumlah kabut air akan menguap dan menggantikan oksigen dan uap bahan bakar akibat penyerapan kalor dari sekitarnya. Kemampuan merekayasa ruangan dalam menangkap kalor dan menggantikan produk pembakaran dan uap air ini memiliki peran penting dalam pemadaman oleh kabut air. Hal inilah yang disebut *enclosure effect*[2].

#### 2.5.5 Metoda Pembuatan Kabut Air

Pada umumnya, unuk menghasilkan kabut air dapat dibagi menjadi tiga kategori dasar berdasarkan mekanisme atomisasi yang digunakan untuk menghasilkan ukuran droplet yang sangat halus yaitu;

- *Impingement nozzles*
- *Pressure jet nozzles*
- *Twin fluid nozzles*

Dari ketiga kategori tersebut nosel akan dioperasikan menurut pressure tertentu dan menghasilkan karakteristik spray yang berbeda-beda. Menurut standar NFPA 750 terdapat tiga jenis tekanan kerja di dalam pembuatan sistem kabut air yaitu;

1. *Low pressure systems* dengan tekanan kerja < 12 bar (175 psi)
2. *Intermediate systems* dengan tekanan kerja 12 bar sampai 34 bar (500 psi)
3. *High pressure systems* dengan tekanan kerja > 34 bar (500 psi)

Pemilihan metoda dalam pembuatan kabut air akan mempengaruhi beberapa faktor yaitu, karakteristik cakupan spray, kemampuan sistem dalam memadamkan api, fluks density, dan momentum dari kabut air.

### 2.5.6 Proses Pembentukan *Spray Droplet*

Terdapat tiga cara untuk membentuk suatu spray yaitu:

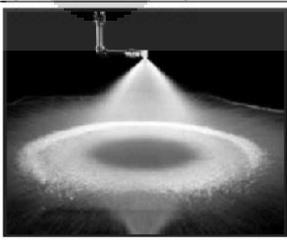
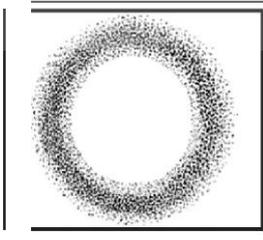
1. Dengan membuat rotasi aliran di dalam spray.
2. Dengan membenturkan jet air.
3. Dengan membuat droplet air secara langsung dari aliran jet air (water jet) yang turbulen, saat keluar dari nosel.

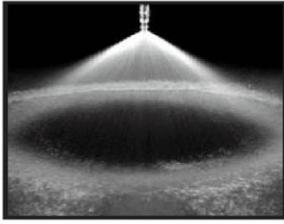
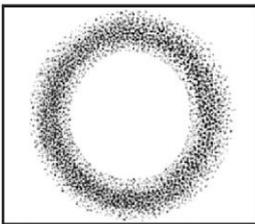
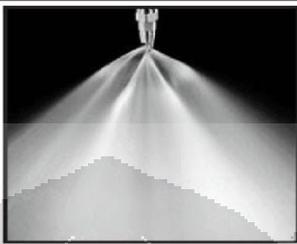
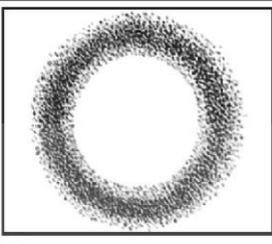
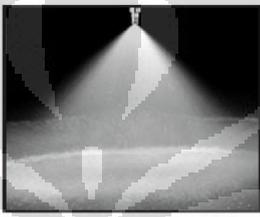
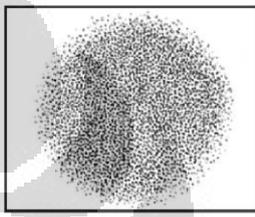
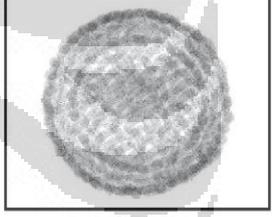
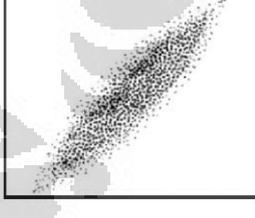
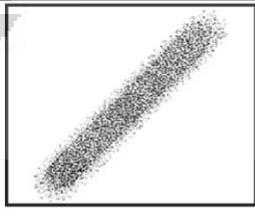
Proses untuk menghasilkan droplet disebut dengan atomisasi, proses ini dimulai dengan memberikan gaya pada air agar melewati nosel. Energi potensial dari air dan bentuk geometri dari nosel akan menyebabkan air pecah menjadi beberapa ligamen-ligamen kecil, dan ligamen kecil ini juga akan pecah menjadi droplet.

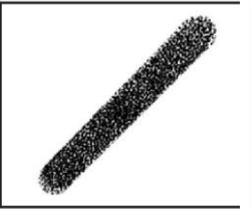
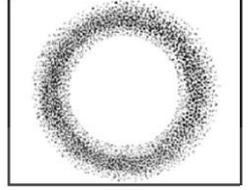
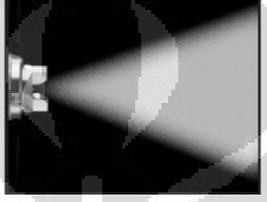
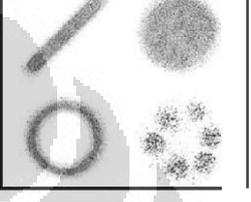
### 2.5.7 Tipe-tipe Nosel dan pola penyebarannya

Bentuk pola penyebaran kabut air oleh nosel dapat dilihat pada tabel 2.3 [3]

Tabel 2.3 Pola bentuk penyebaran kabut air

Tipe nosel	Foto	Penyebaran spray
Nosel <i>Hollow Cone</i>		

<p>Nosel <i>Hollow Cone</i> (deflected type)</p>		
<p>Nosel <i>Hollow Cone</i> (ripe spiral)</p>		
<p>Nosel <i>Full cone</i></p>		
<p>Nosel <i>Full cone</i> (tipe spiral)</p>		
<p>Nosel <i>Flat spray</i> (tepered)</p>		
<p>Nosel <i>Flat spray</i> (lurus)</p>		

<p>Nosel <i>Flat spray</i> (<i>deflected type</i>)</p>		
<p>Nosel <i>hidraulic atomizing</i> (<i>fine mist</i>)</p>		
<p>Nosel <i>two fluid and air assisted nozzles</i></p>		

## **BAB3**

### **PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR**

#### **3.1 KONSEP PERANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL**

Tahap konsep merupakan tahap awal dalam kegiatan perancangan, tahap ini bertujuan untuk mengetahui berbagai kemungkinan yang dapat diterapkan untuk membuat rangka dudukan nosel yang dapat dikonfigurasi sesuai dengan kebutuhan pada saat pengujian, sehingga akan memperjelas masalah atau tugas yang akan diproses selanjutnya.

Tujuan perancangan adalah menghasilkan desain dudukan nosel yang dapat diatur ketinggian, sudut kemiringan dan dapat digerakkan maju dan mundur.

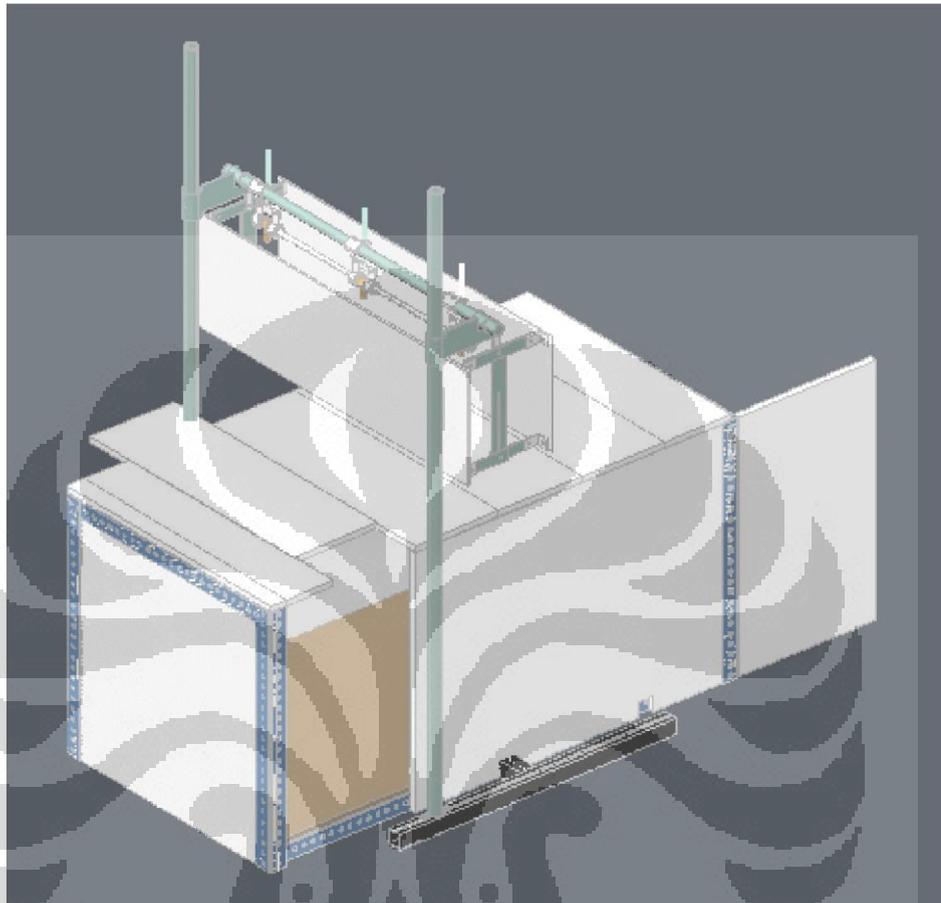
Untuk memperjelas batasan-batasan masalah pembuatan konsep rancangan dan persyaratan apa saja yang harus dipenuhi oleh rangka dudukan nosel kabut air, maka munculah beberapa tuntutan seperti berikut ini:

- Alat ini menggunakan 3 nosel kabut air yang disusun secara horizontal dengan jarak antar nosel 15 cm.
- Jarak antara tiang penahan dudukan nosel sebesar 60 cm. Ini dimaksudkan agar tersedia ruang yang cukup untuk menempatkan model ruangan.
- Model ruangan yang digunakan berukuran Panjang= 100 cm, Lebar= 50 cm dan Tinggi= 50 cm.
- Bahan model bangunan merupakan bahan *Kalsi*, ini dimaksudkan karena kemampuan bahan tersebut terpapar panas api yang cukup baik sekaligus kemampuannya terhadap resapan air.
- Alat ini dapat diatur ketinggian, kemiringan sudut dudukan nosel dan karena setiap sambungan rangka bisa dilepas pasang maka memudahkan pergantian bagian yang rusak.

#### **3.2 BASIS RANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL KABUT AIR**

Dalam merancang rangka dudukan nosel kabut air tentunya mengacu pada ukuran komponen-komponen lainnya seperti, ukuran dan bentuk nosel kabut air,

ukuran *fitting* dan pipa nosel, dan tinggi pemasangan *pressure vessel* dan ukuran komponen-komponen pelengkap lainnya.

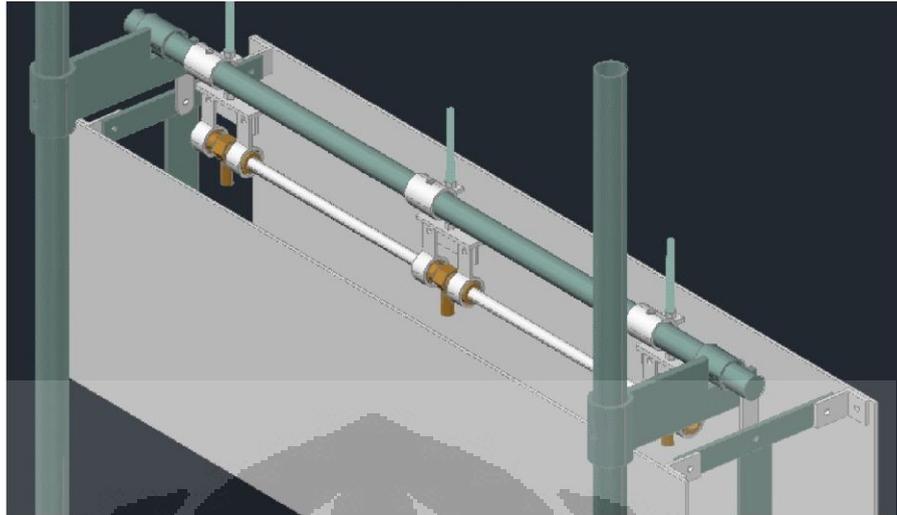


Gambar 3.1 Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut air

Setiap bagian rangka mempunyai fungsi yang spesifik, berikut ini akan dijelaskan fungsi dari masing-masing bagian sistem kabut air:

#### 1. Dudukan nosel dan Pipa dudukan nosel

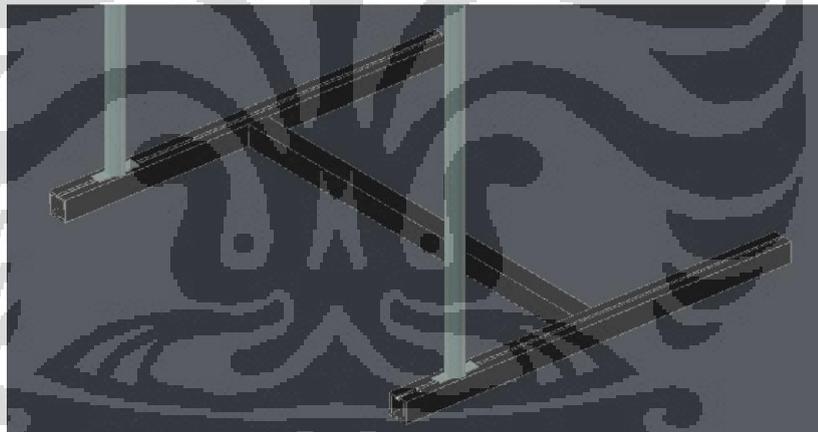
Dudukan nosel ini dapat dikunci dengan baut pada bagian yang dihubungkan dengan pipa dudukan nosel, berfungsi untuk mengatur ketinggian nosel dari bagian atap model bangunan. Pada bagian pemegang nosel berfungsi untuk mencekam nosel agar tidak bergerak dan diam di tempatnya, sedangkan pada sisi atasnya dapat diputar untuk menghasilkan kemiringan sudut nosel.



Gambar 3.2 Dudukan Nosel Kabut Air

## 2. Dudukan/Jalur pergerakan pipa dudukan nosel

Dudukan ini berfungsi sebagai jalur pergerakan pipa dudukan nosel serta *semuaflap* pengarah kabut air sekaligus sebagai pondasi model ruangan.



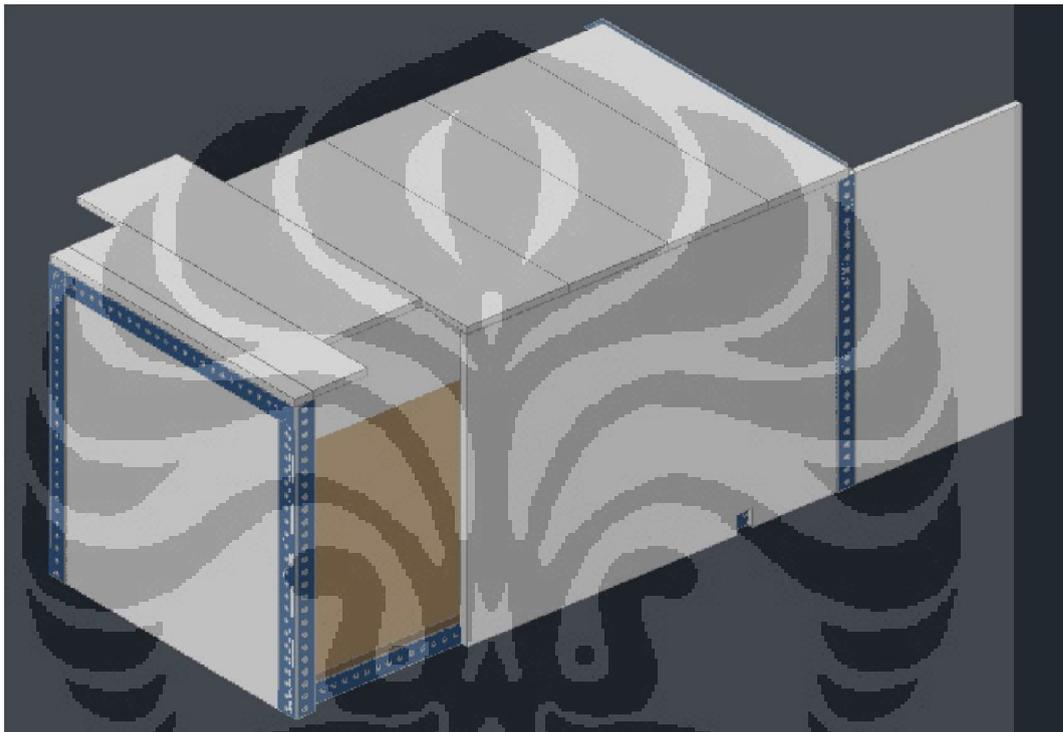
Gambar 3.3 Dudukan/Jalur pipa dudukan nosel

## 3. Model ruangan

Model ruangan yang digunakan terbuat dari bahan *Kalsi*, dengan ketebalan 12 mm. Adapun alasan pemilihannya diarenakan bahan tersebut memiliki hambatan panas yang cukup baik serta tidak mudah rusak ketika terpapar api ataupun terkena percikan air. Selain ketahanan ini, faktor keamanan dari panas juga menjadi pertimbangan. Model yang digunakan berukuran panjang 100 cm, lebar 50 cm dan tinggi 50 cm. Pada satu sisi lebarnya, bagian belakang dari

gambar, model ruangan dibiarkan terbuka, sebagai acuan suplai udara dan keluaran asap dari *pool fire*.

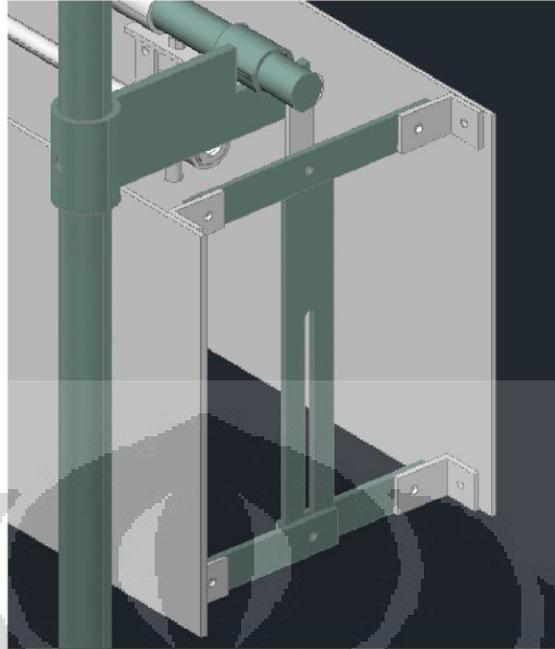
Pada bagian penutup atas, bahan *Kalsi* tersebut dibagi menjadi beberapa segmen. Ini dikarenakan keterbatasan alat ukur dalam hal ini termokopel. Adapun ukuran segmen disesuaikan dengan besar bukaan *flap* pengarah kabut air serta jumlah segmen yang memungkinkan.



Gambar 3.4 Model ruangan

#### 4. Pengatur bukaanjlap

Berfungsi sebagai dudukan sekaligus sebagai pengatur besar kecil bukaan *flap*, yang nantinya mengatur luasan kabut air yang masuk ke dalam model ruangan.



Gambar 3.5 Pengatur bukaanflap

### 3.3 PERAKITAN SISTEM KABUT AIR

Didalam sistem kabut air terdapat beberapa komponen penunjang lainnya dimana komponen ini sudah ada dan tersedia. Dalam pembuatan sistem kabut air ini terdapat beberapa komponen yang sudah ada, dan merupakan bagian dari sistem kabut air. Komponen-komponen tersebut adalah;

#### 1. Nosel Kabut air

Agar dapat menghasilkan droplet air dengan ukuran yang memenuhi syarat kabut air, maka harus digunakan nosel yang sesuai dengan kebutuhan. Nosel yang akan dipakai dalam pengujian ini adalah nosel yang biasa dipakai di dalam rumah kaca untuk melembabkan dan menjaga temperatur tanaman. Nosel ini dipilih terutama karena alasan yang praktis, yaitu kemudahan untuk mendapatkannya[4].

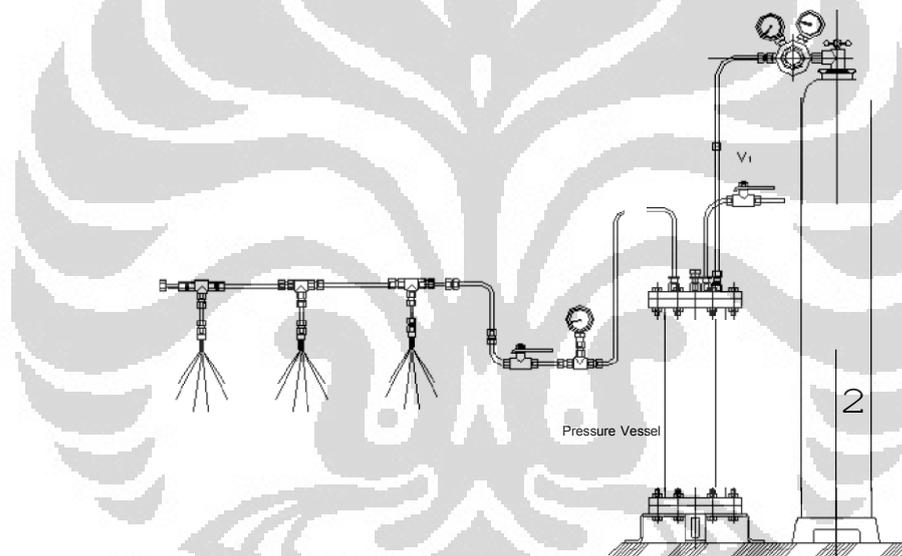


Gambar 3.6 Nosel Kabut air

Spesifikasi nosel yang digunakan :

Nama pasaran/merek	: Mist Nozzle Apo TW-3
Material	: Kuningan
Diameter Orifice	: 0,1 mm
Tekanan kerja	: 20- 100 bar
Droplet Keluaran	: 10- 50 $\mu$ m
Sudut Spray	: 50°- 65°
Jumlah keluaran air	: 0.012-0.025 L/min

## 2. Sistem *piping*



Gambar 3.7 Skema sistem piping kabut air

Sistem kabut air ini menggunakan pipa yang terbuat dari bahan *Stainless steel* yang memiliki ukuran 1/4 inci. Pipa ini cukup baik untuk menahan tekanan tinggi, dimana setiap sambungan menggunakan *ferrule* agar sambungan kuat dan tidak bocor. *Piping* sistem terdiri atas; Pipa stainless steel ukuran 1/4 inci, Plastik *tube* ukuran 1/4 inch, dan beberapa fittings diantaranya; *Caps and plugs* ukuran 1/4 inch, *Union fitting* dan *end plug*.

## 3. Tabung Nitrogen dan Regulator

Untuk menghasilkan air yang bertekanan digunakan nitrogen bertekanan sebagai tenaga pendorong. Nitrogen akan mendorong air di dalam pressure vessel untuk mengalir keluar sampai ke nosel. Untuk mengatur tekanan yang dikeluarkan dari tabung, digunakan pressure regulator. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa tekanan nitrogen masih cukup dan tidak ada kebocoran.

#### 4. *Pressure Vessel*

*Pressure vessel* adalah alat yang digunakan untuk mengkompresikan air menuju nosel. Hal yang perlu diperhatikan adalah air yang dimasukkan tidak ada kotoran yang dapat menyebabkan tersumbatnya nosel.

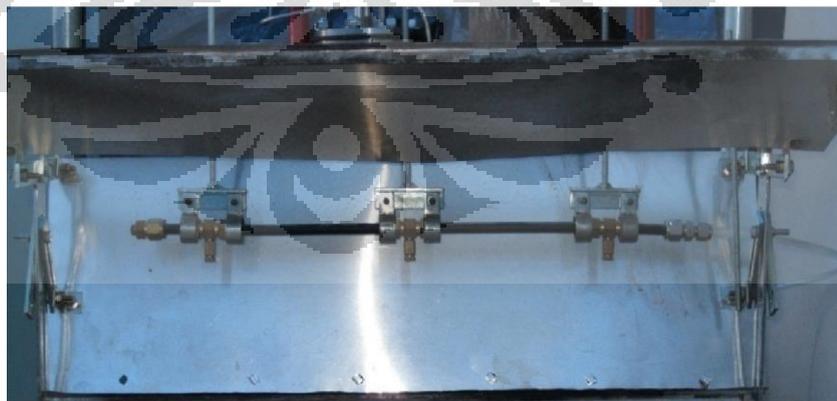
#### 5. *Check Valve*

Check valve merupakan alat yang digunakan agar tidak terjadi aliran tekanan balik. Pada rancangan, alat ini dipasang antar nitrogen dan pressure vessel supaya mencegah tekanan nitrogen balik ke tabung gas.

#### 6. *Pressure Gauge*

Alat ini untuk mengetahui tekanan air yang mengalir menuju nosel.

Hasil perakitan sistem kabut air dapat dilihat pada gambar berikut ini





Gambar 3.8 Hasil perancangan dan pembuatanudukan nosel kabut air



Gambar 3.9 Hasil perancangan dan pembuatan sistem kabut air

## **BAB4**

### **METODOLOGI PENGUJIAN**

#### **4.1 TUJUAN PENGUJIAN**

Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh kabut air terhadap perubahan temperatur yang terjadi dalam model ruangan yang pada satu sisinya dinyalakan *pool fire*. *Pool fire* yang digunakan berbahan bakar bensin. Hasil pengujian ditinjau dari distribusi temperatur ruangan dengan *pool fire* tanpa pengktifan mist, tekanan kerja dari *pressure vessel* dan besar bukaan *flap* pada saat dilakukan *enclosure effect*.

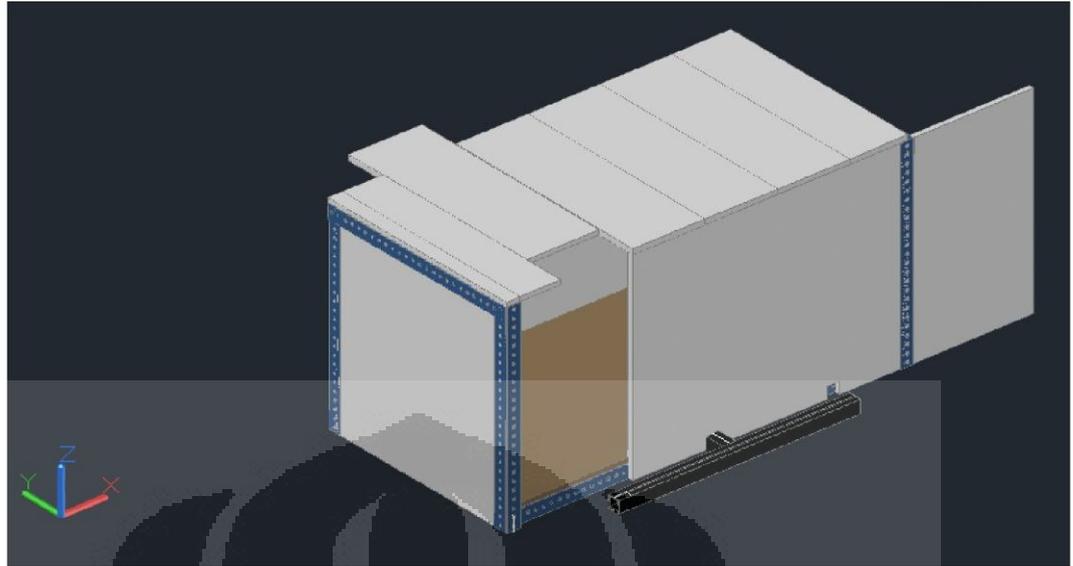
#### **4.2 KOMPONEN PENGUJIAN**

Kelengkapan pendukung diperlukan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan, seperti *pool fire*, dudukan nosel kabut air, peralatan listrik seperti *power supply*, alat ukur berupa sensor temperatur (termokopel), beserta tabung gas, dan data akuisisi (*data logger*).

##### **4.2.1 Termokopel**

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel tipe K, Untuk menjamin keakuratan data, termokepel perlu diletakan pada posisi yang tepat, peletakan termokopel yang salah akan menyebabkan data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan peletakan termokopel pada pengujian pemadaman minyak goreng dengan kabut air.

Penempatan termokopel, disesuaikan dengan jumlah termokopel, data kuisisi serta *channel* yang tersedia. Pertimbangan juga dilakukan terhadap luasan yang akan diukur. Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan di sepanjang sumbu x terhadap model ruangan.



#### 4.2.2 Data Akuisisi

Data akuisisi yang digunakan adalah *Advantech Portable Data Acquisition Module* type USB-4178. Data akuisisi ini digunakan untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.1 Data Akuisisi

Data akuisisi ini menggunakan software *Adam v1ew* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi *Windows XP*. Data keluaran *Adamview* adalah berupa file *notepad* yang bisa langsung terbaca berdasarkan *Channel* yang digunakan.

### 4.2.3 Wadah bahan bakar (*pool fire* )

Wadah bahan bakar berfungsi sebagai tempat menampung bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pembakaran (kebakaran). Wadah yang digunakan untuk pengujian ini memiliki diameter 6.3 em. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.



Gambar 4.2 Wadah bahan bakar

### 4.2.4 Tabung Nitrogen dan Regulator

Untuk menghasilkan air yang bertekanan digunakan nitrogen bertekanan sebagai tenaga pendorong.

### 4.2.5 Pressure Vessel

Hal yang perlu diperhatikan adalah air yang dimasukan tidak ada kotoran yang dapat menyebabkan tersumbatnya nosel.

### 4.2.6 Nosel

Agar dapat menghasilkan droplet air dengan ukuran yang memenuhi syarat kabut air, maka harus digunakan nosel yang sesuai dengan kebutuhan. Nosel yang akan dipakai dalam pengujian ini adalah nosel yang biasa dipakai di dalam rumah kaca untuk melembabkan dan menjaga temperatur tanaman. Nosel ini dipilih terutama karena alasan yang praktis, yaitu kemudahan untuk mendapatkannya di pasaran, dimana nosel khusus yang digunakan untuk pemadam kebakaran yang sesuai standar tidak terdapat di pasaran Indonesia, dan harganya yang relatif sangat mahal.

### 4.3 VARIASI PENGAMBILAN DATA

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dilaboratorium fire safety Departemen Teknik Mesin FTUI. Pengambilan data tersebut meliputi:

- a. Pengambilan data distribusi temperatur *pool fire* tanpa ada kabut air.
- b. Pengambilan data distribusi temperatur *pool fire* dengan bukaan *flap* pengarah kabut air minimum dan maksimum pada tekanan 150 psi, 200 psi dan 250 psi.

### 4.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

#### 4.4.1 Prosedur pengambilan data temperatur *pool fire* tanpa ada kabut air

Prosedur pengambilan data berdasarkan urutannya adalah:

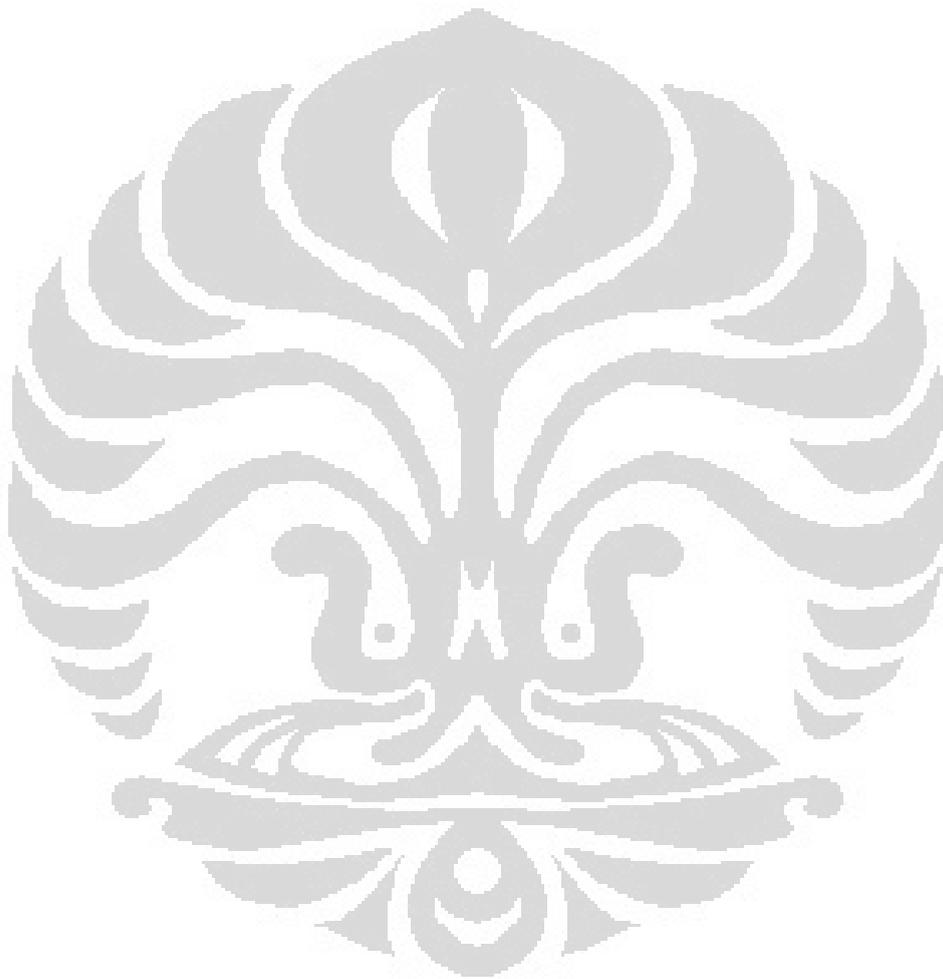
1. Menyiapkan termokopel dan data akuisisi yang sudah terhubung dengan komputer.
2. Menyiapkan *pool fire*, isi bensin sebanyak 8 ml. Letakkan *pool fire* tepat di bagian tengah (lantai) segmen 1.
3. Nyalakan *pool fire* dengan menyulutkan api ke dalamnya.
4. Sesegera mungkin lakukan pencatatan pengukuran.
5. Biarkan pengukuran tetap berjalan sampai temperatur yang terbaca pada termokopel 1 oleh data akuisisi menunjukkan nilai yang hampir mendekati suhu kamar ( $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ).
6. Lakukan kelima langkah di atas secara berulang-ulang.

#### 4.4.2 Prosedur pengambilan data distribusi temperatur *pool fire* dengan bukaan *flap*

Prosedur Pengujian yang dilakukan adalah:

1. Pastikan bukaan *flap* stabil.
2. Lakukan langkah pengujian 1 sampai 4 pada sub bab 4.4.1.
3. Ketika api sudah menyala selama 1 menit, buka penutup *flap*, dan nyalakan mist selama 1 menit. Pastikan tekanan *pressure vessel* stabil.

4. Biarkan pengukuran tetap berjalan sampai temperatur yang terbaca pada termokopel 1 oleh data akuisisi menunjukkan nilai yang hampir mendekati suhu kamar ( $\pm 30^{\circ}\text{C}$ ).
5. Lakukan keempat langkah di atas secara berulang-ulang untuk bukaan *flap* minimum dan maksimum.



# BAB5

## HASIL DAN ANALISA

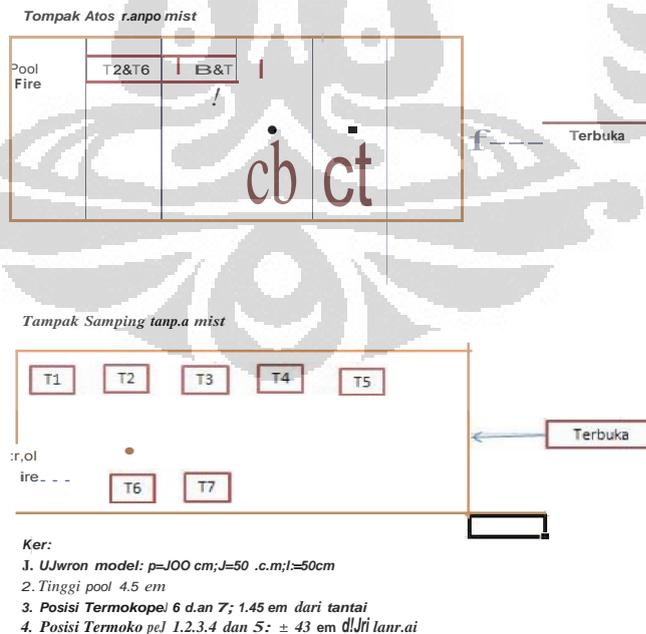
### 5.1 BASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Berikut adalah data-data dan analisa hasil pengujian karakteristik sistem kabut air. Penyajian data yang diperoleh akan digambarkan dalam bentuk grafik. Data yang didapatkan berupa distribusi temperature tanpa dan dengan pengaruh kabut air.

### 5.2 PENGUJIAN DISTRIBUSI TEMPRATUR MODEL RUANGAN

#### 5.2.1 Tanpa mist

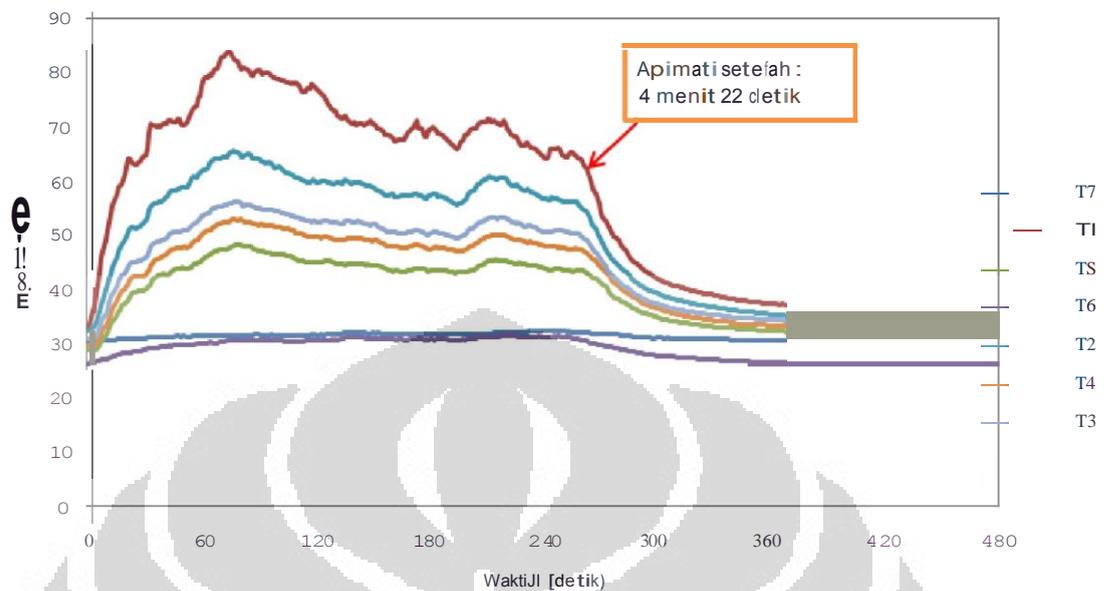
Pada penelitian ini distribusi temperatur ruangan model yang dicatat adalah temperatur yang terbaca pada 7 termkopel yang di pasang di permukaan atas dan samping kanan dari ruangan model.



Gambar 5.1 Posisi termkopel

Dari pengujian didapat hasil distribusi temperatur seperti terlihat dalam grafik.

### Distribusi temperatur ruangan tanpa mist

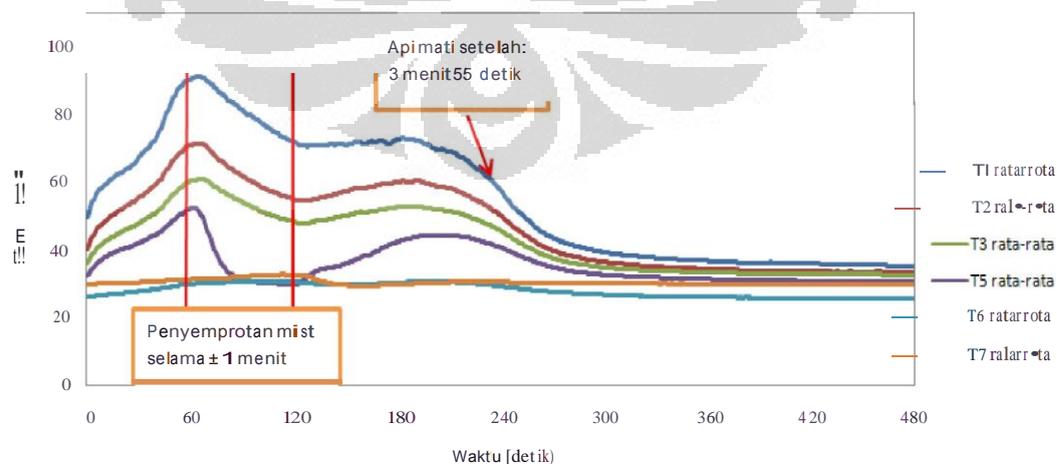


Gambar 5.2 Distribusi temperatur tanpa kabut air

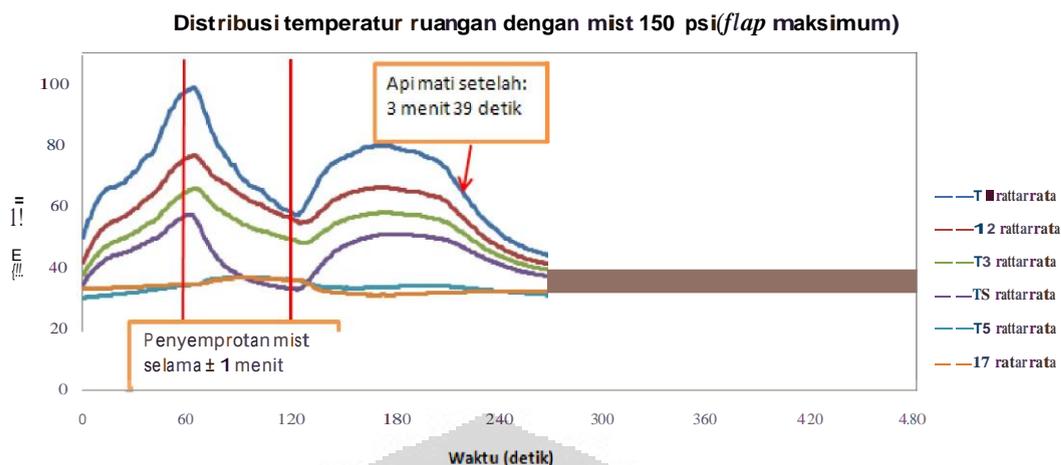
#### 5.2.2 Dengan jlap kabut air

Dengan penambahan kabut air, distribusi temperatur mengalami perubahan sebagai pengaruh dari masuknya kabut air ke dalam ruangan yang sebelumnya terjadi pembakaran pada *pool fire*. Ini terlihat dalam grafik di bawah ini.

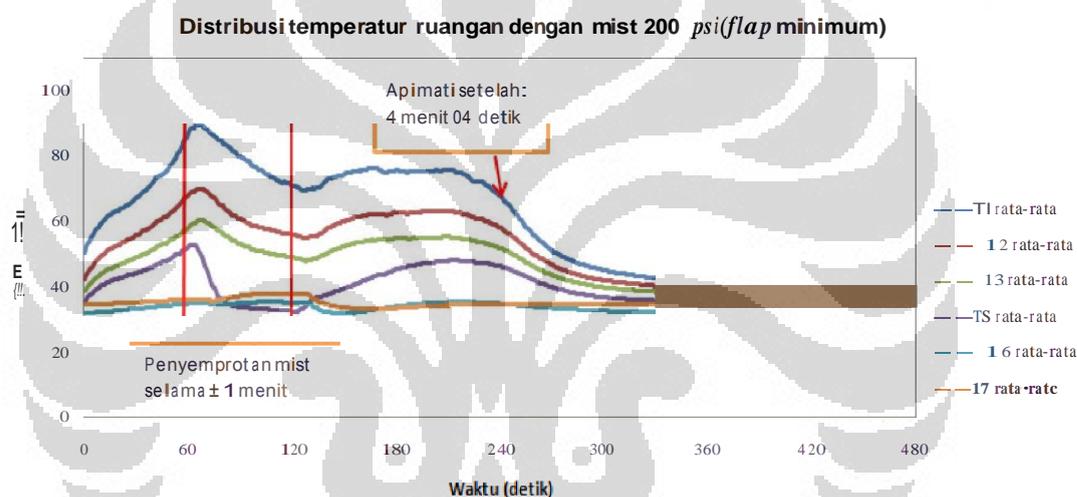
### Distribusi temperatur ruangan dengan mist 150 psi (f/ap minimum)



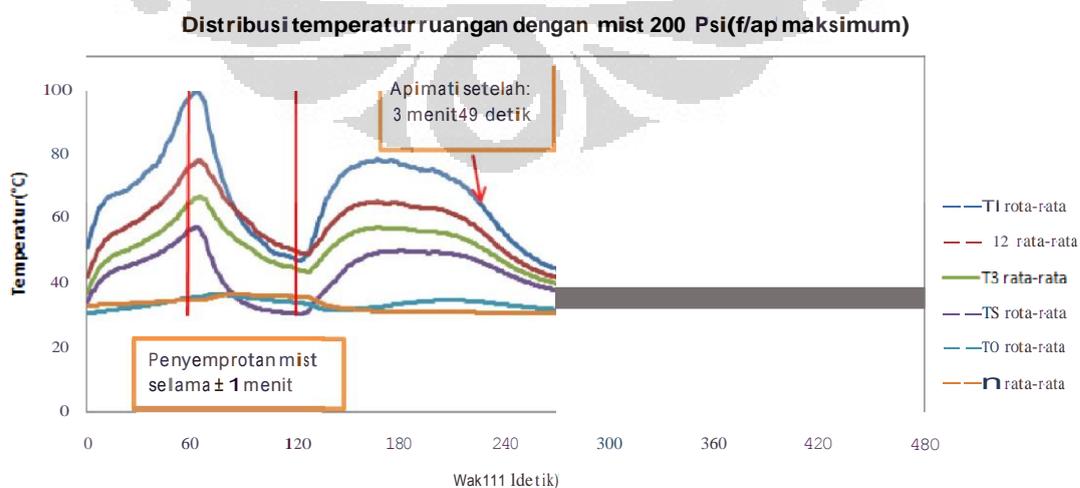
Gambar 5.3 Distribusi temperatur dengan flap minimum (150psi)



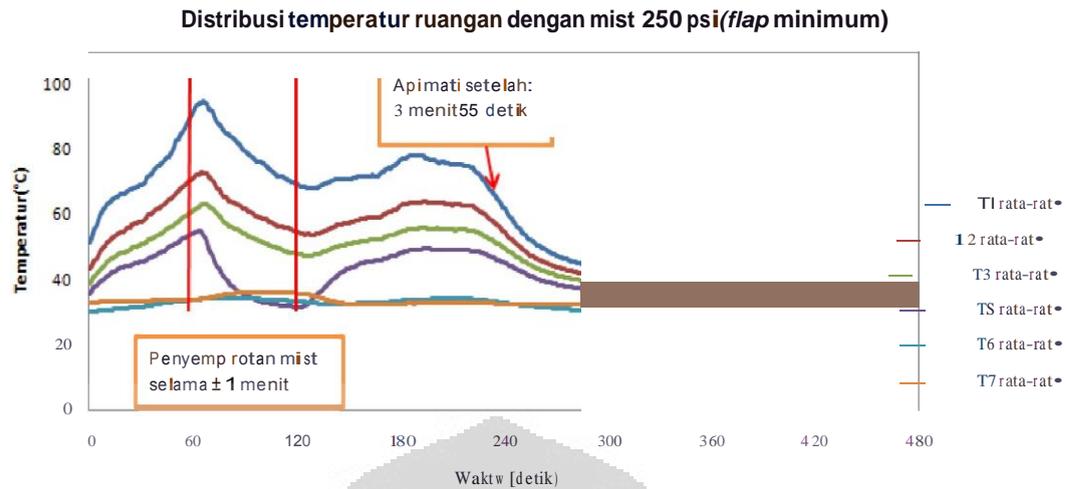
Gambar 5.4 Distribusi temperatur dengan flap maksimum (150psi)



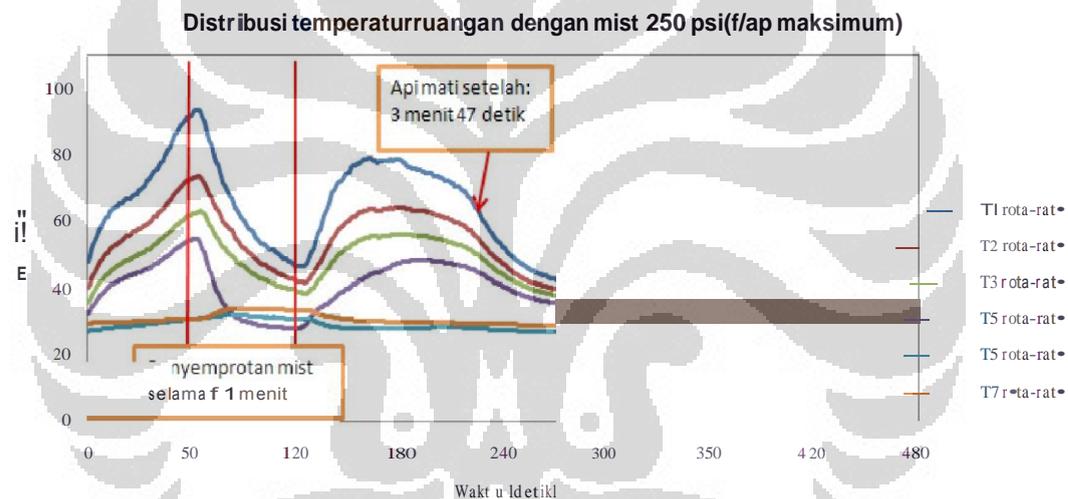
Gambar 5.5 Distribusi temperatur dengan flap minimum (200psi)



Gambar 5.6 Distribusi temperatur dengan flap maksimum (200psi)



Gambar 5.7 Distribusi temperatur dengan flap minimum (250psi)



Gambar 5.8 Distribusi temperatur dengan flap maksimum (250psi)

## 5.3 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

### 5.3.1 Laju Pembakaran Pool Fire Bahan Bakar Bensin

Untuk mengetahui pembakaran yang terjadi pada *pool fire* yang diuji, maka perlu dilakukan perhitungan dan pengujian terhadap laju produksi kalornya. Menghitung laju pembakaran  $\dot{m}''$  diperoleh dengan menggunakan rumus[5] :

$$\dot{m}'' = m_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D})$$

Untuk bahan bakar bensin nilai dari adalah  $m'' = 0.085 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ,  $k$  adalah  $2.7 \text{ m}^{-1}$  [5] dan  $LH_c$  adalah  $40100 \text{ KJ/kg}$  [6]. Dengan  $D = 6,3 \text{ em}$  maka laju pembakaran untuk *pool fire* tersebut :

$$m'' = 0.085 \text{ kg/m}^2\text{s} (1 - e^{-2.7 \times 0.063}),$$

$$m'' = 0.085 \text{ kg/m}^2\text{s} (1 - 0.8436)$$

$$m'' = 1.32956 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Setelah mendapatkan laju pembakaran, maka dilakukan perhitungan laju produksi kalor (HRR) untuk diameter *pool fire* tersebut :

$$Q_c = m'' LH_c (\text{kW/m}^2)$$

$$Q_c = 1.32956 \times 10^{-2} \text{ kg/m}^2\text{s} \times 40100 \text{ KJ/kg}$$

$$Q_c = 533.15356 \text{ kW/m}^2$$

### 5.3.2 Durasi pembakaran Pool Fire

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

$$t_b = \frac{4V}{\pi D^2 v}$$

dimana:

$V$  = volume dari bahan bakar cair ( $\text{m}^3$ )

$D$  = diameter dari *pool* (m)

$v$  = laju pembakaran (regression rate) ( $\text{m/sec}$ )  $= \frac{m}{p}$

Maka dengan memasukkan nilai-nilai parameter di atas,

$$t_b = \frac{4 \times 8 \times 10^{-6}}{3.14 \times (6.3 \times 10^{-2})^2 \times (1.32956 \times 10^{-2})}$$

$$t_b = \frac{3.2 \times 10^{-5}}{0.0125 \times 1.57 \times 10^{-2}}$$

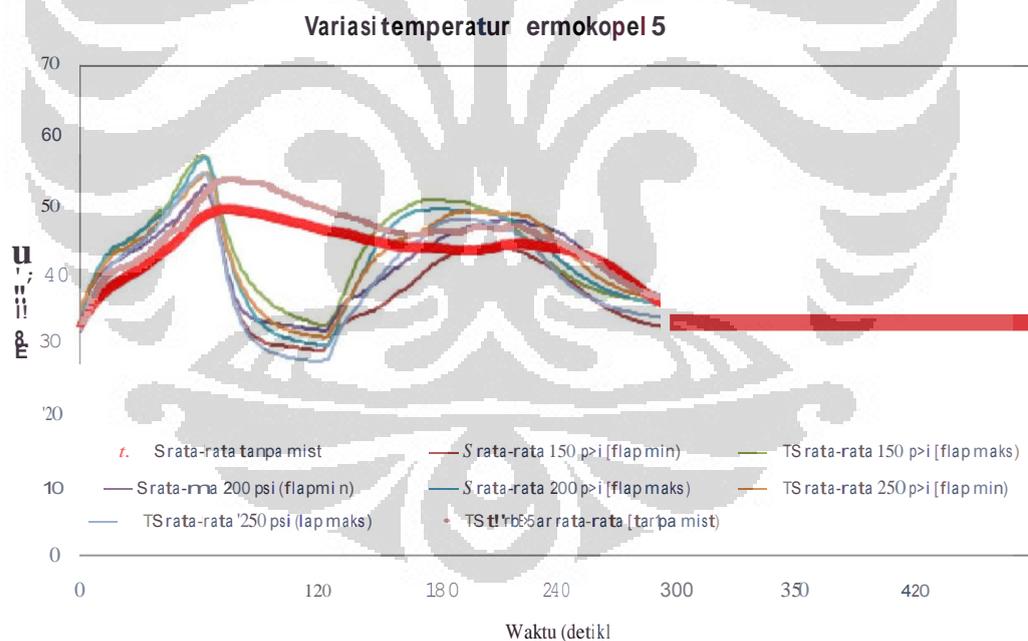
$$t_b = 163.05 \text{ s}$$

Secara perhitungan rumus di atas, durasi nyala api dari *pool fire* lebih cepat bila dibandingkan dengan durasi nyala api dari *pool fire* pada percobaan aktual.

## 5.4 UNJUKKERJA TIRAIKABUT AIR

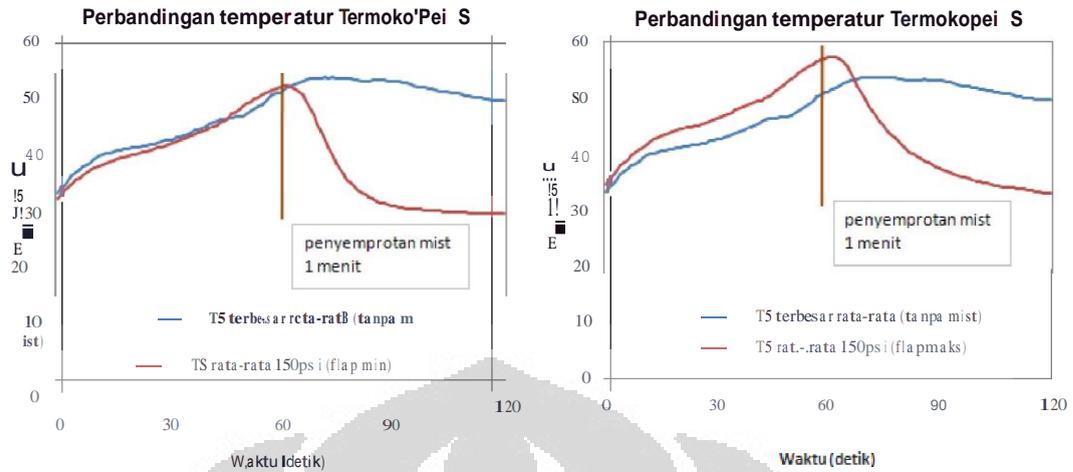
### 5.4.1 Perubahan Temperatur

Melalui percobaan dengan skala model ini, ingin diketahui pengaruh dari pemasangan tirai kabut air terhadap perubahan temperatur dari area yang dibatasi oleh kabut air tersebut, adapun perubahan yang dimaksud adalah pada temperatur termokopel 5 (T5). Pada pengujian dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan pemetaan temperatur ruangan model. Dari beberapa hasil pengujian di atas, dapat dilihat bahwa pemasangan tirai kabut air memberikan pengaruh terhadap perubahan temperatur yang terbaca pada termokopel 5 (T5).

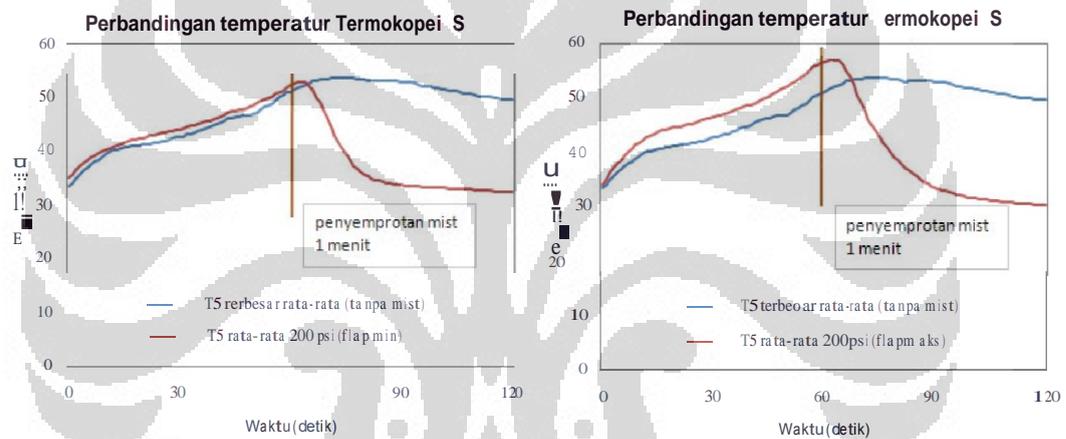


Gambar 5.9 Variasi temperatur T5

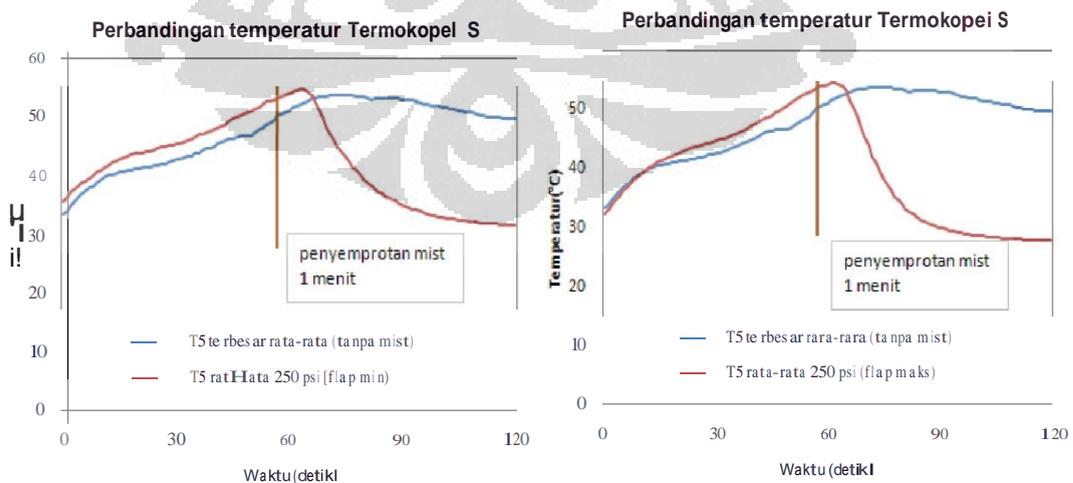
Bila dibandingkan dengan keadaan tanpa tirai kabut air, besar tekanan kerja *pressure vessel* dan bukaan flap pengarah memberikan perubahan terhadap temperatur T5 secara beragam. Seperti dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 5.10 Distribusi temperatur T5 (150 psi, flap min dan maks)



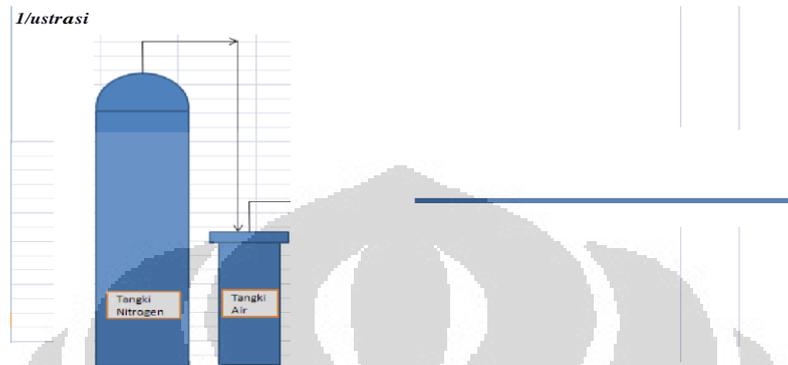
Gambar 5.11 Distribusi temperatur T5 (200 psi, flap min dan maks)



Gambar 5.12 Distribusi temperatur T5 (250 psi, flap min dan maks)

#### 5.4.2 Variasi massa air

Dengan penggunaan tekanan kerja yang bervariasi, didapatkan perbedaan jumlah massa air yang diberikan tiap-taip nosel.



Gambar 5.13 Posisi nosel terhadap *pressure vessel*

Massa misl rata-rata tiap nozzle terhadap tekanan pressl re vessel

Gambar 5.14 Distribusi massa air tiap tekanan kerja

Perubahan temperatur pada T5 merupakan akibat dari penambahan sejumlah kabut air yang dialirkan ke dalam model ruangan pada bagian yang sebelumnya merupakan area pembacaan temperatur termokopel 4 (T4). Adapun pola kabut air yang dialirkan adalah berbentuk menyerupai tirai. Ketika dialirkan ke dalam ruangan, dari sejumlah massa kabut air tersebut ada yang berubah fasa menjadi uap, jatuh dan membasahi lantai dan dinding serta keluar dari model ruangan melalui sisi yang terbuka.

Dengan asumsi bahwa sejumlah massa kabut air berubah fasa menjadi uap dan kalor yang terpapar terhadap termokopel berada pada luasan dengan diameter ujung termokopel ( $\pm 3$  mm), maka dapat dihitung jumlah kalor yang nantinya digunakan untuk menguapkan sejumlah massa air tersebut.

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3.14 \times (0.003)^2$$

$$A = 2.826 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$Q_c = 533.15356 \text{ kW/m}^2; Q_c = q/A$$

$$q = 533.15356 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \times 2.826 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 0.01507 \text{ kW}$$

dengan nilai kalor sebesar 0,01507 kW,  $L = 230,23$  kJ/kg (pada  $\pm 55$  °C)[7], maka laju massa air yang mampu diuapkan pada tekanan 1 atm, sebesar ;

$$q = rhXL$$

maka laju air yang mampu diuapkan,

$$0.01507 \text{ kW} = rh \times 230.23 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{0.01507 \text{ kW}}{230.23 \text{ kJ/kg}}, \text{ maka } rh = 6.54 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

Maka dengan penggunaan tirai kabut air selama 1 menit (60 detik), jumlah air yang mampu untuk diuapkan sebesar 0,0039 kg atau sekitar 3,9 gr. Jumlah ini hanya sekitar 2,28% bila dibandingkan dengan jumlah air yang dihasilkan ketiga nosel pada tekanan 150 psi (171,74 gr). Bahkan dengan tekanan 200 psi (216,58 gr) dan 250 psi (221,28 gr) massa air yang menguap hanya sekitar 1,81% dan 1,77%.

Massa air yang diuapkan inilah yang kemudian menyerap panas dari *pool fire* serta memberikan efek pengurangan (*enclosure effect*), yang kemudian mengakibatkan pembacaan temperatur T5 mengalami penurunan.

## 5.5 PENERAPAN TERHADAP SKALA AKTUAL

Pembuatan model ruangan yang digunakan selama percobaan, merupakan penskalaan dari ruangan aktual dengan ukuran panjang 6 m, lebar 3m dan tinggi  $\pm$  3m. Dengan penskalaan sebesar 1:60, maka hasil yang didapat selama percobaan dapat digunakan sebagai pendekatan untuk memperkirakan fenomena yang terjadi pada kejadian dalam skala aktual. Dari beberapa referensi telah dirumuskan hubungan antara besaran-besaran yang terukur pada percobaan untuk kemudian dipakai dalam perhitungan pada skala aktual[8,9]. Beberapa persamaan yang dipakai yaitu untuk mengetahui nilai kalor dari sumber panas yang digunakan pada skala aktual dan waktu yang dibutuhkan, baik itu untuk mencapai nilai temperatur berkembang penuh, waktu penyemprotan mist dan waktu pemadaman, tentunya ini disesuaikan dengan metoda percobaan pada skala model.

$$Q_M = Q_p \left( \frac{Y}{Y^5} \right) \quad (5.1)$$

$$t_p = t_M \left( \frac{G}{G^1} \right) \quad (5.1)$$

Dengan memasukkan nilai yang didapat melalui percobaan, maka dapat diketahui nilai dari panas dan waktu pada skala aktual;

$$Q_p = 533.15356 \text{ kW} \cdot \left( \frac{1}{60} \right)^5$$

$$Q_p = 14.8672 \times 10^6 \text{ kW}$$

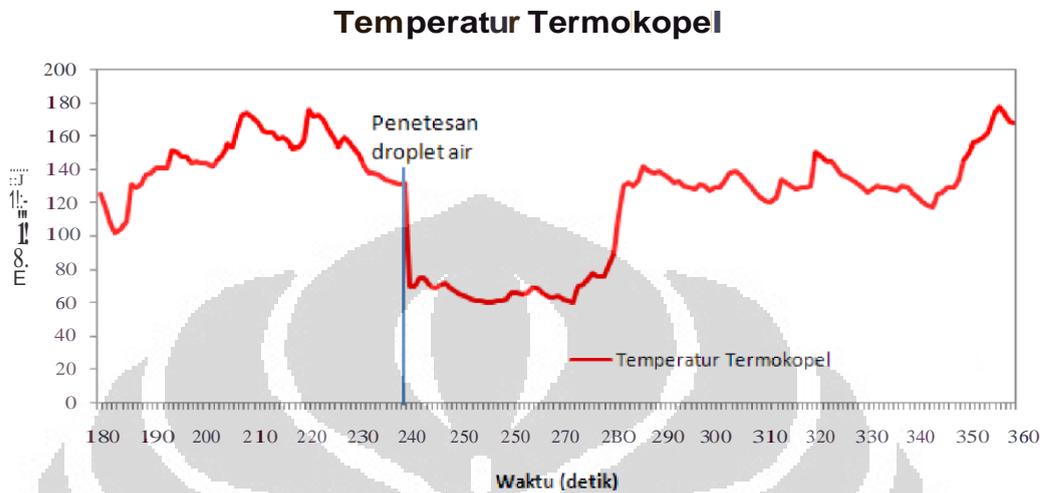
Dengan mengambil nilai untuk waktu pemadaman pada skala model, maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan pool fire dengan nilai kalor 14867200 kW untuk padam;

$$t_p = 262(60)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_p = 2029.44 \text{ detik}$$

Ada hal yang perlu diperhatikan dalam pengukuran lebih lanjut, yaitu pembacaan temperatur pada termokopel yang kurang akurat. Hal ini disebabkan adanya kemungkinan kabut air menutupi dengan menghasilkan lapisan pada termokopel ketika kabut air dialirkan ke dalam model ruangan. Sehingga ada kemungkinan bahwa temperatur dalam model ruangan tersebut lebih tinggi daripada yang terukur oleh termokopel. Dengan kata lain temperatur yang terukur

merupakan temperatur *wet bulb*. Ini dapat dibuktikan pada percobaan yang terpisah, yaitu dengan mengukur temperatur api lilin dengan termokopel yang sama yang digunakan pada penelitian ini. Pada percobaan diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 5.15 Pengujian Termokopel terhadap tetesan droplet air

# **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

## **6.1 KESIMPULAN**

Dari percobaan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain;

1. Performa kabut air sangat dipengaruhi oleh tiga hal yaitu tekanan kerja dan luasan kabut air sebagai fungsi bukaanflap.
2. Pengaruh *enclosure effect* oleh tirai kabut air berdampak pada durasi lamanya nyala api, bila dibandingkan dengan durasi tanpa kabut air.

## **6.2 SARAN**

Ada beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut;

1. Diperlukannya lebih banyak lagi titik-titik pengukuran (termokopel), untuk melihat distribusi temperatur ruangan yang lebih valid.
2. Perbaikan pada sistem penyalaaan api dan aktifasi bukaanflap, untuk mendapatkan data yang lebih akurat.
3. Pengambilan data temperatur untuk melihat pengaruh mist disarankan dilakukan berkelanjutan dalam hari yang sama.

## DAFTAR ACUAN

- [1] S, Stanwick, et al. A Cool mist Canadian Architect, v.48, no. 5, May 2003, pp. 46-47.
- [2] Z. Liu; A K. Kim. A Review of water mist fire suppression systems- fundamental studies. Journal of Fire Protection Engineering, v. 10, no.3, 2000, pp. 32-50.
- [3] [www.SprayConsultants.com](http://www.SprayConsultants.com)
- [4] [www.relab.cn/En\\_Spray\\_Nozzle\\_Detail.asp?small\\_id=6&title=Fine-Fogging-Nozzle](http://www.relab.cn/En_Spray_Nozzle_Detail.asp?small_id=6&title=Fine-Fogging-Nozzle)
- [5] Drysdale Dougal. An Introduction to fire Dynamics, 2nd Edition, 1998.
- [6] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition 2002, pp 3-26.
- [7] Cengel A Yunus; Boles A Michael. Thermodynamics, An Engineering Approach, 4<sup>th</sup> Edition 2002.
- [8] Model Scale Tunnel Fire Test. SP Swedish National Testing and Research Institute. SP Fire Technology, SP Report 2006: 56.
- [9] Quintere, G. James. Fundamentals of Fire Phenomena. John Wiley & Sons, 2006.