



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH SISTEM TIRAI KABUT AIR
TERHADAP PENURUNAN FLUKS KALOR DAN DISTRIBUSI
TEMPERATUR PADA KEBAKARAN KOMPARTEMEN**

SKRIPSI

**ARIAN DWI PUTRA
0706266903**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH SISTEM TIRAI KABUT AIR
TERHADAP PENURUNAN FLUKS KALOR DAN DISTRIBUSI
TEMPERATUR PADA KEBAKARAN KOMPARTEMEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**ARIAN DWI PUTRA
0706266903**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:


PENGARUH SISTEM TIRAI KABUT AIR TERHADAP PENURUNAN FLUKS KALOR DAN DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA KEBAKARAN KOMPARTEMEN

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 : ARIAN DWI PUTRA

NPM : 0706266903

Tanda Tangan :



Tanggal : 11 Juli 2011

PENGESAHAN

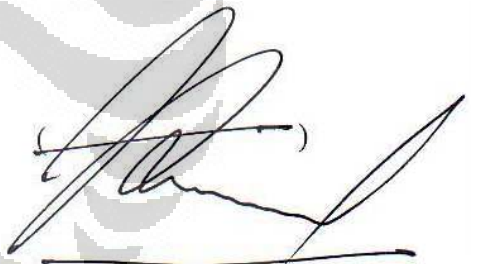
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : ARIAN DWI PUTRA
NPM : 0706266903
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : PENGARUH SISTEM TIRAI KABUT AIR
TERHADAP PENURUNAN FLUKS KALOR DAN DISTRIBUSI
TEMPERATUR PADA KEBAKARAN KOMPARTEMEN

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

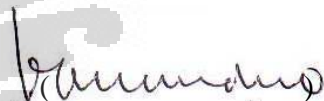
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc, PhD ()

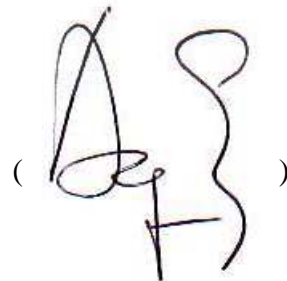
Penguji : Prof. Dr . Ir. I Made Kartika Diputra,
Dipl-Ing.



Penguji : Dr.Ir.H. Danardono AS, DEA.



Penguji : Dr. Ir. Agus S. Pamitran, M.Eng



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 11 Juli 2011

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur, penulis panjatkan ke Hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Sistem Tirai Kabut Air Terhadap Penurunan Fluks Kalor dan Distribusi Temperatur pada Kebakaran Kompartemen" ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan pada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW. Penulis menyadari bahwa penelitian tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik karena saran, bimbingan, bantuan dan informasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan ide-ide, kritik dan saran yang tentunya sangat membangun sekali. Selain itu beliau terus memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- (2) Stevanus Sagala yang telah memberikan saran, motivasi, dan membantu dalam pengambilan data.
- (3) Hendra Gunawan, Tri Cahyo Wibowo, Fakhurrozi, Hardono Subroto selaku rekan-rekan di lab pembakaran yang saling memberikan motivasi satu sama lain dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.
- (4) Bang Fahmi, Atse, Ricky, Welly, Malik, Ucup beserta seluruh teman-teman Penulis di gazebo, kosan, dan teman main bersama yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.
- (5) Seluruh karyawan staf Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah menyediakan dan meminjamkan peralatan serta sarana dalam pengerjaan alat.
- (6) Renny Permatasari yang selalu menemani dan memberikan semangat kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.
- (7) Kedua orang tua tercinta yang telah membesarkan penulis sampai saat ini dan selalu mendoakan agar kelak penulis dapat menjadi orang yang bermanfaat bagi sesamanya.

- (8) Tidak lupa kepada kakek dan nenek beserta keluarga besar di Prabumulih yang selalu mengingatkan penulis untuk menjaga kondisi badan dan kesehatan untuk tidak lupa makan atau sarapan.
- (9) Beserta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari masih banyak ketidaksempurnaan dalam penyusunan skripsi ini, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak agar kelak dapat terus membaik di masa yang akan datang. Demikian skripsi ini dibuat sebagaimana mestinya dan semoga memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Depok, 11 Juli 2011

Penulis

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

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

Nama : ARIAN DWI PUTRA
NPM : 0706266903
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 :

**PENGARUH SISTEM TIRAI KABUT AIR
TERHADAP PENURUNAN FLUKS KALOR DAN DISTRIBUSI
TEMPERATUR PADA KEBAKARAN KOMPARTEMEN**


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.

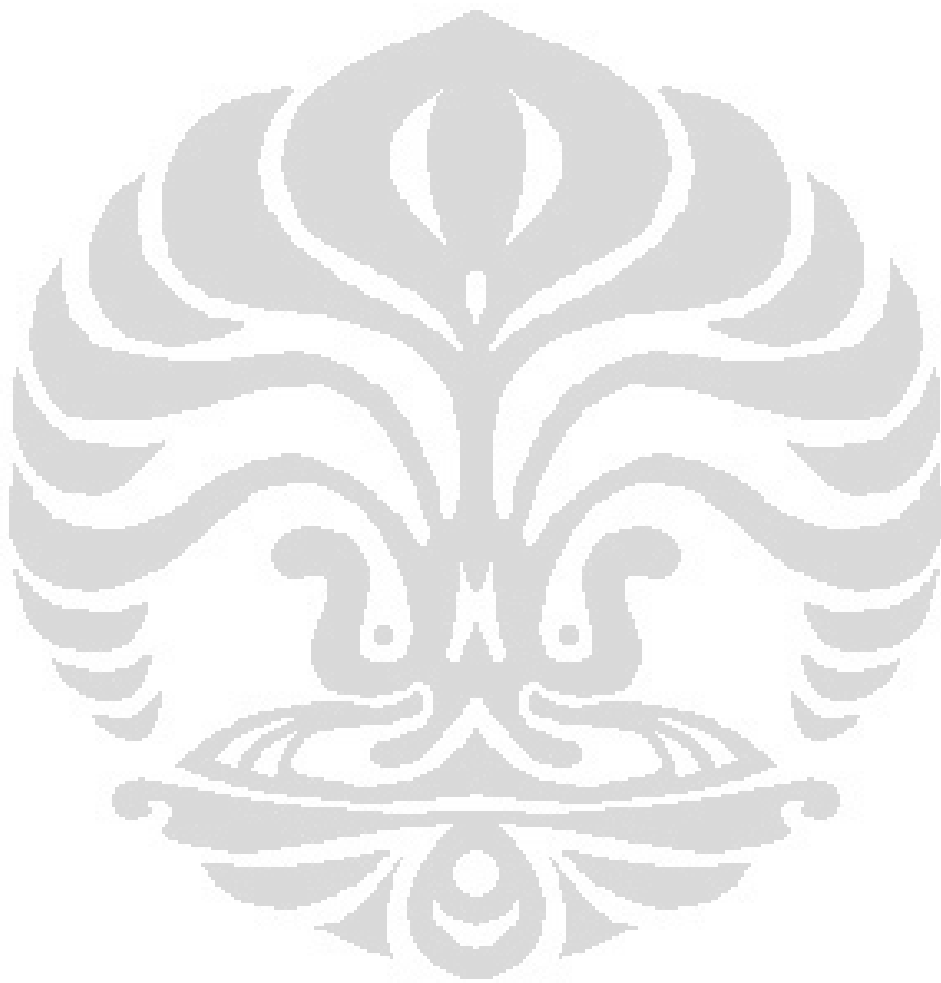
Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Juli 2011

Yang menyatakan



(Arian Dwi Putra)



ABSTRAK

Nama : ARIAN DWI PUTRA
Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul : PENGARUH SISTEM TIRAI KABUT AIR TERHADAP
PENURUNAN FLUKS KALOR DAN DISTRIBUSI
TEMPERATUR PADA KEBAKARAN KOMPARTEMEN.

Dewasa ini banyak studi yang mempelajari tentang sistem kabut air, berbagai eksperimen dilakukan dengan berbagai tujuan, seperti yang telah dilakukan oleh Jean-Marie Buchlin (2005) yang mengkaji tentang pengaruh *water mist* sebagai perisai panas dari tangki penimbunan bensin, Y.Gao, P.Liu, S.S.Li, dan W.K.Chow (2009) membahas tentang pengaruh *water mist* terhadap sebuah lingkungan yang dipengaruhi oleh *pool fire*, dan juga interaksi *water mist* terhadap *pool fire* yang dilakukan oleh Wang Xishi, Liao Guangxuan, Yao Bin, dan Fan Weicheng (2000). Kajian tentang sistem tirai kabut air dalam suatu kompartemen api ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh sistem tirai kabut air dalam menghalangi panas yang dihasilkan dari *pool fire* di dalam suatu ruangan. Penggunaan kabut air dalam penelitian ini tidak untuk pemadaman api secara langsung dengan menyemprotkan kabut air ke pusat nyala api melainkan sebagai penghalang panas yang berupa tirai kabut air dan diletakkan jauh dari sumber api. Penelitian ini menggunakan suatu model kompartemen berukuran 1m x 0,5m x 0,5m yang terbuat dari *Calcium Silicad* sebagai tempat terjadinya kebakaran dengan salah satu sisinya yang terbuka. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah bensin premium sebanyak 8 ml yang ditempatkan pada suatu wadah dengan diameter 6.3 cm dengan tinggi 4.3 cm. Dalam penelitian ini dibahas tentang pengaruh penggunaan kabut air dalam suatu kebakaran ruangan seperti: perbandingan nilai heat flux dan perbandingan nilai temperatur ruangan dimana variasi data dilakukan dengan melakukan pengukuran nilai heat flux dan temperatur ruangan sebelum dan sesudah pengaplikasian kabut air. Transduser *heat flux* yang digunakan bertipe Schmidt-Boelter yang dimanufaktur oleh *Medtherm Corporation* dengan no.seri 64-10SB-20. Dari hasil pengujian penggunaan sistem kabut air dihasilkan suatu grafik temperatur dan *heat flux* dengan dan tanpa pengaplikasian kabut air. Data dan hasil grafik yang diperoleh dari hasil eksperimen akan dibandingkan dengan hasil simulasi dengan menggunakan FDS (*Fire Dynamic Simulator*) pada kondisi yang kurang lebih sama dengan eksperimen.

Kata kunci : Tirai kabut air, *compartment fire*, *heat flux*, *pool fire*, distribusi temperatur

ABSTRACT

Name : ARIAN DWI PUTRA
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING
Title : EFFECT OF WATERMIST CURTAIN SYSTEM ON
REDUCTION OF HEAT FLUX AND TEMPERATURE
DISTRIBUTION IN A COMPARTMENT FIRE

In this recent years, a lot of study performed to know about water mist system, varied experiments with various objective are done, like Jean –Marie Buchlin (2005) who studied about thermal shielding by spray water curtain to a storage tank fire, Y.Gao, P.Liu, S.S.Li, dan W.K.Chow (2009) studied about the effect of water mist to an environment iduced by pool fire, and interaction of water mist to a pool fire by Wang Xishi, Liao Guangxuan, Yao Bin, dan Fan Weicheng (2000). A study about water mist curtain in a compartment fire is performed to know about the enclosure effect of the water mist curtain to suppress the heat from a pool fire in a compartment. In this research the water mist system isn't designed to extinguish the fire directly by spraying it to the center of the fire but it is designed to be a barrier for the heat from the fire and it is placed far from the fire source. We used a compartment fire model (1m x 0,5m x 0,5m) that is made from Calcium Silicad as a place of fire case with one opened side. The fuel that is used in this research is gasoline with 8 mL of volume and the pool diameter is 6,3 cm and 4,3 cm height. The heat flux and the distribution of temperature are measured in condition before and after using watermist system. Heat flux transducer in this experiment is Schmidt-Boelter type manufactured by Medtherm Corporation with serial number 64-10SB-20. The result of the experiment shows a graphic of heat flux and temperature. The data and the graphic obtained are compared with the result from FDS (Fire Dynamic Simulator) with the same condition of the experiment.

Key Words:

Water mist curtain, compartment fire, heat flux, pool fire, temperature distribution

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Api dan Kebakaran	6
2.2 Penskalaan	8
2.3 Pool Fire.....	8
2.3.1 Pendahuluan.....	8
2.3.2 Laju pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) Pool Fire.....	9
2.3.3 Durasi pembakaran Pool Fire.....	10
2.3.4 Heat Flux Pool Fire.....	10
2.4 Compartment Fire	11
2.5 Water Mist	10
2.5.1 Pengenalan Water Mist.....	12
2.5.2 Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air.....	13
2.5.3 Mekanisme Pendinginan Oleh Kabut Air	14
2.5.4 Efek Penghalangan (<i>enclosure effect</i>).....	14
2.5.5 Metoda Pembuatan Kabut Air	15
2.6 Heat	15
2.7 Radiasi.....	17
2.8 Konveksi	17
2.8.1 Pendahuluan.....	17
2.8.2 Korelasi Dittus-Boelter untuk mencari nilai koefisien konveksi “h”	18
2.9 Perhitungan Heat Flux	19
2.10 Sensor Heat Flux.....	19
2.11 Kalor Sensibel dan Kalor Laten.....	21
2.12 Penguapan	23
BAB 3 METODOLOGI PENGUJIAN	
3.1 Tujuan Pengujian	27
3.2 Komponen Pengujian	27
3.2.1 Model Kompartemen Api	27
3.2.2 Pipet Mohr	28
3.2.3 Wadah <i>pool fire</i>	29
3.2.4 Pemantik api.....	29

3.2.5	Nosel Kabut Air dan Dudukan Nosel	30
3.2.7	Data Akuisisi.....	31
3.2.8	Heat Flux Sensor.....	32
3.2.9	Tabung Nitrogen dan Pressure Vessel	33
3.3	Variasi Pengambilan Data	33
3.4	Prosedur Pengambilan Data.....	34
3.4.1	Prosedur pengambilan data tanpa water mist.....	36
3.4.2	Prosedur pengambilan data dengan water mist.....	36
3.4.3	Pengukuran flow rate tiap nozzle.....	37
BAB 4 HASIL DAN ANALISA		
4.1	Hasil Pengujian.....	39
4.2	Hasil pengujian tanpa water mist	39
4.2.1	Hasil pengujian tanpa <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> di titik 1 ..	40
4.2.2	Hasil pengujian tanpa <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> di titik 2 ..	42
4.3	Hasil Pengujian dengan water mist tekanan 150 Psi.....	43
4.3.1	Hasil pengujian dengan <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> 1	43
4.3.2	Hasil pengujian dengan <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> 2.....	44
4.3.3	Hasil pengujian dengan <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i>	45
4.4	Hasil Pengujian dengan water mist tekanan 200 Psi.....	46
4.4.1	Hasil pengujian dengan <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> 1	47
4.4.2	Hasil pengujian dengan <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> 2.....	48
4.4.3	Hasil pengujian dengan <i>water mist</i> dengan transduser <i>heat flux</i> 3.....	49
4.5	Presentase pengurangan heat flux	50
4.6	Hasil Pengukuran Flow Rate Tiap Nozzle	50
4.6.1	Hasil pengukuran flow rate dengan tekanan 150 Psi	51
4.6.2	Hasil pengukuran flow rate dengan tekanan 150 Psi.....	52
4.7	Analisa hasil pengujian.....	52
4.7.1	Analisa hasil pengujian tanpa water mist	53
4.7.2	Analisa hasil pengujian dengan water mist tekanan 150 Psi	53
4.7.3	Analisa hasil pengujian dengan water mist tekanan 200 Psi	54
4.8	Hasil Simulasi FDS	54
4.8.1	Skenario simulasi FDS	54
4.8.2	Slice temperatur searah Sumbu.X pada simulasi FDS	55
4.8.3	Slice temperatur searah Sumbu.Y didekat transduser <i>heat flux</i> pada simulasi FDS	56
4.8.4	Distribusi Temperatur pada simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator)...	58
4.8.5	Grafik heat flux pada simulasi FDS.....	59
4.9	Perhitungan karakteristik pool fire	60
4.10	Penerapan terhadap skala aktual.....	62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran.....	63

DAFTAR ACUAN
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Perbandingan heat flux konveksi dan radiasi berdasarkan pool diameter 11
- Gambar 2.2 Tingkatan penambahan api 12
- Gambar 2.3 Heat flux sensor tipe Schmidt-Boelter dengan sistem pendingin 20
- Gambar.2.4 Berbagai jenis transduser heat flux Medtherm berdasarkan mounting dan keberadaan sistem pendinginnya. 21
- Gambar 2.5 Grafik perubahan fase tiap zat. 22
- Gambar 2.6 Proses penguapan pada ruang tertutup 24
- Gambar 2.7 Kondisi ruang tertutup dalam kesetimbangan 24
- Gambar 2.8 Partikel/molekul dengan energi yang lebih besar dari rata-rata "melepaskan diri" dari ikatan 25
- Gambar 3.1 Model kompartemen api 25
- Gambar 3.2 Pipet Mohr 25
- Gambar 3.3 Wadah *pool fire* 26
- Gambar 3.4 Prosedur menyalakan *pool fire* dengan pemantik api.26
- Gambar 3.5 Nozzle water mist beserta dudukannya. 27
- Gambar 3.6 Data Akuisisi 28
- Gambar 3.7 Heat flux meter 29
- Gambar.3.8 Peletakan heat flux meter pada model kompartemen 29
- Gambar.3.9 Tabung nitrogen dan pressure vessel yan digunakan dalam pengujian 30
- Gambar.3.10 Set up pengujian di Lab.Fire Safety Departemen Teknik Mesin. 31
- Gambar.3.11 Set up eksperimen. 32
- Gambar 3.12 Pengambilan data flow rate pada tiap nozzle 35
- Gambar.4.1 Grafik konversi temperatur($^{\circ}\text{C}$) ke tegangan(mV) 39
- Gambar.4.2 Grafik konversi tegangan(mV) ke *heat flux*(Kw.m^{-2}) 40
- Gambar.4.3 Grafik distribusi temperatur – pengujian tanpa *water mist* 41
- Gambar.4.4 Grafik *heat flux* – pengujian tanpa *water mist* 41
- Gambar.4.5 Grafik distribusi temperatur – pengujian tanpa *water mist* 42
- Gambar.4.6 Grafik *heat flux* – pengujian tanpa *water mist* 42

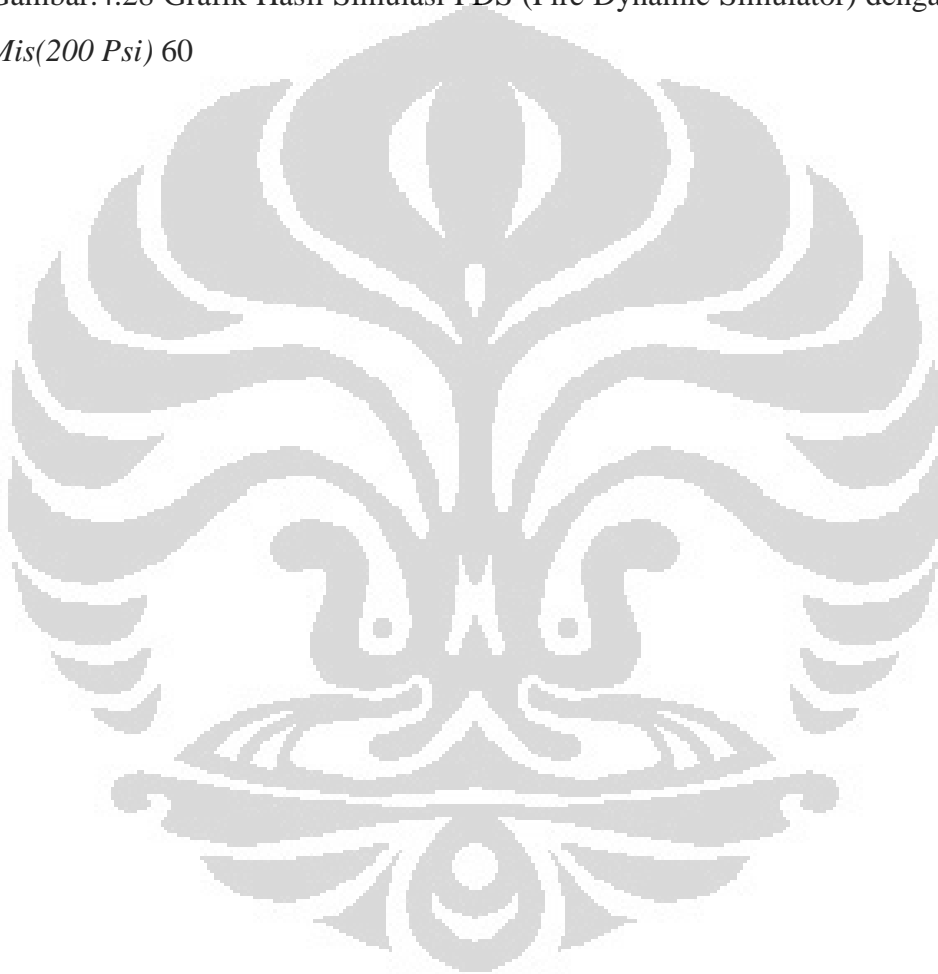
- Gambar.4.7 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (150 Psi)
43
- Gambar.4.8 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (150 Psi - transduser
heat flux di titik 1) 44
- Gambar.4.9 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (150 Psi)
44
- Gambar.4.10 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (150 Psi - transduser
heat flux di titik 2) 45
- Gambar.4.11 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (150 Psi)
45
- Gambar.4.12 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (150 Psi - transduser
heat flux di titik 3) 46
- Gambar.4.13 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (200 Psi)
47
- Gambar.4.14 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (200 Psi - transduser
heat flux di titik 1) 47
- Gambar.4.15 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (200 Psi)
48
- Gambar.4.16 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (200 Psi - transduser
heat flux di titik 2) 48
- Gambar.4.17 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (200 Psi)
49
- Gambar.4.18 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (200 Psi - transduser
heat flux di titik 3) 49
- Gambar.4.19 Hasil Pengukuran Flow Rate dengan Tekanan 150 Psi 51
- Gambar.4.20 Hasil Pengukuran Flow Rate dengan Tekanan 200 Psi 52
- Gambar.4.21 Skenario pada software FDS (Fire Dynamic Simulator) 55
- Gambar.4.22 Skenario penyalaan *water mist* pada software FDS (Fire Dynamic
Simulator) 55
- Gambar.4.23 *Slice* temperatur searah sumbu.X sebelum *water mist* dinyalakan 56
- Gambar.4.24 *Slice* temperatur searah sumbu.X setelah *water mist* dinyalakan 57

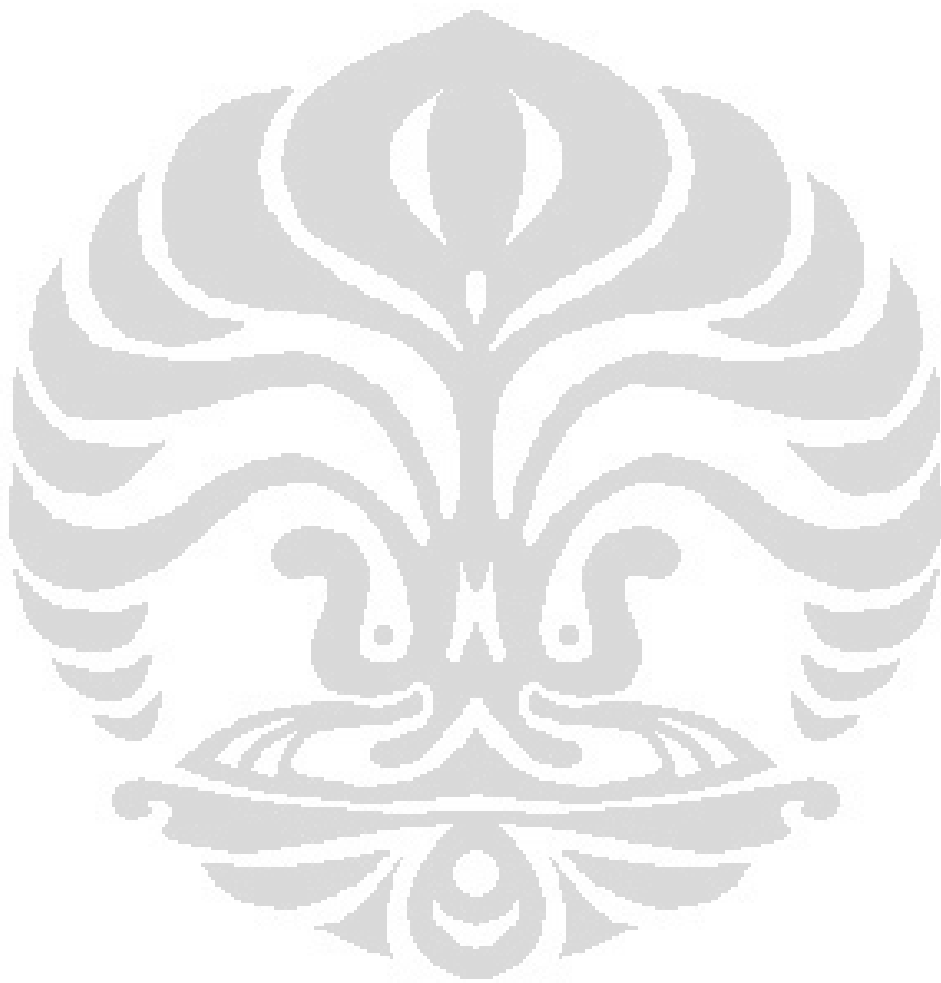
Gambar.4.25 Skenario penyalaan *water mist* pada software FDS (Fire Dynamic Simulator) 57

Gambar.4.26 Skenario penyalaan *water mist* pada software FDS (Fire Dynamic Simulator)58

Gambar.4.27 Grafik Temperatur pada Simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator) 58

Gambar.4.28 Grafik Hasil Simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator) dengan *Water Mis(200 Psi)* 60





DAFTAR TABEL

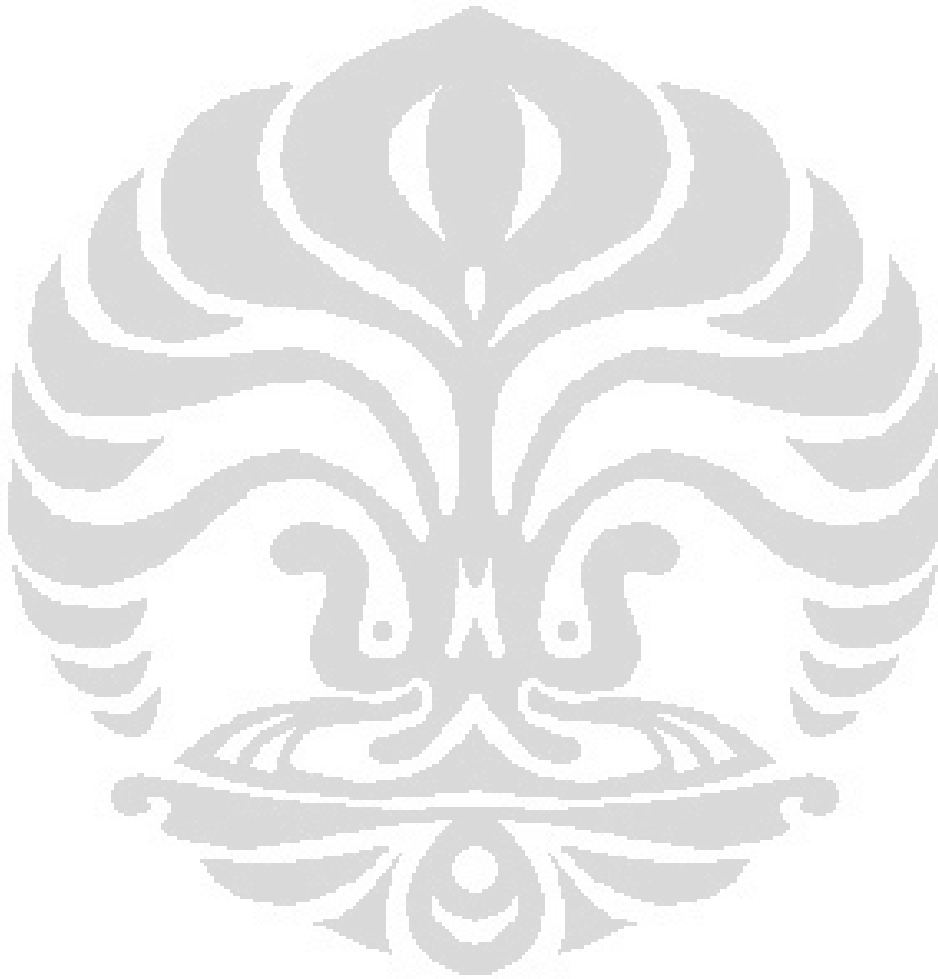
Tabel 2.1 Daftar variabel yang diskalakan 8

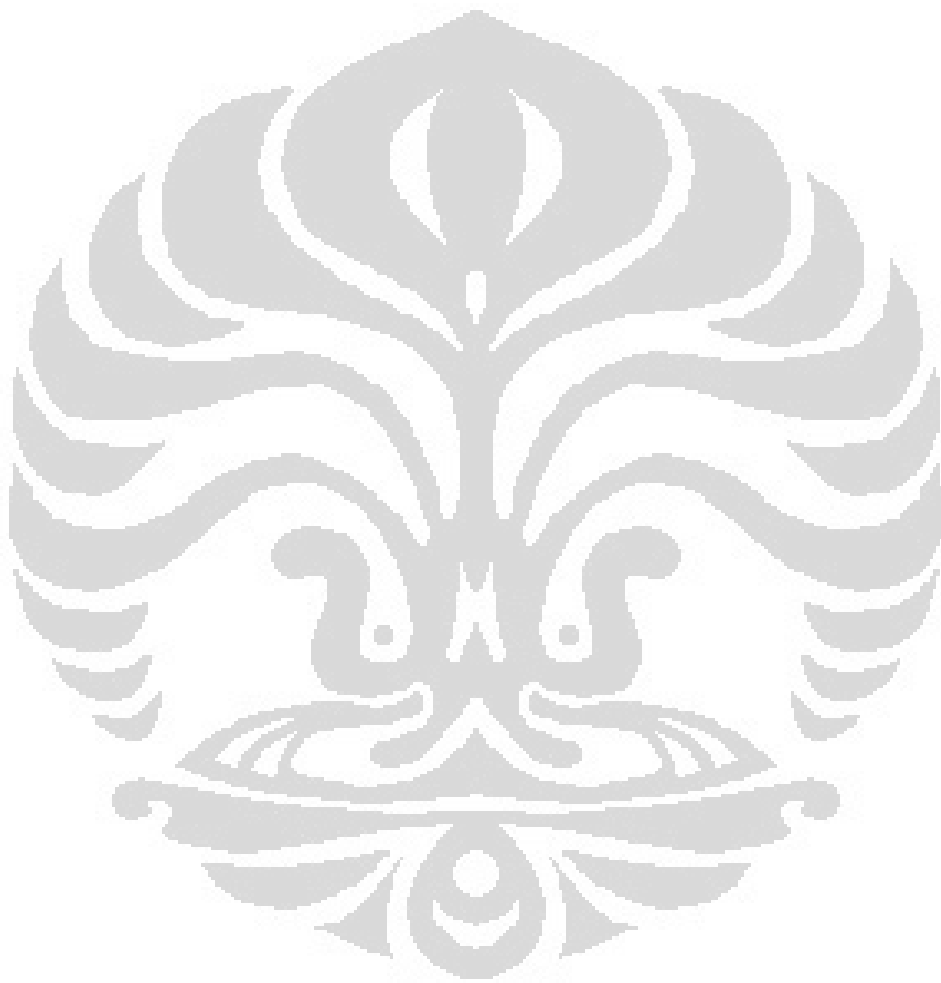
Tabel 2.2 Sifat-sifat flame pada pool fire 9

Tabel 2.3 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet (volume air 0.001m^3) 13

Tabel 2.4 Perbandingan *heat flux* pada kondisi real 16

Tabel.4.1 Persentase Pengurangan Heat Flux pada Tekanan 150 dan 200 Psi 50





BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sejak pertama kali versi Protokol Montreal diperkenalkan pada tahun 1987, hal itu menjadi komitmen internasional untuk melindungi lapisan ozon bumi dari kerusakan yang disebabkan oleh penggunaan fluorokarbon diklorinasi (CFC). Komitmen ini telah mendorong hampir satu dekade pengujian dalam mengembangkan suatu teknologi pencegah kebakaran alternatif untuk menggantikan klorin atau bromin yang dikenal sebagai halons.

Dari sinilah muncul banyak penelitian *water mist* yang digunakan dalam memadamkan api. *Water mist* didefinisikan sebagai semprotan air yang memiliki ukuran droplet antara 30 sampai 300 μm [6]. *Water mist* dianggap tidak hanya sebuah metode yang sesuai dan efektif, tetapi juga sebagai cara untuk menghindari masalah biaya pemadaman kebakaran [7]. Oleh karena itu, penggunaan *water mist* untuk pemadaman api saat ini menerima perhatian sebagai salah satu metode yang potensial untuk pengganti Halon 1301.

Banyak studi tentang penerapan *water mist* dalam mencegah kebakaran seperti kabin pesawat, radar militer, ruang komputer, lemari peralatan komunikasi dan kapal ruang, telah dilakukan di Kanada, Inggris dan Amerika angkatan laut [8]. Khusus mengenai interaksi antara *water mist* dengan *pool fire* telah dilakukan oleh Wang Xishi, Liao Guangxuan, Yao Bin dan Fan Weicheng (2000). Mereka melihat bagaimana perubahan temperatur dan *radiant heat flux* setelah bahan bakar (*heptane, ethanol dan kerosene*) disiram oleh *water mist* digunakan pula *thermograph* untuk melihat persebaran termal di sekitar *pool fire*.

Telah banyak studi yang dilakukan dengan memanfaatkan *water mist* sebagai pemadam atau tujuan lainnya seperti pada beberapa penelitian di atas. Penelitian ini mengeksplorasi lebih jauh mengenai pemanfaatan *water mist*. Dalam penelitian ini dikaji seberapa besar pengaruh *water mist* dalam mengurangi panas kebakaran sebagai akibat dari *enclosure effect water mist* tersebut. Oleh karena itu, serangkaian pengukuran dan pengamatan dilakukan

untuk menyelidiki pengaruh tirai kabut air terhadap kebakaran kompartemen dengan *pool fire* sebagai sumber panasnya. *Heat flux* dan distribusi temperatur menjadi parameter utama dalam penelitian ini. Sensor *heat flux* yang digunakan bertipe Schmidt-Boelter yang dimanufaktur oleh *Medtherm Corporation* dengan no.seri 64-10SB-20. Pengukuran *heat flux* dan temperatur dilakukan sebelum dan sesudah penerapan kabut air untuk melihat pengaruh tirai kabut air terhadap pengurangan *heat flux* dari *pool fire* dalam kompartemen. Adapun variasi yang dilakukan ialah tekanan kerja pada pressure vessel sebesar 150 Psi dan 200 Psi serta peletakan *heat flux* pada kompartemen.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar *enclosure effect* dari sistem tirai kabut air dapat menghalangi panas *pool fire* pada suatu model kompartemen api. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengukuran *heat flux* dan temperatur pada sebuah model kompartemen api. Adapun kompartemen yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model skala laboratorium berukuran panjang x lebar x tinggi sama dengan 1 m x 0,5 m x 0,5 m. Dalam penelitian ini sistem kabut air dirancang bukan untuk memadamkan api melainkan digunakan sebagai tirai yang dapat mengurangi panas dari api. Hasil dari pengujian yang dilakukan di laboratorium akan dibandingkan dengan hasil yang didapat dari simulasi *software FDS(Fire Dynamic Simulator)*.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Mengetahui seberapa besar *enclosure effect* dari water mist dalam mengurangi panas *pool fire*.
2. Mengetahui karakteristik *heat flux* dan distribusi temperatur ruangan kompartemen sebagai pengaruh nyala api dari *pool fire*.

3. Melihat perubahan *heat flux* dan distribusi temperatur pada model kompartemen sebagai akibat dari *enclosure effect* sistem tirai kabut dalam menghalangi panas *pool fire*.
4. Melakukan perbandingan hasil eksperimen dengan hasil simulasi FDS(*Fire Dynamic Simulator*).

1.4 PEMBATAKAN MASALAH

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Mengukur *heat flux* dan temperatur pada model kompartemen api berukuran panjang x lebar x tinggi sama dengan 1 m x 0,5 m x 0,5 m.
2. Variasi tekanan air yang digunakan pada nosel kabut air ini ialah kurang lebih 150 psi dan 200 psi yang terbaca pada *pressure gauge* keluaran dari *pressure vessel*.
3. Nosel yang digunakan bermerek *Mist Nozzle* APO TW-3 berjumlah 3 buah dengan jarak antar nosel 15 cm. Jarak nosel ke *pool fire* ialah kurang lebih 63 cm yang tepat berada di atas termokopel empat.
4. Water mist hasil keluaran *nozzle* sengaja diarahkan masuk ke dalam kompartemen menggunakan *flap* berupa plat tipis agar sebagian besar *water mist* tersebar ke dalam kompartemen dan diharapkan *water mist* dapat membentuk tirai selebar *flap* tersebut.
5. Tidak dilakukan perhitungan *pressure drop* pada sistem pemipaan dari *pressure vessel* menuju *nozzle*.
6. Sumber api yang diuji terbuat dari bahan-bahan yang umum menyebabkan tipe kebakaran jenis *flaming* yaitu *poolfire* dengan bahan bakar berupa 8 mL bensin premium dengan wadah *pool fire* berdiameter 63 cm dan tinggi 43 cm.
7. Membandingkan *heat flux* dan temperatur pada kondisi tanpa dan dengan menggunakan water mist dengan variasi tekanan dari *pressure vessel* dan titik peletakan *heat flux* sebagai berikut:
 - Variasi tekanan dari *pressure vessel*: 150 Psi dan 200 Psi.

- Variasi peletakan *heat flux* di ujung sisi kompartemen yang terbuka : 3 cm dari atas kompartemen dan 12,5 cm dari samping kiri, 3 cm dari atas kompartemen dan 50 cm dari samping kiri, dan 3 cm dari atas kompartemen dan 12,5 cm dari samping kanan.
- 8. Membandingkan data eksperimen dengan data hasil simulasi FDS(*Fire Dynamic Simulator*).

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan ialah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mencari teori-teori dasar pada jurnal, skripsi, artikel-artikel di internet yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.
2. Pengambilan data *heat flux* dan temperatur
Melakukan eksperimen dan pengambilan data di Laboratorium Fire Safety Departemen Teknik Mesin FTUI dengan variasi tekanan kerja sistem kabut air dan peletakan *heat flux*.
3. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian
Melakukan analisa terhadap grafik *heat flux* dan distribusi temperatur yang didapat melalui eksperimen. Melakukan perbandingan data hasil eksperimen dengan data yang didapat dari hasil simulasi FDS(*Fire Dynamic Simulator*). Selanjutnya ditariklah kesimpulan dari analisa yang didapat pada kedua hasil eksperimen dan simulasi FDS(*Fire Dynamic Simulator*).
4. Pengambilan kesimpulan akhir dari keseluruhan kegiatan penelitian ini yang dibuat mengacu kepada tujuan penelitian.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan skripsi ini dilakukan sesuai dengan urutan bab-bab berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang yang melandasi masalah dalam penelitian ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari penelitian ini. Adapun dasar teori yang terdapat dalam penelitian ini yaitu mengenai api dan kebakaran, *pool fire*, *compartment fire*, *water mist*, *heat*, *heat flux*, *water mist*, sensor *heat flux*, radiasi, konveksi, kalor sensibel dan kalor laten, serta penguapan. proses penguapan, similaritas dan analisis dimensional, radiasi, dan konveksi. Tinjauan pustaka ini diambil dari jurnal, buku-buku, dan artikel-artikel di internet.

BAB III METODOLOGI PENGUJIAN

Bab ini berisi tentang komponen-komponen pengujian, set up pengujian yang dilakukan, dan prosedur dalam pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi tentang data-data berupa grafik heat flux dan temperatur hasil pengujian serta penjelasan mengenai analisa terhadap hasil pengujian. Selanjutnya data hasil pengujian tersebut akan dibandingkan dengan data yang didapat dari hasil simulasi FDS(Fire Dynamic Simulator).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian beserta saran terhadap penelitian lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 API DAN KEBAKARAN

Api terjadi karena oksidasi cepat dari suatu objek material dalam proses pembakaran kiwiami, yang menghasilkan panas, cahaya, dan berbagai hasil reaksi kimia lainnya [1]. Api dapat terjadi bersama dengan reaktan campuran atau reaktan yang mengalami difusi bersamaan [2].

Api terdiri dari empat elemen utama, yakni heat/panas, oksigen, bahan bakar, dan reaksi kimia. Api akan mulai padam ketika minimal salah satu dari keempat bagian tersebut dihilangkan. Api berasal dari proses oksidasi 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 [3].

Kebakaran sendiri merupakan peristiwa terbakarnya material baik itu padat, cair atau gas dalam skala besar yang disertai terbentuknya asap dimana api pembakarannya tidak terkendali dan sulit diprediksi. Semakin banyak material yang terbakar maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya penyebaran nyala api akibat kalor pembakaran yang dilepaskannya.

Di Indonesia sendiri kebakaran sudah seperti layaknya meminum obat yakni tiga kali sehari. Menurut stastistik kebakaran di DKI Jakarta tercatat sebagai berikut:

- Pada tahun 1990 terjadi 738 kasus kebakaran
- Pada tahun 1991 terjadi 911 kasus kebakaran
- Pada tahun 1992 terjadi 654 kasus kebakaran
- Pada tahun 1993 terjadi 789 kasus kebakaran
- Pada tahun 1994 terjadi 929 kasus kebakaran

Kasus kebakaran ini bertambah tinggi ketika tahun 1998 - 2000 terjadi berbagai kerusuhan yang banyak mengakibatkan kerusakan dan kebakaran [5]. Sampai tanggal 20 April 2011 yang lalu telah terjadi 203 kali peristiwa kebakaran di Wilayah DKI Jakarta, dengan perkiraan kerugian material sebesar Rp. 33.344.330.000,00,- (Data statistik kebakaran terhitung per 1 Januari 2009).

Dari data itu terbukti bahwa kebakaran merupakan resiko tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan bangunan, kematian, berhentinya proses produksi maupun rusaknya lingkungan.

Kebakaran dibagi ke dalam kelas yang berbeda-beda bergantung pada material yang terbakar. Di Indonesia kelas kebakaran terdiri dari tiga kelas yang utama, yaitu A, B, dan C. Pembagiannya ialah sebagai berikut:

1. Kelas A

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 Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering [5].

2. Kelas B

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 Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering. Dilarang memakai 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[5].

3. Kelas C

Kebakaran yang disebabkan oleh listrik. Media pemadaman kebakaran untuk kelas ini berupa: Alat Pemadam Api Ringan (APAR) atau racun api tepung kimia kering. Matikan dulu sumber listrik agar kita aman dalam memadamkan kebakaran [5].

4. Kelas D

Kebakaran yang terjadi pada material-material logam. Kebakaran jenis ini dapat memicu terjadinya kebakaran kelas A. Pemadamannya biasa menggunakan bubuk kimia kering [5].

5. Kelas K

Kebakaran yang disebabkan oleh minyak penggorengan. Kebakaran ini merupakan bagian kebakaran kelas B, tetapi karakteristiknya yang berbeda membuat kebakaran jenis ini perlu mendapat perhatian khusus [5].

2.2 PENSKALAAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari lebih lanjut mengenai aplikasi water mist pada suatu kebakaran dalam kompartemen. Untuk mempermudah penelitian, maka dilakukan penskalaan pada kompartemen yang digunakan. Banyak metode penskalaan yang telah dikembangkan, namun metode yang paling umum digunakan ialah metode Froud. Skala yang digunakan dalam penelitian ini ialah 1:6. Hal ini berarti 1 meter pada model dan 6 meter pada kondisi aktualnya. Kompartemen yang digunakan dalam penelitian ini berukuran panjang x lebar x tinggi sama dengan 1 m x 0.5 m x 0.5 m. Jadi untuk kondisi aktualnya didapatkan ukuran sebesar 6 m x 3 m x 3 m, ukuran tersebut diasumsikan sebagai sebuah bangunan ruko atasebuah apartemen. Berikut ditampilkan pada tabel 2.1 besaran-besaran yang akan diskalakan.

Tabel 2.1 Daftar variabel yang diskalakan

Variabel	Scaling Model
Heat Release Rate (HRR)	$\dot{Q}_F = \dot{Q}_S(l_F/l_S)^{5/2}$
Temperatur	$T_F = T_S(l_F/l_S)^0$
Durasi pembakaran	$t_F = t_S(l_F/l_S)^0$
Flow rate kabut air	$\dot{q}_F = \dot{q}_S(l_F/l_S)^{1/2}$

2.3 POOL FIRE

2.3.1 Pendahuluan

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

Babrauskas (1983 dan 1986) mendefenisikan empat jenis bentuk sifat *flame* berdasarkan diameter pool firenya seperti yang tercantum pada tabel 2.2

Tabel 2.2 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 :

$K\beta$ = Koefisien perpindahan panas radiasi

D = diameter dari pool fire

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

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

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \Delta H_c A_f \quad (\text{kW}) \quad (2.2)$$

dimana :

A_f = luas horisontal permukaan bakar (m^2)

ΔH_c = panas pembakaran (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 (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.

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

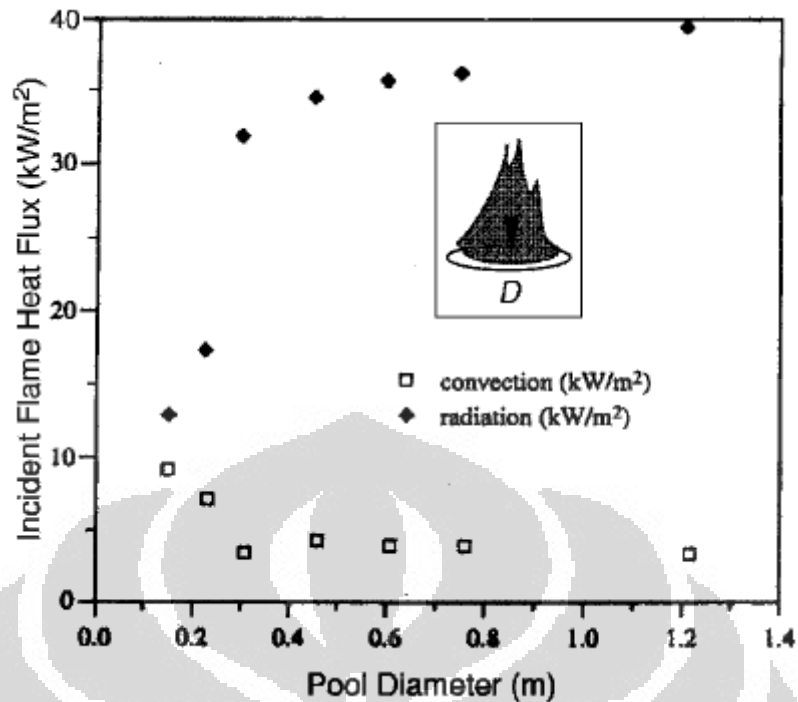
dimana

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

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

2.3.4 Heat Flux Pool Fire

Nilai heat flux sangatlah bergantung pada diameter pool fire yang digunakan. Berikut ini ditampilkan pada gambar 2.1 nilai *heat flux* yang didapatkan berdasarkan pada pool diameternya.

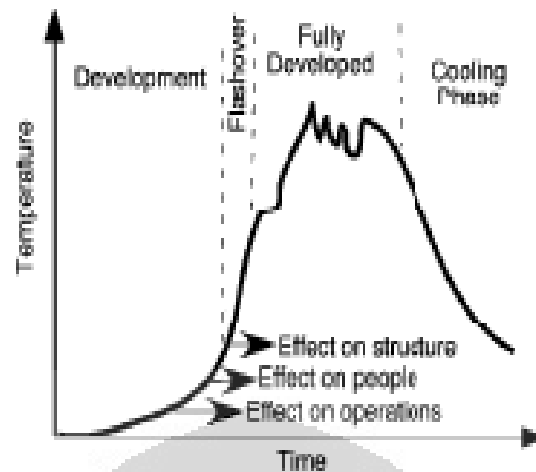


Gambar.2.1 Perbandingan heat flux konveksi dan radiasi berdasarkan pool diameter

Terlihat pada gambar 2.1 nilai radiasi meningkat seiring dengan semakin besarnya diameter *pool fire* dan nilai radiasi ini lebih mendominasi ketimbang nilai dari konveksi. Nilai *heat flux* konveksi dan radiasi itu merupakan *heat flux* yang terdapat pada *pool fire*.

2.4 COMPARTMENT FIRE

Compartment fire merupakan 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.



Gambar 2.2 Tingkatan pertumbuhan api

Tingkatan ini dapat dibagi menjadi:

- (i) Tingkatan perkembangan atau *pre-flashover*, dimana temperature 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.

2.5 WATER MIST

2.5.1 Pengenalan *water mist*

Water mist atau kabut air merupakan 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. Hal ini dapat dilihat dalam tabel 2.3

Tabel 2.3 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet (volume air 0.001m³)

Ukuran droplet (mm)	6	1	0.1
Jumlah total droplet	8.8 x 10 ³	1.9 x 10 ⁶	1.9 x 10 ⁹
Luas area permukaan (m ²)	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 penyediaannya 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 J/g.K) dan kalor laten penguapan yang tinggi (2442 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.

2.6 HEAT

Heat merupakan suatu bentuk energi yang ditransfer dari sebuah sistem yang panas menuju sistem yang dingin [4]. Biasanya nilai *heat* ini diterjemahkan sebagai *Heat Flow Rate* yang memiliki simbol “q” dan satuan *Watt* ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$) atau *kiloWatt* ($1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s}$) [4]. Adapun istilah *heat flux* yakni *heat* yang ditransfer pada suatu luasan area tertentu atau laju *heat* per satu unit area. *Heat flux* inilah yang menyebabkan suatu objek menjadi panas dan terbakar[4]. Sebagai perbandingan, nilai *heat flux* dari paparan sinar matahari kurang lebih 1 kW/m^2 pada saat teriknya [4]. Nilai tersebut mampu untuk menyebabkan kulit terasa sakit dan nilai sebesar 4 kW/m^2 sudah dapat menyebabkan kulit terbakar, selebihnya 10 sampai 20 kW/m^2 dapat memicu sebuah benda terbakar[4]. Heat Flux ini bergantung pada tipe, orientasi, dan konfigurasi dari bahan bakar.

Tabel 2.4 Perbandingan *heat flux* pada kondisi real

Heat Source	kW.m ⁻²
Irradiance of the sun on the Earth's surface	1
Minimum for pain to skin (relative short exposure)[4]	1
Minimum for burn injury (relative short exposure)[4]	4
Usually necessary to ignite thin items	10
Usually necessary to ignite common furnishings	20
Surface heating by a small laminar flame[5]	50-70
Surface heating by a turbulent wall flame[6-8]	20-40
ISO 9705 room-corner test burner to wall	
(0.17 m square propane burner) at 100 kW	40-60
(0.17 m square propane burner) at 300 kW	60-80
Within a fully involved room fire (800-1000°C)	75-150
Within a large pool fire (800-1200°C)	75-267

Tabel 2.4 membandingkan dengan jelas tingkat *heat flux* pada kondisi yang berbeda-beda. Biasanya ditemui pada material-material yang umum bahwa *heat flux* untuk memulai penyalaan ialah sekitar 10 kW.m⁻² untuk material yang tipis dan 20 kW.m⁻² untuk material yang tebal [2].

2.7 RADIASI

Radiasi termal adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh permukaan sebuah benda semata-mata berdasarkan temperaturnya.

Bila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan(refleksi), sebagian diserap(absorpsi), dan sebagian lagi diteruskan (transmisi). Fraksi yang dipantulkan dinamakan absorptivitas(ρ), fraksi yang diserap dinamakan transmitansi(α), dan fraksi yang diteruskan dinamakan reflektansi(τ).

Dari ketiga fraksi tersebut maka didapatkan persamaan berikut :

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Radiasi dari api dan hasil pembakaran memiliki proses yang kompleks dimana terdapat beberapa faktor yang harus diketahui terlebih dahulu antara lain : distribusi temperatur spasial dan temporal, distribusi jelaga, dan konsentrasinya, serta konsentrasi dari pemancaran dan penyerapan dari jenis gas. Namun secara prinsip, hal ini masih memungkinkan untuk dilakukannya perhitungan dari perpindahan kalor radiasi jika kuantitas dari faktor-faktor tersebut diketahui, tetapi

belum sepenuhnya menjadi suatu hal yang praktis dapat digunakan untuk keseluruhan skenario kebakaran yang sesungguhnya. Oleh karena itu, pendekatan empiris dan pengukuran lebih lanjut perlu dilakukan.

Salah satu pendekatan empiris yang dapat dilakukan ialah menghitung *heat flux* yang diemisikan oleh *pool fire* sebagai berikut:

$$\overline{q''} = \overline{(\overline{\epsilon}_g + \epsilon'_g) \sigma (\overline{T} + T'^4)}$$

Garis di atas menunjukkan waktu rata-rata dan menjelaskan fluktuasi komponen turbulen. Emisivitas di sini bergantung dari sifat bahan bakar dan bentuk dari api. Nilai ϵ_g didapat melalui persamaan berikut :

$$\epsilon_g = 1 - (e^{-k_g l})$$

Dimana k_g merupakan koefisien absorpsi yang biasanya bernilai $O(1) m^{-1}$ untuk bahan bakar tertentu dan l merupakan skala panjang karakteristik dari api. Api yang mempunyai skala panjang karakteristik sebesar 1-2 m akan mendekati nilai pancaran benda hitam $\epsilon_g \sim 1$.

2.8 KONVEKSI

2.8.1 Pendahuluan

Pada peristiwa konveksi, kalor berpindah melalui gerakan partikel yang telah dipanaskan (media berupa air atau udara). Bila perpindahannya dikarenakan perbedaan kerapatan disebut konveksi alami (*natural convection*) dan bila didorong, misal dengan *fan* atau pompa disebut konveksi paksa (*forced convection*).

Besarnya konveksi tergantung pada :

- Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida (A).
- Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida (ΔT).
- Koefisien konveksi (h), yang tergantung pada :

- viskositas fluida
- kecepatan fluida
- perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida
- kapasitas panas fluida
- rapat massa fluida
- bentuk permukaan kontak

Adapun persamaan konveksi ialah sebagai berikut :

$$H = h \times A \times \Delta T \text{ (kW)}$$

2.8.2 Korelasi Dittus-Boelter untuk Mencari Nilai Koefisien Konveksi “h”

Korelasi yang khusus namun sederhana dan biasa digunakan pada berbagai aplikasi adalah korelasi pindah panas Dittus-Boelter untuk fluida dalam aliran turbulen. Korelasi ini dapat digunakan ketika konveksi adalah satu-satunya cara dalam memindahkan panas, tidak ada perubahan fase, dan tidak ada radiasi yang signifikan. Koreksi dari perhitungan ini $\pm 15\%$ [15].

Untuk aliran fluida dengan bilangan Reynolds antara 10000 dan 120000, ketika bilangan Prandtl di antara 0.7 dan 120, koefisien pindah panas antara fluida dan permukaan pipa dapat diekspresikan sebagai:

$$h = \frac{k_w \cdot Nu}{D_H}$$

di mana

k_w = konduktivitas termal fluida

$D_H = D_i$ = diameter hidrolis

Nu = bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt dapat dicari dengan:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n \text{ (korelasi Dittus-Boelter)}$$

di mana:

Pr = bilangan Prandtl

Re = bilangan Reynolds

$n = 0.4$ untuk pemanasan (dinding lebih panas dari fluida yang mengalir) dan 0.33 untuk pendinginan (dinding lebih dingin dari fluida yang mengalir) [15].

2.9 PERHITUNGAN HEAT FLUX

Heat flux merupakan variabel yang penting dalam pertumbuhan api dan nilainya sangat diperlukan untuk berbagai masalah. Pada umumnya, heat flux ini bergantung pada (jenis aliran :laminar atau turbulen, panjang sinar, material :jelaga, produk pembakaran, dan parameter aliran lainnya :geometri, natural atau dipaksa). Disini dibuat suatu pendekatan untuk mendapatkan nilai heat flux sebagai referensi, namun untuk lebih tepatnya dibutuhkan penelitian dan eksperimen lebih jauh. Persamaan berikut mencari nilai heat flux net pada umumnya.

$$q'' = q_e + q_f + h_c(T_{\infty} - T(0,t)) - \epsilon \sigma (T(0,t)^4 - T_{\infty}^4)$$

q_e = heat flux radiasi eskternal

q_f = total heat flux (radiasi+konveksi) dari api

$h_c(T_{\infty} - T(0,t))$ = heat flux ketika tidak ada api

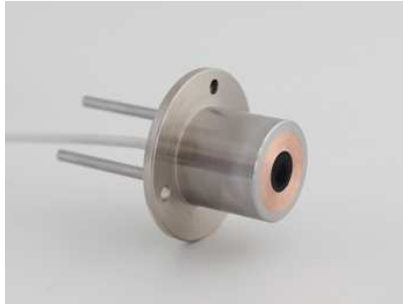
$\epsilon \sigma (T(0,t)^4 - T_{\infty}^4)$ = heat flux net reradiasi ke lingkungan sekitar pada T_{∞} .

2.10 SENSOR HEAT FLUX

Sensor *heat flux* merupakan nama yang biasa digunakan untuk sensor yang menghasilkan sinyal yang sebanding dengan *heat flux* lokal. Dalam hal ini *heat flux* yang didapat bisa berasal dari sumber yang berbeda bergantung pada bagaimana kalor tersebut berpindah, baik itu secara konveksi, radiasi, maupun konduksi [11]. Sensor *heat flux* biasanya berupa plat yang dapat dipasang pada suatu permukaan dengan tujuan melakukan suatu pengukuran *heat flux* lokal. Adapun istilah lainnya seperti radiometer yang mengukur *heat flux* radiasi.

Terdapat berbagai nama yang berbeda selain sensor *heat flux*, yakni *heat flux gauge*, *heat flux plates*. Selain itu ada beberapa sensor *heat flux* yang memiliki tujuan tunggal seperti *pyranometers* (untuk pengukuran radiasi matahari), Schmidt Boelter dan Gardon Gauge (untuk pengukuran *heat flux* dari api).

Pada penelitian ini kita gunakan sensor *heat flux* tipe Schmidt-Boelter dengan nomor seri 64-10SB-20 seperti terlihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar.2.3 Heat flux sensor tipe Schmidt-Boelter dengan sistem pendingin [11]

Sensor *heat flux* Medtherm seri ke-64 memiliki kemampuan pengukuran secara langsung dari suatu perpindahan kalor dalam berbagai aplikasi sesuai dengan kualitas produk dan konfigurasi *mounting* yang serbaguna [10]. Setiap sensor dapat menyediakan sendiri tegangan output sebesar 10 milivolt pada suatu desain *heat flux*-nya. Pembacaan dapat dilakukan dari nol desain *heat flux* sampai 150% yang dibuat dengan resolusi yang tak terbatas. *Output* sensor berbanding lurus dengan perpindahan kalor bersih yang diserap oleh sensor. Sensor seri-64 ini sudah bertahun-tahun digunakan bahkan hampir empat puluh tahun dengan ribuan tantangan aplikasi di dalam tanah, uji penerbangan ruang angkasa, pengujian api, penelitian mengenai heat transfer, dan lain-lain [10].

Pada sensor seri ke-64 ini terdiri dari dua jenis sensor, yakni sensor Gardon dan sensor Schmidt-Boelter *thermopile*. Dalam kedua jenis sensor tersebut, *heat flux* diserap oleh permukaan sensor dan dipindahkan ke *heat sink* yang terintegrasi pada temperatur yang berbeda dari permukaan sensor. Perbedaan temperatur antara dua titik yang dipilih sepanjang jalur aliran kalor dari sensor ke *heat sink* merupakan fungsi kalor yang ditransfer, dan fungsi dari *heat flux* bersih yang diserap. Pada dua titik tersebut, sensor *Medtherm* memiliki termokopel atau *thermopiles* untuk membentuk suatu sirkuit termoelektrik diferensial sehingga memberikan GGL diri pada output yang dihasilkan dimana ia berbanding lurus dengan laju perpindahan kalor. Perlu diperhatikan bahwa di sini tidak ada supply daya yang diberikan pada termoelektrik [10].

Sensor *Medtherm* Schmidt-Boelter menyerap kalor pada satu permukaan dan mentransfer kalor tersebut ke arah normal permukaan yang menyerap kalor. *Output* GGL yang dihasilkan oleh *thermopile multijunction* bergantung pada perbedaan temperatur antara permukaan dan bidang di bawah permukaan. Sensor

thermopile Schmidt-Boelter selalu digunakan di bawah $56.7826 \text{ kW.m}^{-2}$. Namun secara opsional dapat diterapkan sampai dengan $1135.65 \text{ kW.m}^{-2}$ dengan syarat-syarat tambahan yakni diperlukannya sistem pendingin dan mounting yang baik pada sensor *heat flux*. Berikut ini pada gambar 2.1 ditampilkan jenis-jenis sensor *heat flux* berdasarkan jenis mounting dan sistem pendinginnya [10].

SMOOTH BODY WITH FLANGE DESCRIPTION: MODEL NO.	THREADED BODY WITH FLANGE DESCRIPTION: MODEL NO.	SMOOTH BODY, NO FLANGE DESCRIPTION: MODEL NO.	THREADED BODY, NO FLANGE DESCRIPTION: MODEL NO.
BASIC, UNCOOLED 64-xx-16	BASIC, UNCOOLED 64-xx-17	BASIC, UNCOOLED 64-xx-14	BASIC, UNCOOLED 64-xx-15
WATER COOLED 64-xx-20	WATER COOLED 64-xx-21	WATER COOLED 64-xx-18	WATER COOLED 64-xx-19
RADIOMETER, GAS PURGED, COOLED 64P-xx-24	RADIOMETER, GAS PURGED, COOLED 64P-xx-25	RADIOMETER, GAS PURGED, COOLED 64P-xx-22	RADIOMETER, GAS PURGED, COOLED 64P-xx-23

Gambar.2.4 Berbagai jenis sensor heat flux Medtherm berdasarkan mounting dan keberadaan sistem pendinginnya. [10]

2.11 KALOR SENSIBEL DAN KALOR LATEN

Fase zat dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu padat, cair dan gas. Setiap zat dapat berubah dari fasa yang satu ke fasa yang lain dengan menerima atau melepaskan kalor. Contohnya air, air dalam bentuk padat disebut sebagai es, dalam bentuk cair disebut sebagai air, dan dalam bentuk gas disebut sebagai uap air. Contohnya sebuah es batu dengan temperatur -20°C lalu kita panaskan hingga menjadi uap. Proses di atas dapat dijelaskan dengan mengetahui terlebih dahulu kalor sensibel dan kalor laten. Kalor sensibel adalah kalor yang menyebabkan perubahan temperatur. Sedangkan kalor laten adalah kalor yang tidak menyebabkan perubahan temperatur karena kalor laten digunakan untuk merubah fase zat [9].

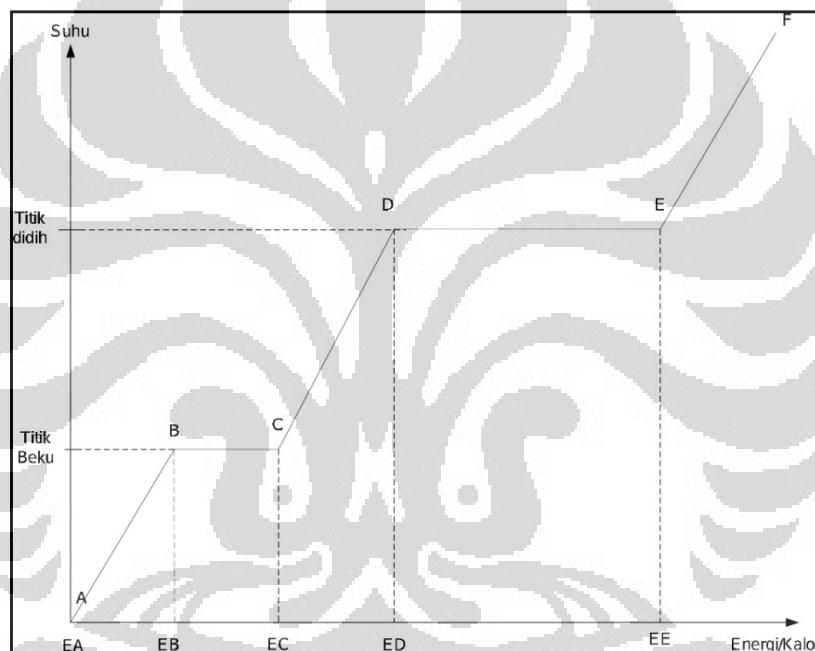
Jika sebuah es dalam temperatur -20°C pada tekanan 1 atm diberikan kalor secara terus menerus maka yang terjadi adalah es tersebut mengalami kenaikan temperatur sehingga menjadi es bertemperatur 0°C . Inilah yang dinamakan dengan kalor sensibel [9].

Jika es tadi dengan temperatur 0°C itu masih diberikan kalor maka temperatur es tersebut tidak mengalami kenaikan namun es tersebut akan mencair

sehingga menjadi air yang memiliki temperatur 0°C . Inilah yang dinamakan dengan kalor laten [9].

Jika air bertemperatur 0°C ini masih menerima kalor maka temperaturnya akan naik lagi sampai titik didih (kalor sensibel). Jika pada saat mendidih tetap menerima kalor maka air tidak akan mengalami kenaikan temperatur tapi berubah fase menjadi uap air/fase gas (kalor laten). Setelah menjadi uap seluruhnya barulah uap air ini akan mengalami kenaikan temperatur lagi [9].

Untuk menjelaskan keseluruhan proses perubahan fase zat tersebut dapat dilihat pada grafik energi dan temperatur dibawah ini:



Gambar 2.5 Grafik perubahan fase tiap zat.

Titik A merupakan gambaran pada saat es bertemperatur -20°C , kemudian menerima kalor sebesar EB-EA sehingga temperaturnya naik hingga titik beku-cair. Kemudian menerima kalor lagi sebesar EC- EB sehingga es mencair hingga menjadi air dan seterusnya. Proses pelepasan kalor sama namun kebalikannya. Jika ada uap dengan kondisi F kemudian melepas kalor sebesar EF-EE maka temperatur uap air itu menurun menjadi temperatur titik didih, kemudian jika tetap melepaskan kalor maka tidak menurunkan temperatur lagi, tetapi fasenya berubah dari yang tadinya uap mencair hingga seluruhnya menjadi cair setelah itu baru temperatur air menurun, begitu seterusnya [9].

Besarnya energi kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur adalah:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Dimana:

Q : Besarnya kalor yang digunakan untuk merubah temperatur (kW)

m : massa bahan yang temperaturnya akan naik/turun (kg)

c : kalor jenis bahan ($\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

ΔT : Perubahan temperatur bahan ($^\circ\text{C}$)

Besarnya energi untuk merubah fase dari fase padat ke fase cair adalah

$$Q = m \cdot L$$

Dimana:

Q : banyaknya kalor yang dibutuhkan

L : kalor lebur/cair

m : massa bahan yang mencair

Besarnya energi untuk merubah fase dari fase cair ke fase gas adalah

$$Q = m \cdot U$$

Dimana:

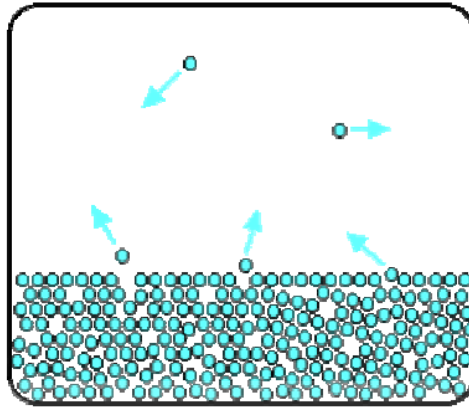
Q : banyaknya kalor yang dibutuhkan

U: kalor uap

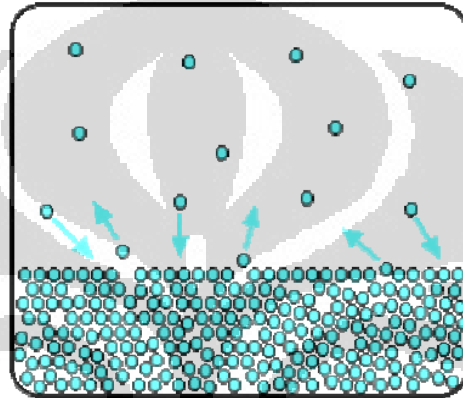
m : massa bahan yang mencair

2.12 PENGUAPAN

Pada proses penguapan, molekul-molekul gas melepaskan diri dari gaya antar molekul yang ada pada fase cair (perhatikan bahwa dalam hal ini yang ditinjau adalah proses dalam ruang tertutup). Molekul-molekul ini ada yang kembali menuju permukaan zat cair dan ada yang tetap menjadi gas. Akan terjadi kesetimbangan di mana molekul yang meninggalkan permukaan sebanding dengan jumlah molekul yang kembali ke permukaan. Pada kondisi kesetimbangan ini, akan ada jumlah molekul gas yang tetap (tidak berubah) pada ruang di atas permukaan zat cair [9].



Gambar.2.6 Proses penguapan pada ruang tertutup [9]



Gambar.2.7 Kondisi ruang tertutup dalam kesetimbangan. [9]

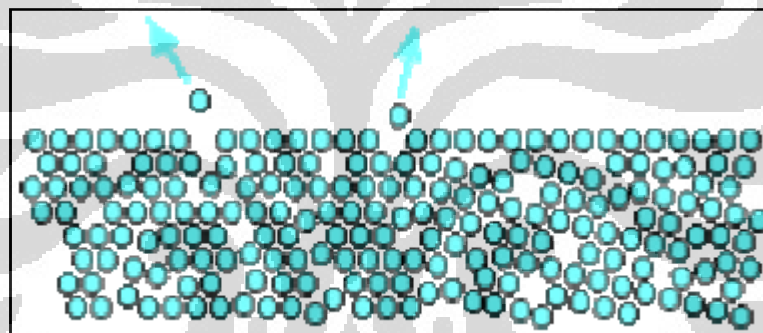
Jumlah molekul gas di atas zat cair tidak berubah, dan jumlah molekul gas yang menguap dan kembali ke permukaan selalu sama [9]. Terjadinya kesetimbangan dalam ruang tersebut dinamakan dengan keadaan jenuh (*saturated*). Tekanan uap ketika jenuh disebut tekanan uap jenuh (kadang-kadang disebut sebagai "tekanan uap" saja) [9].

Besarnya tekanan uap jenuh berkorelasi dengan banyaknya molekul yang mempunyai energi kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari permukaan cairan dan memasuki fase uap. Tekanan uap jenuh yang lebih besar berarti lebih banyak molekul gas yang dimungkinkan berada di atas permukaan zat cair (seperti diilustrasikan pada gambar.2.6). Jadi kenaikan temperatur dapat memperbesar tekanan uap jenuh, dan semakin tinggi uap jenuh akan memperbesar kemungkinan penguapan. Inilah alasan mengapa menaikkan temperatur merupakan salah satu cara mempercepat penguapan [9].

Energi rata-rata suatu partikel dalam zat cair ditentukan oleh temperturnya. Semakin tinggi temperturnya, akan semakin cepat laju partikel zat cair,

karenanya semakin besar energi kinetik rata-ratanya. Sesuai dengan definisi "rata-rata", sebenarnya tidak semua molekul dalam suatu kumpulan molekul zat cair memiliki energi kinetik yang sama. Ada molekul yang memiliki energi kinetik yang dekat dengan nilai energi kinetik rata-rata, ada yang energi kinetiknya lebih besar dan lebih kecil dari energi kinetik rata-ratanya [9].

Partikel-partikel di permukaan zat cair yang memiliki energi kinetik yang lebih besar dari energi kinetik rata-rata memiliki kemungkinan untuk bergerak cukup cepat untuk melepaskan diri dari gaya tarik-menarik antar molekul zat cair tersebut. Hanya molekul yang mempunyai energi kinetik di atas nilai tertentu yang dapat melepaskan diri dari gaya tarik-menarik antar molekul zat cair dan kemudian melarikan diri ke fase gas [9]. Proses "melepaskan diri" inilah yang dinamakan dengan penguapan.



Gambar 2.8 Partikel/molekul dengan energi yang lebih besar dari rata-rata "melepaskan diri" dari ikatan [9]

Penguapan (atau proses molekul melepaskan diri dari ikatannya) ini dapat terjadi jika tekanan parsial air di udara lebih kecil dari tekanan uap jenuh. Sebenarnya, pada saat terjadi penguapan, juga terjadi kondensasi (pengembunan) [9]. Namun, selama tekanan parsial H₂O di udara berada di bawah tekanan uap jenuh, laju penguapan akan lebih besar daripada laju kondensasi (udara luar yang belum "jenuh" masih mungkin untuk menerima uap air). Jika tekanan parsial air di udara lebih besar daripada tekanan uap jenuh, maka udara dikatakan menjadi superjenuh, dan udara yang superjenuh tidak dapat menahan uap air. Dalam hal ini, laju kondensasi lebih besar daripada laju penguapan sehingga terjadi kondensasi/pengembunan. Inilah proses yang terjadi pada pembentukan awan, kabut dan hujan) [9].

BAB 3

METODOLOGI PENGUJIAN

3.1 TUJUAN PENGUJIAN

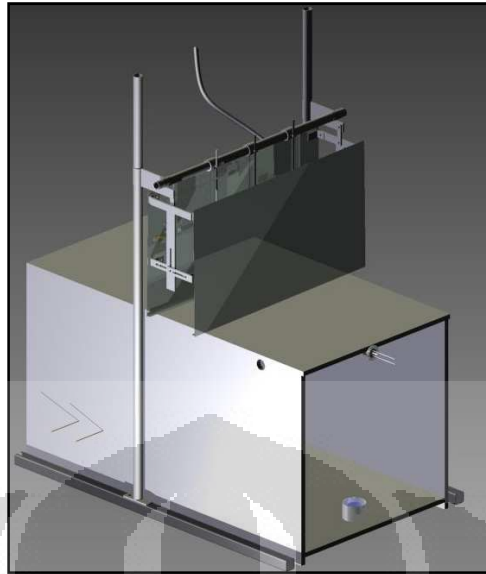
Pengujian ini memiliki tujuan yakni mengetahui seberapa besar *enclosure effect* dari sistem tirai kabut air dalam menghalangi panas pool fire pada suatu model kompartemen api. Adapun parameter-parameter yang diukur ialah *heat flux* dan distribusi temperatur dalam model kompartemen api. Pengujian ini dilakukan tanpa dan dengan menggunakan *water mist* serta divariasikan dari tekanan kerja pada *pressure vessel* dan peletakan *heat flux* meter.

3.2 KOMPONEN PENGUJIAN

Adapun komponen-komponen pendukung dalam pengujian ini antara lain : kompartemen api berukuran 1 m x 0.5 m x 0.5 m , pipet *mohr*, *pool fire* yang berasal dari 8 mL bensin premium dalam suatu wadah berdiameter 6.3 cm dan tinggi 4.3 cm, pemantik api, nosel kabut air yang berjumlah tiga buah dan berjarak 15 cm satu sama lain,udukan nosel, tabung nitrogen, *pressure vessel*, peralatan listrik seperti *power supply*, alat ukur berupa sensor temperatur (termokopel), data akuisisi (*data logger*), *heat flux* sensor dan laptop/komputer.

3.2.1 Model Kompartemen Api

Dalam pengujian ini kompartemen berukuran panjang x lebar x tinggi = 1 m x 0.5 m x 0.5 m dengan material Calcium Silicad dengan ketebalan 12 mm. Dimana pada bagian atasnya dibagi menjadi lima sekat sesuai dengan jumlah termokopel dan juga untuk memudahkan pembersihan termokopel dan sisa-sisa asap yang menempel pada kompartemen.



Gambar 3.1 Model kompartemen api

3.2.2 Pipet *Mohr*



Gambar 3.2 Pipet *Mohr*

Dalam pengisian bensin 8 mL ke dalam wadah *pool fire* digunakan pipet *Mohr* yang memiliki volume maksimum 10 mL. Satu hal yang penting ialah setelah pemakaian harap segera disimpan di tempat yang aman agar tidak pecah karena terinjak atau terjatuh.

3.2.3 Wadah *Pool Fire*



Gambar 3.3 Wadah *pool fire*

Wadah *pool fire* berfungsi untuk menampung bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pembakaran (kebakaran). Wadah yang digunakan untuk pengujian ini memiliki diameter 6.3 cm dan tinggi 4.3 cm. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.

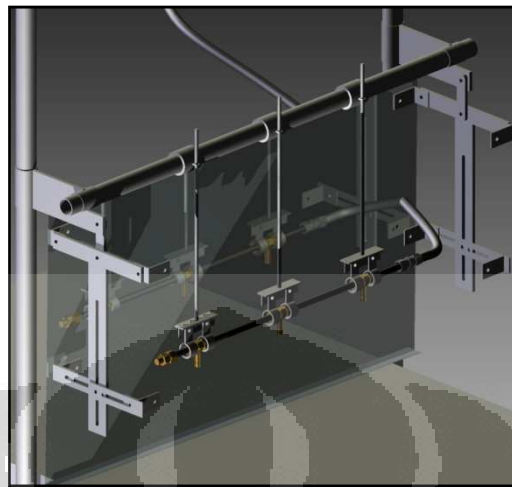
3.2.4 Pemantik Api

Pemantik api digunakan untuk menyalakan bensin sebagai *pool fire*. Demi alasan keamanan dan kemudahan maka penyalaan dilakukan melalui lubang di belakang kompartemen. Seperti yang ditunjukkan pada gambar.4.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Prosedur menyalakan *pool fire* dengan pemantik api.

3.2.5 Nosel Kabut Air dan Dudukan Nosel



Gambar 3.5 Nozzle water mist beserta dudukannya.

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.

3.2.6 Termokopel Tipe K

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel tipe K. Untuk menjamin keakuratan data, termokopel perlu diletakan pada posisi yang tepat, peletakan termokopel yang salah akan menyebabkan data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Penempatan termokopel, disesuaikan dengan jumlah *channel* yang tersedia pada data akuisisi. Pertimbangan juga dilakukan terhadap luasan yang akan diukur. Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan di sepanjang sumbu x terhadap model ruangan. Digunakan enam titik termokopel pada saat pengukuran tanpa *mist* dan lima titik saat pengukuran dengan *mist*. Pada saat

pengukuran dengan *mist* termokopel 4 tidak digunakan karena ia tepat berada di bawah *nozzel water mist*.

3.2.7 Data Akuisisi

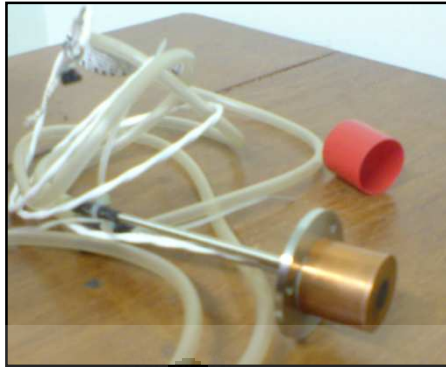
Data akuisisi yang digunakan adalah *Advantech Portable Data Acquisition Module* type USB-4178. Data akuisisi ini digunakan untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan pada penelitian ini. Adapun channel yang digunakan untuk termokopel ialah *channel* 2 sampai dengan *channel* 6 sedangkan *channel* 7 dipakai untuk *heat flux* meter.



Gambar 3.6 Data Akuisisi

Data akuisisi ini menggunakan software *Adam view* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi Windows XP. Data keluaran *Adamview* ini berupa file *notepad* yang merupakan hasil bacaan pada tiap *channel* yang digunakan. Dua software yang penting dalam melakukan pengambilan data, yakni *Adamview Device Manager* yang digunakan untuk mengecek apakah termokopel pada tiap *channel* dapat terbaca dan *Adamview Builder* sebagai *display* temperatur yang sedang diambil.

4.2.8 Heat Flux Sensor



Gambar 3.7 Heat flux sensor

Dalam pengujian ini pengukuran *heat flux* dilakukan dengan *heat flux* meter dengan tipe *Schmidt-Boelter* model no.64-10SB-20. Kabel heat flux meter ini dihubungkan langsung dengan data akuisisi. Data yang terekam dari data akuisisi masih berupa temperatur yang kemudian harus dikonversikan ke dalam tegangan (milivolt) lalu dikonversikan lagi ke dalam nilai *heat flux* ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$).

Dalam pengujian ini *heat flux* diletakkan setelah *water mist* yang tepatnya di bagian atas sisi kompartemen yang terbuka seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8. di bawah ini.



Gambar.3.8 Peletakan heat flux meter pada model kompartemen

3.2.8 Tabung Nitrogen dan Pressure Vessel



Gambar.3.9 Tabung nitrogen dan pressure vessel yang digunakan dalam pengujian.

Untuk menghasilkan *water mist* digunakan nitrogen bertekanan sebagai tenaga pendorong. Pada pengujian ini digunakan tekanan sebesar 150 Psi dan 200 Psi. Hal yang perlu diperhatikan adalah kebersihan air yang dimasukkan ke dalam pressure vessel. Air yang kotor dalam *pressure vessel* dapat menyebabkan tersumbatnya nosel.

3.3 VARIASI PENGAMBILAN DATA

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

- a. Pengambilan data *heat flux* di tiga titik pada kompartemen tanpa dan dengan *water mist*.
- b. Pengambilan data distribusi temperatur kompartemen tanpa dan dengan *water mist*.
- c. Adapun variasi tekanan kerja yang digunakan pada *pressure vessel* ialah 150 Psi dan 200 Psi.

3.4 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

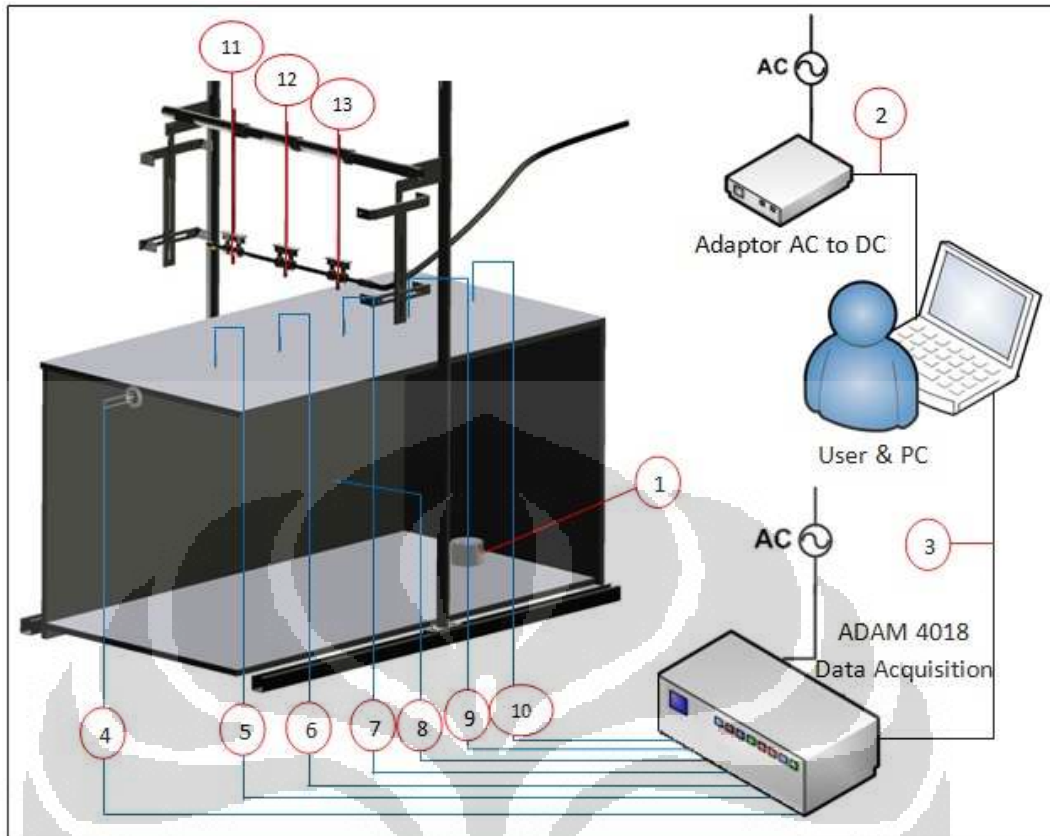
Pengambilan data di lakukan di Laboratorium Fire Safety yang terletak dekat *container* milik Departemen Teknik Mesin berdekatan pula dengan perahu milik Deprtemen Perkapalan. *Set up* eksperimen sebelum melakukan pengambilan data berlangsung kurang lebih tiga puluh menit karena biasanya terjadi *error* pada pembacaan termokopel sehingga perlu diperbaiki terlebih dahulu. Gambar 4.10 berikut menunjukkan *set up* pengujian yang dilakukan.



Gambar.3.10 Set up pengujian di Lab.Fire Safety Departemen Teknik Mesin.

Sebelum pengambilan data dimulai, perlu dilakukan *conditioning* dengan cara menyalakan *pool fire* di dalam kompartemen tanpa pencatatan waktu dan pengambilan data. Hal ini dilakukan agar kondisi di awal kurang lebih sama dengan kondisi setelah beberapa pengambilan data.

Untuk mengetahui lebih jelas bagaimana set up eksperimen berikut ditampilkan pada gambar 3.11.



Gambar.3.11. Set up eksperimen.

Keterangan :

1. Pool Fire (D=63mm, t=43mm, bensin premium 8mL)
2. Kabel adaptor
3. Kabel data PC to DAQ(ADAM 4018)
4. Kabel Heat Flux Meter to DAQ(ADAM 4018)
5. Thermocouple 5
6. Thermocouple 4
7. Thermocouple 3
8. Thermocouple 6
9. Thermocouple 2
10. Thermocouple 1
11. Nozzle 1
12. Nozzle 2
13. Nozzle 3

3.4.1 Prosedur Pengambilan Data tanpa *Water Mist*

Prosedur pengambilan data berdasarkan urutannya adalah:

1. Menyiapkan termokopel, data akuisisi, dan *heat flux* sensor.
2. Menyambungkan kabel data termokopel dan *heat flux* sensor ke data akuisisi
3. Menyambungkan kabel usb port data akuisisi ke laptop/komputer yang telah terinstal *Adam View*.
4. Membuka *device manager Adam View* untuk mengecek apakah semua termokopel dan juga *heat flux* sensor terbaca dengan baik.
5. Membuka *Adam View Builder* yang merupakan *interface* dari bacaan termokopel dan *heat flux* sensor lalu *save* data pada tempat yang diinginkan (contoh nama data: Tes 1_Hf di kiri).
6. Menyiapkan *pool fire*, isi bensin sebanyak 8 ml ke dalam wadah berdiameter 6.3 cm dan tinggi 4.3 cm. Letakkan *pool fire* tepat di bagian tengah (lantai) segmen 1.
7. Menyiapkan *stop watch*.
8. Nyalakan *pool fire* dengan menyulutkan pemantik api melalui lubang belakang kompartemen yang tersedia.
9. Setelah *pool fire* menyala segera mungkin nyalakan *stop watch* dan menekan ikon *start* pada *Adam View Builder*.
10. Saat *pool fire* mati, catat waktu pada *stop watch*.
11. Biarkan pengukuran tetap berjalan sampai temperatur yang terbaca pada termokopel 1 oleh data akuisisi menunjukkan nilai yang hampir mendekati suhu kamar ($\pm 30^{\circ}\text{C}$), kurang lebih waktu satu kali pengukuran ialah 7 menit.
12. Lakukan langkah-langkah di atas secara berulang-ulang.

3.4.2 Prosedur Pengambilan Data dengan *Water Mist*

1. Menyiapkan termokopel, data akuisisi, dan *heat flux* sensor.

2. Menyambungkan kabel data termokopel dan *heat flux* sensor ke data akuisisi
3. Menyambungkan kabel usb port data akuisisi ke laptop/komputer yang telah terinstal *Adam View*.
4. Membuka *device manager Adam View* untuk mengecek apakah semua termokopel dan juga *heat flux* sensor terbaca dengan baik.
5. Membuka *Adam View Builder* yang merupakan *interface* dari bacaan termokopel dan *heat flux* sensor lalu *save* data pada tempat yang diinginkan (contoh nama data: Tes 1_Hf di kiri).
6. Menyiapkan *pool fire*, isi bensin sebanyak 8 ml ke dalam wadah berdiameter 6.3 cm dan tinggi 4.3 cm. Letakkan *pool fire* tepat di bagian tengah (lantai) segmen 1.
7. Menyiapkan *stop watch*.
8. Nyalakan *pool fire* dengan menyulutkan pemantik api melalui lubang belakang kompartemen yang tersedia.
9. Setelah *pool fire* menyala segera mungkin nyalakan *stop watch* dan menekan ikon *start* pada *Adam View Builder* untuk *me-record* data.
10. Setelah kurang lebih satu menit waktu berjalan, nyalakan *water mist* dengan membuka katup selangnya lalu buka segmen 4 yang tepat berada di bawah *water mist*.
11. Matikan *water mist* setelah berjalan kurang lebih satu menit dan segera tutup kembali segmen 4.
12. Saat *pool fire* mati, catat waktu pada *stop watch*.
13. Biarkan pengukuran tetap berjalan sampai temperatur yang terbaca pada termokopel 1 oleh data akuisisi menunjukkan nilai yang hampir mendekati suhu kamar ($\pm 30^{\circ}\text{C}$), kurang lebih waktu satu kali pengukuran ialah 7 menit.
14. Lakukan langkah-langkah di atas secara berulang-ulang.

3.4.3 Pengukuran Flow Rate pada Tiap Nozzle

Flow rate pada tiap nozzle perlu diukur untuk menghitung berapa massa air yang benar-benar digunakan untuk mengurangi panas dari *pool fire*. Selain itu

nilai flow rate ini dijadikan pula sebagai inputan software FDS (Fire Dynamic Simulator) yang nantinya hasil dari software ini akan dibandingkan dengan hasil yang didapat dari pengujian secara langsung.



Gambar 3.12 Pengambilan data flow rate pada tiap nozzle

Prosedur Pengambilan Data Flow Rate :

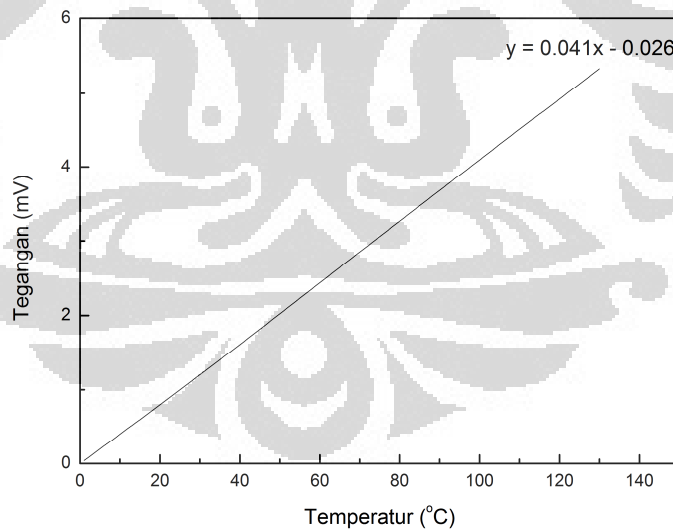
1. Menyiapkan wadah yang digunakan untuk menampung water mist (botol berkapasitas 1.5 L) dan juga timbangan.
2. Siapkan pula stop watch untuk mengindikasikan waktu penyalaan dan penghentian *water mist*.
3. Catat massa masing-masing botol sebelum dilakukan pengisian water mist, tetapkan botol mana yang digunakan untuk masing-masing *nozzle*.
4. Nyalakan water mist dengan memutar valve keluaran pressure vessel dan segera mungkin nyalakan *stop watch*.
5. Biarkan kurang lebih 30 detik agar *water mist* yang keluar stabil terlebih dahulu.
6. Setelah 30 detik masukkan tiap-tiap botol ke dalam tiap *nozzle*.
7. BARKAN selama kurang lebih lima menit.
8. Setelah lima menit matikan valve pressure vessel.
9. Terakhir catat massa masing-masing botol.
10. Lakukan langkah-langkah di atas secara berulang-ulang.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1 HASIL PENGUJIAN

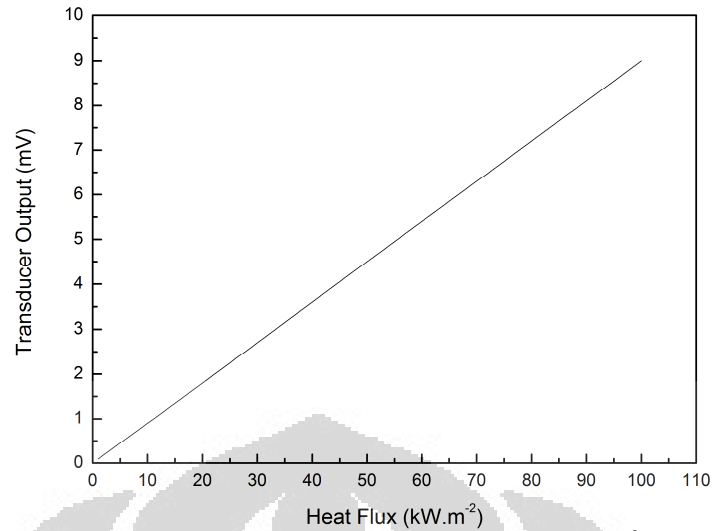
Pada bab ini akan ditampilkan hasil dari pengujian berupa grafik *heat flux* dan temperatur pada ketiga kondisi, yakni pengujian tanpa *water mist*, pengujian dengan *water mist* tekanan 150 Psi dan pengujian dengan *water mist* tekanan 200 Psi. Masing-masing kondisi tersebut divariasikan lagi berdasarkan letak sensor *heat flux* di tiga titik yang berbeda. Selanjutnya akan ditampilkan pula grafik yang didapatkan melalui software FDS (Fire Dynamic Simulator) sebagai pembandingan dengan hasil eksperimen. Pada pengukuran *heat flux*, output yang didapatkan melalui data akuisisi masih berupa temperatur yang memiliki satuan °C karena data akuisisi ADAM 4718 ini pada dasarnya digunakan untuk pengukuran temperatur melalui termokopel sehingga diperlukan konversi nilai dari °C ke mV melalui grafik pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar.4.1 Grafik konversi temperatur(°C) ke tegangan(mV)

Dari gambar 4.1 didapatkan persamaan untuk nilai tegangan(mV) yaitu $y = 0.041x - 0.026$. Dimana y merupakan tegangan(mV) yang dimaksud dan x merupakan nilai temperatur(°C) yang didapat melalui data akuisisi.

Barulah selanjutnya dilakukan pengkonversian nilai tegangan(mV) ke dalam nilai *heat flux*(kW.m⁻²) seperti pada gambar 4.2.



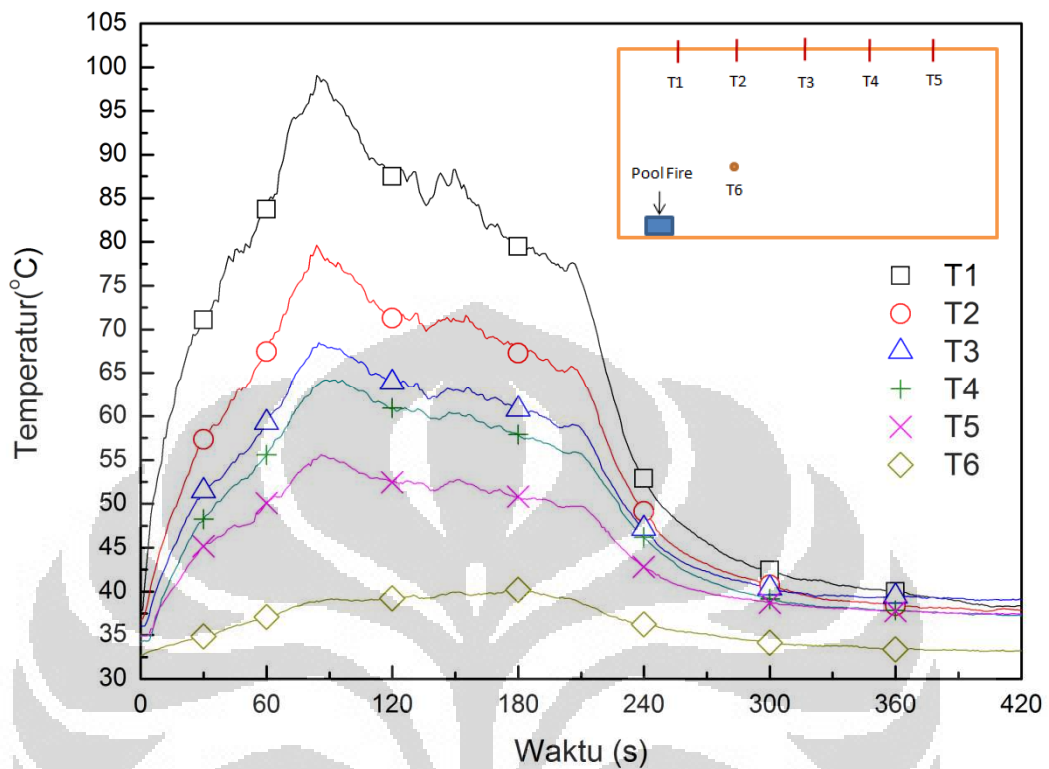
Gambar.4.2 Grafik konversi tegangan(mV) ke *heat flux*(Kw.m⁻²) [14]

Dari gambar 4.2 terlihat untuk tegangan 9 mV didapatkan nilai heat flux sebesar 100 Kw.m⁻² sehingga didapatkan faktor pengali yaitu sebesar 100/9 sama dengan 11.11, artinya tegangan 1 mV bernilai sebesar 11.11 kW.m⁻² [14].

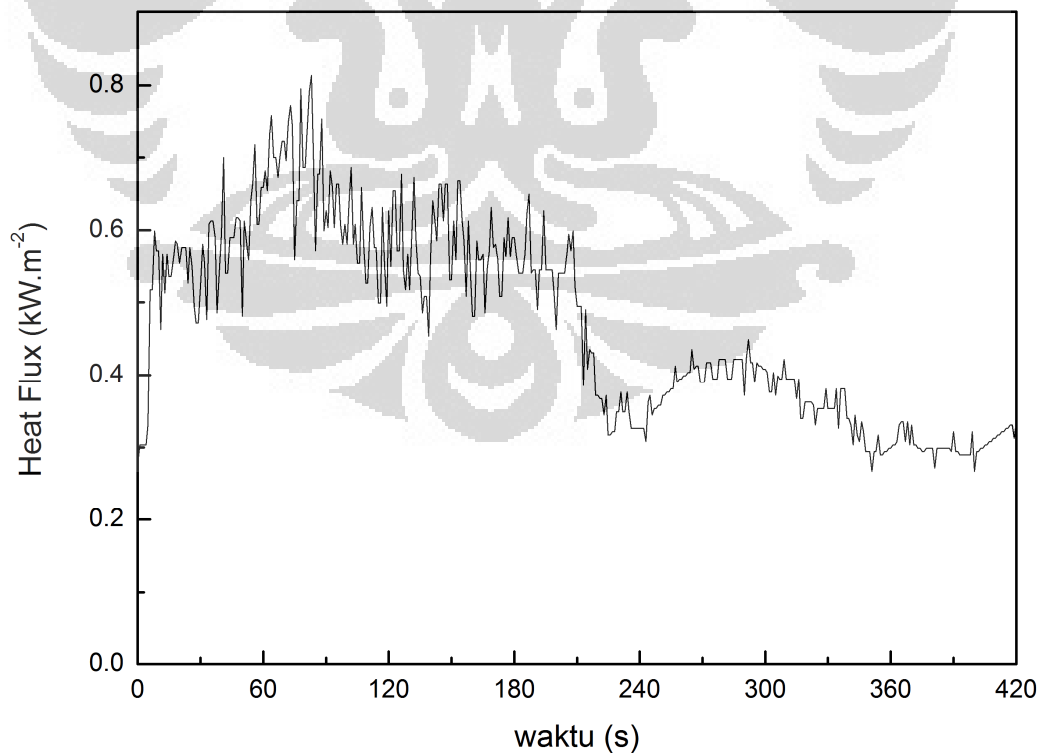
4.2 HASIL PENGUJIAN TANPA WATER MIST

Pada pengujian tanpa water mist ini dilakukan pengukuran temperatur di enam titik dan setiap grafik temperatur tersebut memiliki satu grafik *heat flux*, yakni pada posisi 1, posisi 2, dan posisi 3. Pengujian tanpa water mist ini dilakukan selama kurang lebih tujuh menit.

4.2.1 Hasil pengujian tanpa *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 1

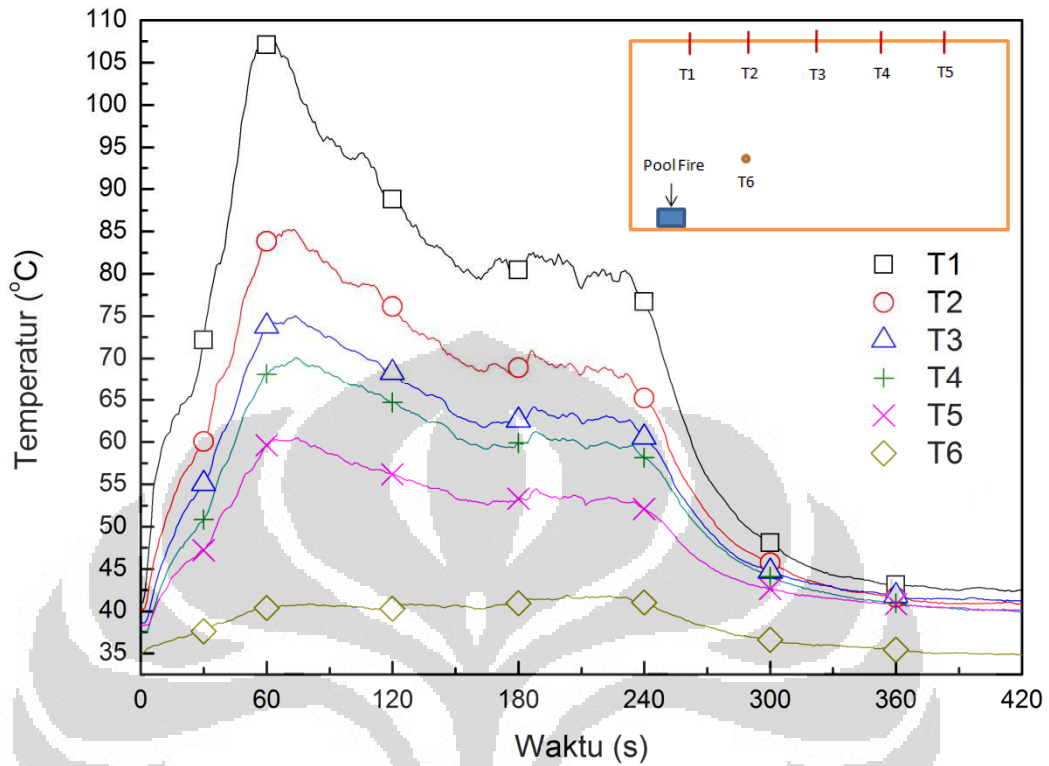


Gambar.4.3 Grafik distribusi temperatur – pengujian tanpa *water mist*

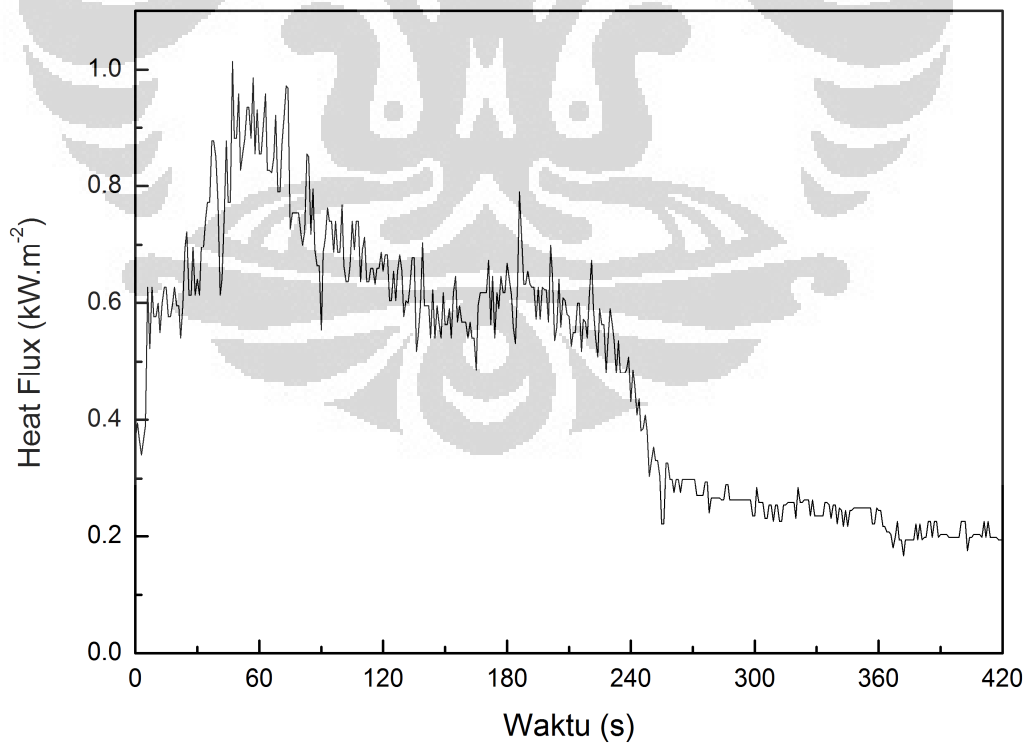


Gambar.4.4 Grafik *heat flux* – pengujian tanpa *water mist*

4.2.2 Hasil Pengujian Tanpa *Water Mist* dengan sensor *heat flux* di titik 2



Gambar.4.5 Grafik distribusi temperatur – pengujian tanpa *water mist*

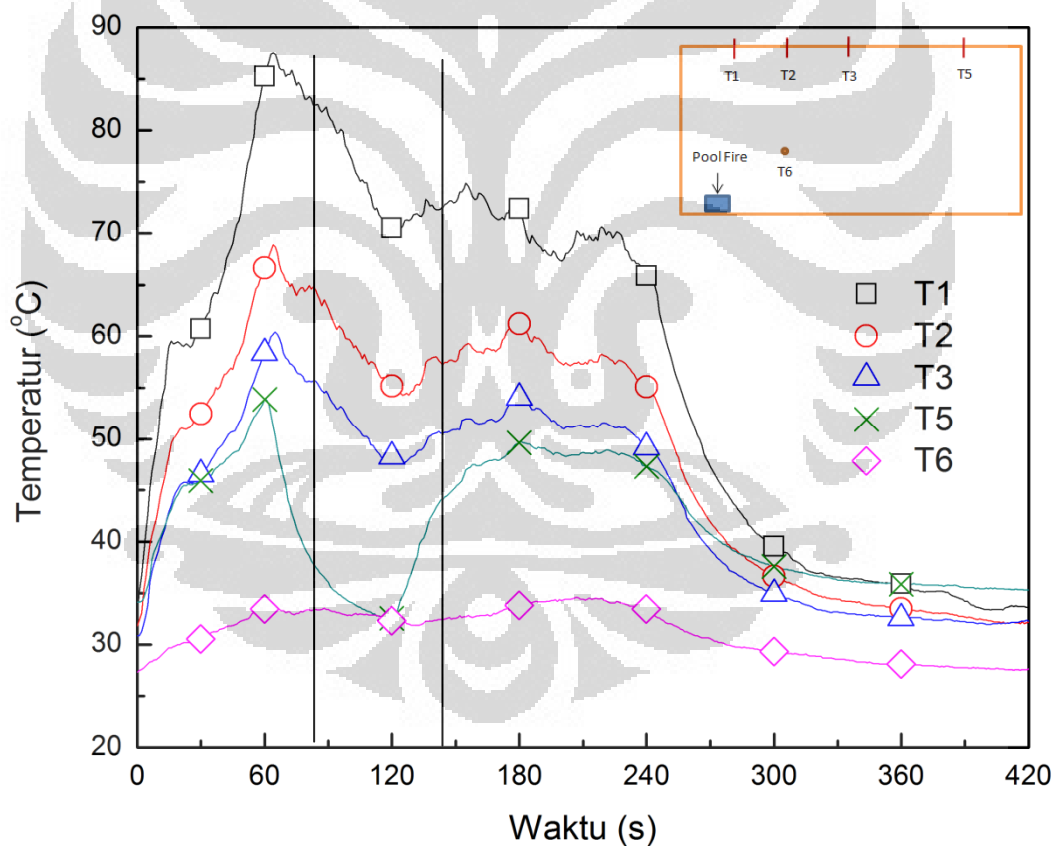


Gambar.4.6 Grafik *heat flux* – pengujian tanpa *water mist*

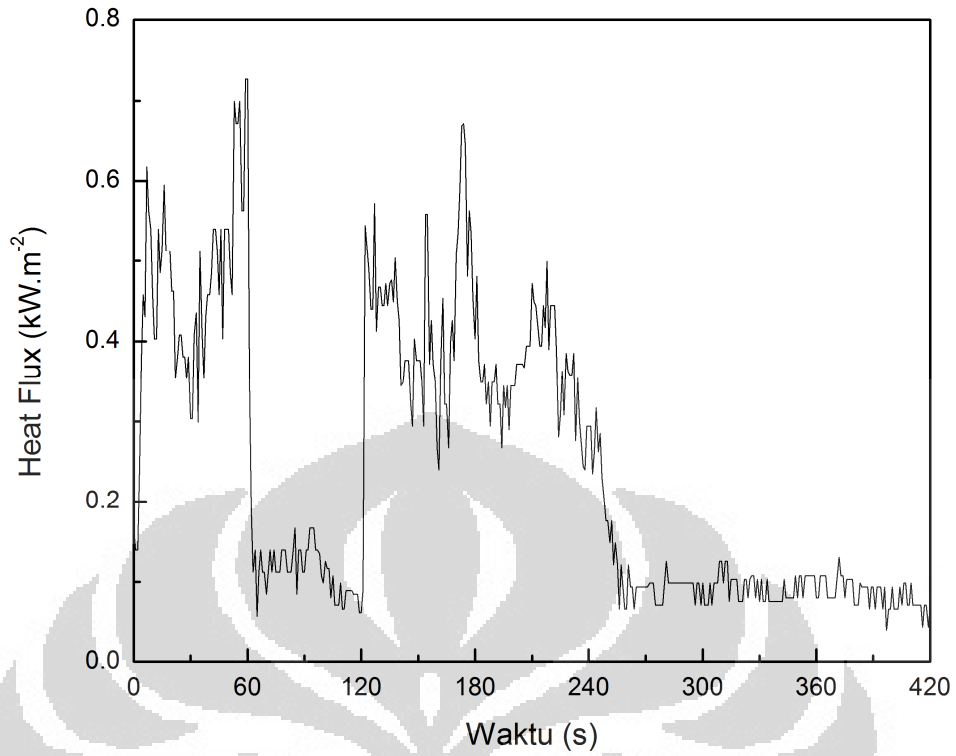
4.3 HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 150 Psi

Seperti pada pengujian tanpa mist, hasil pengujian dengan water mist terdiri dari dua grafik yaitu grafik distribusi temperatur dan grafik *heat flux*. Pengujian ini dilakukan pula selama kurang lebih tujuh menit. Penyalaan *water mist* berlangsung selama satu menit dari menit ke-1 sampai menit ke-2. Pada pengujian ini termokopel 4 tidak digunakan karena ia tepat berada di bawah *water mist*. Berbeda dengan grafik tanpa menggunakan *water mist*, di sini kita akan melihat bagaimana pengaruh *water mist* dalam mengurangi panas *pool fire*. Hal tersebut akan terlihat pada grafik temperatur dan grafik *heat flux* berikut.

4.3.1 Hasil Pengujian dengan *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 1

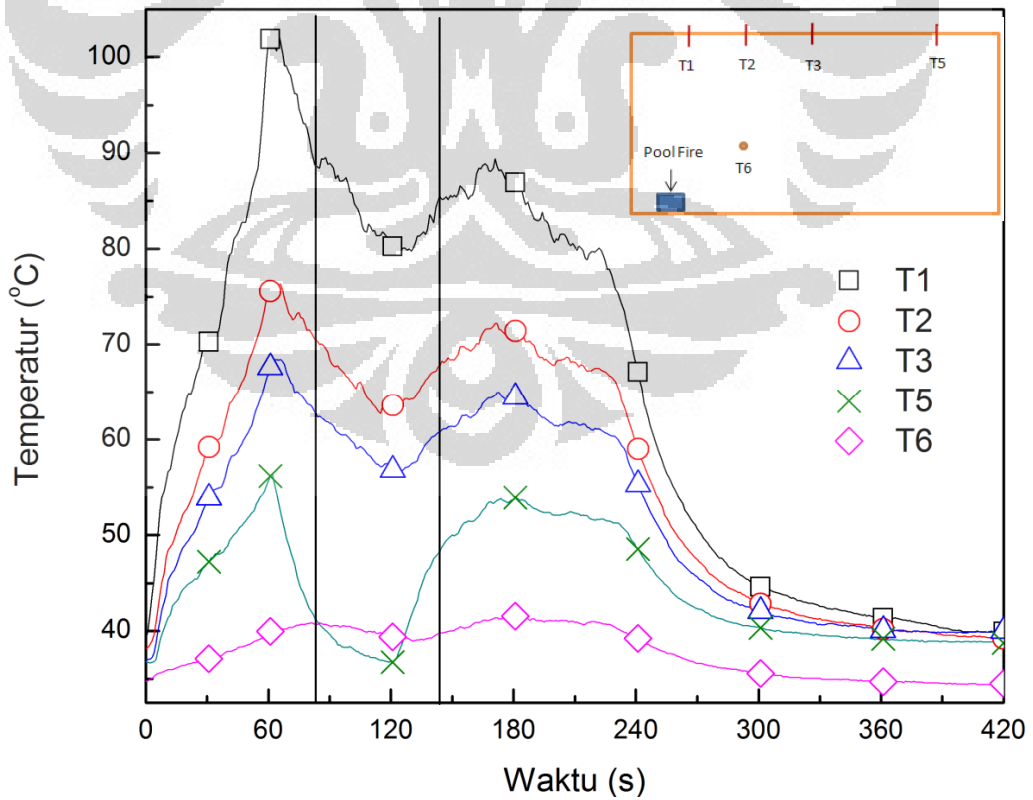


Gambar.4.7 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (150 Psi)

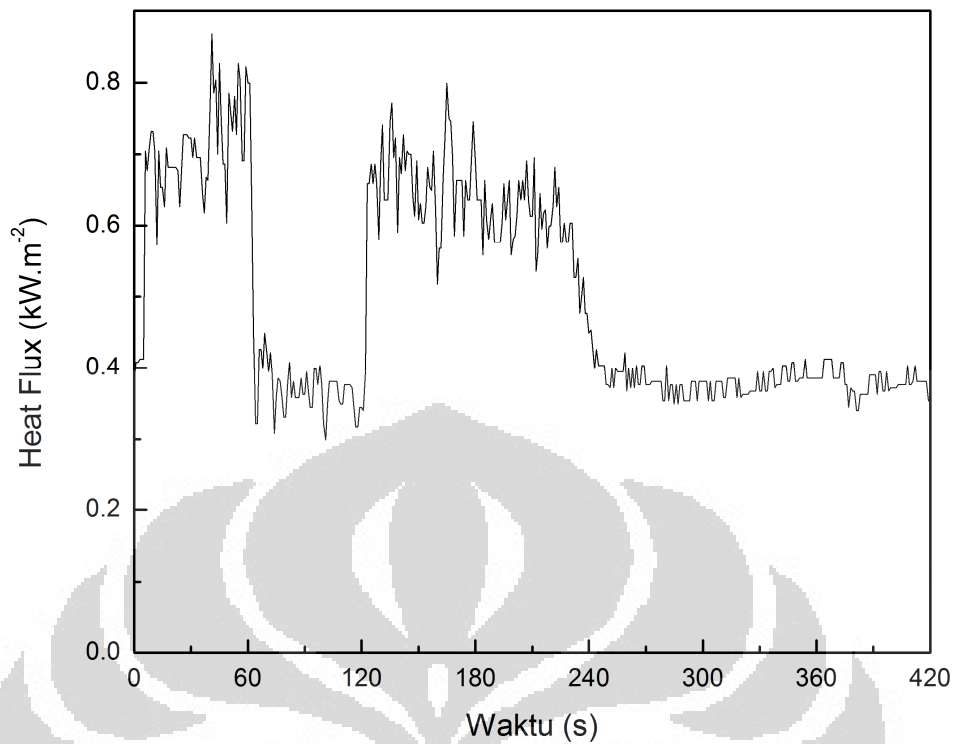


Gambar.4.8 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (150 Psi - sensor *heat flux* di titik 1)

4.3.2 Hasil Pengujian dengan *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 2

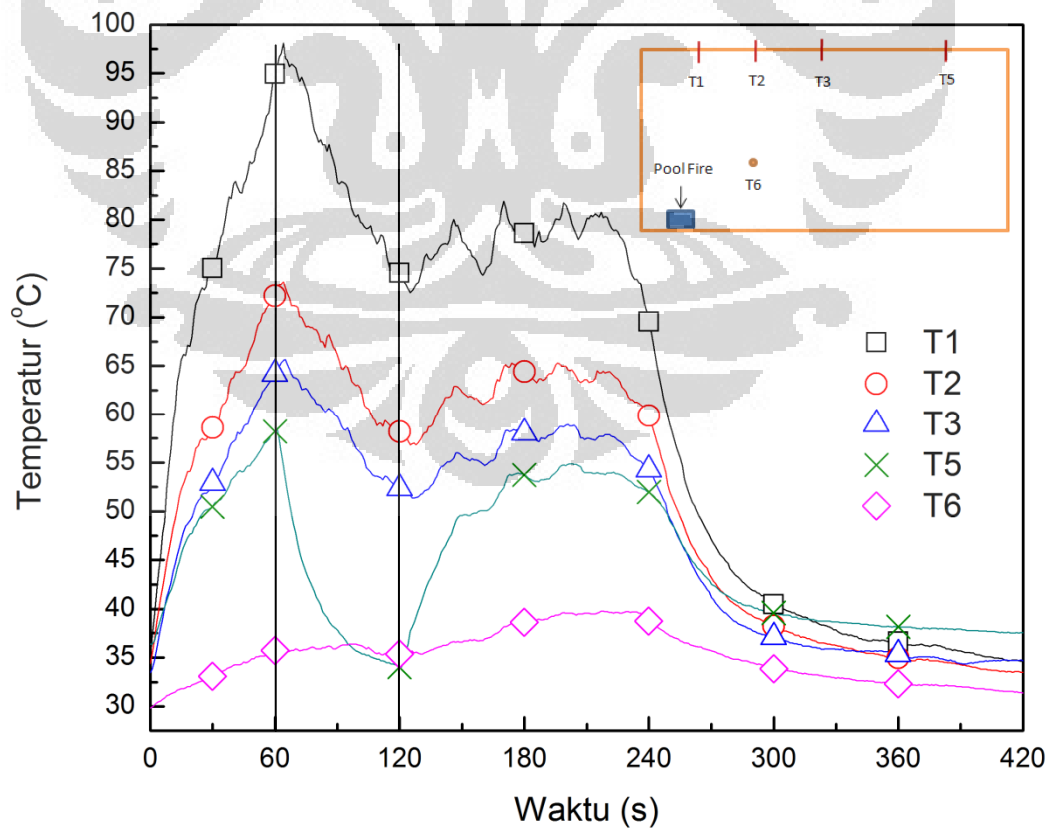


Gambar.4.9 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (150 Psi)

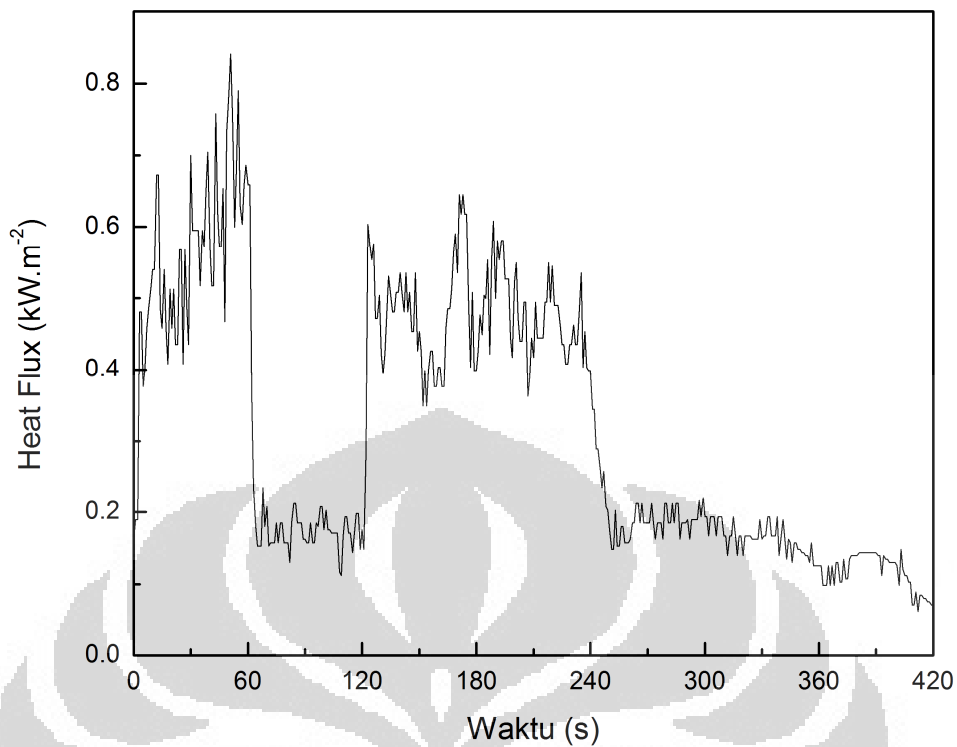


Gambar.4.10 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (150 Psi - sensor *heat flux* di titik 2)

4.3.3 Hasil Pengujian dengan *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 3



Gambar.4.11 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (150 Psi)

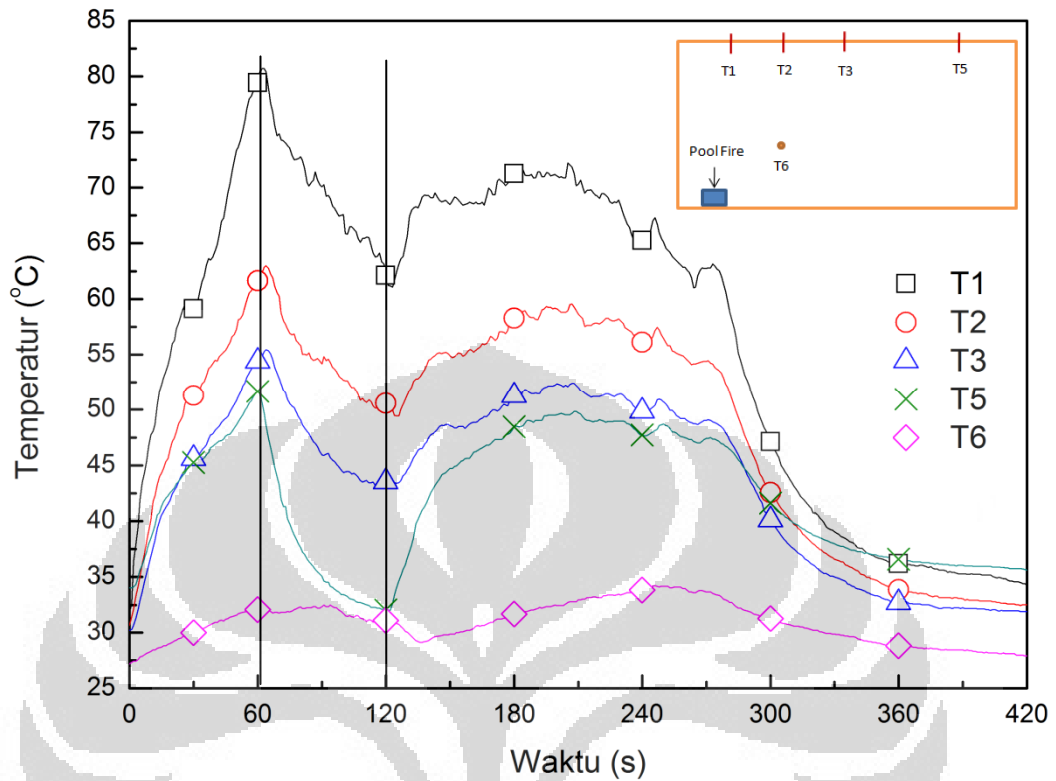


Gambar.4.12 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (150 Psi - sensor *heat flux* di titik 3)

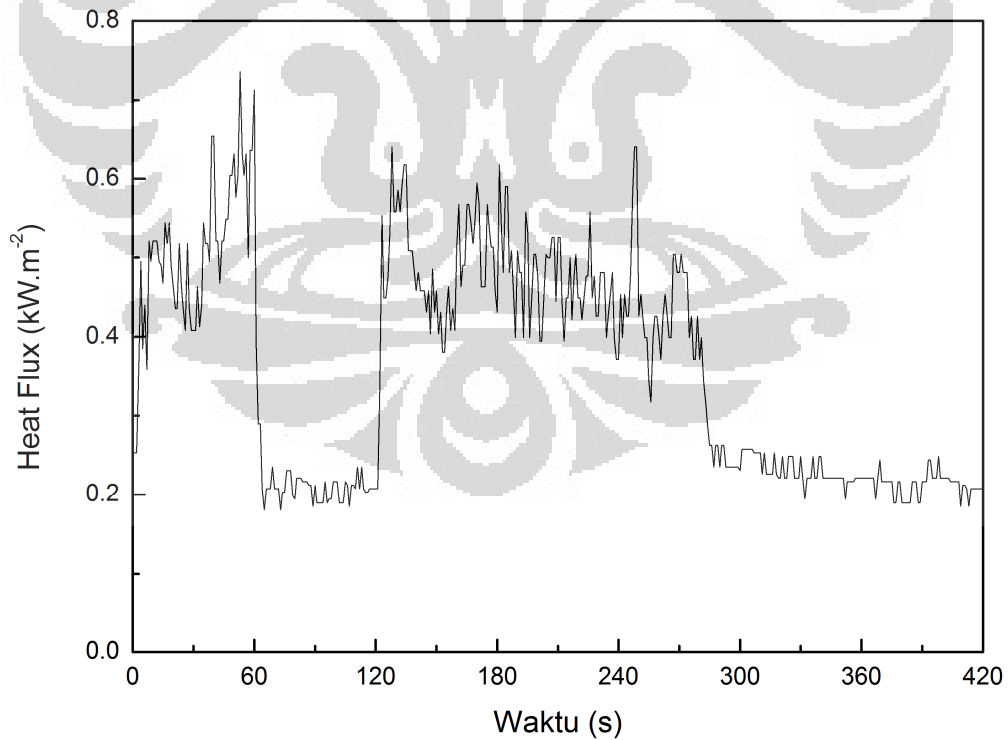
4.4 HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 200 Psi

Sama dengan grafik pada pengujian dengan *water mist*, disini dapat terlihat perubahan temperatur dan *heat flux* pada saat *water mist* dinyalakan. Pada pengujian ini pun termokopel yang dipakai hanya lima, yaitu termokopel 1, 2, 3, 5, dan 6. Penyalaan *water mist* masih sama dengan pengujian pada tekanan 150 Psi, yaitu pada menit ke-1 sampai menit ke-2.

4.4.1 Hasil pengujian dengan *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 1

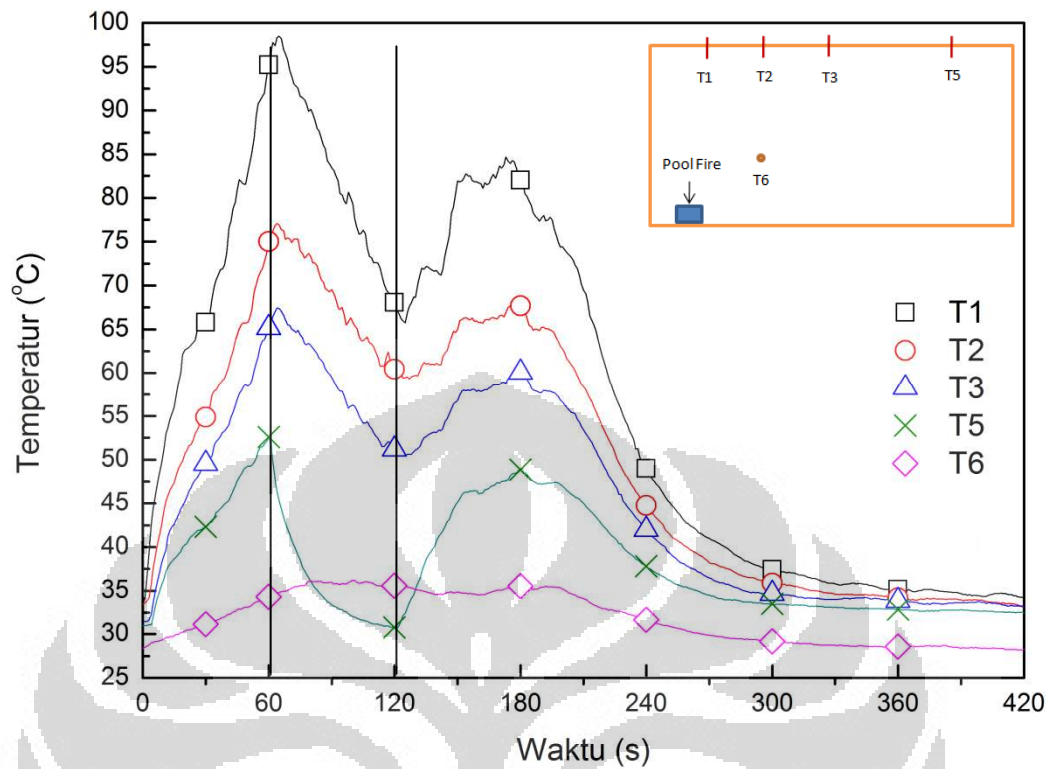


Gambar.4.13 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (200 Psi)

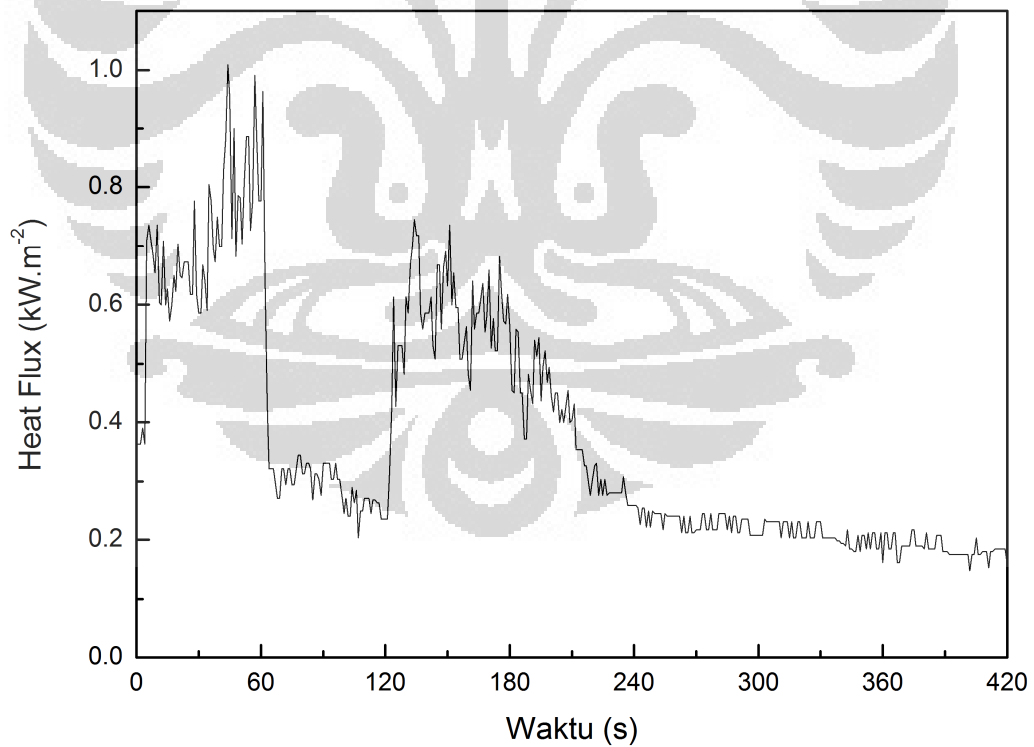


Gambar.4.14 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (200 Psi - sensor *heat flux* di titik 1)

4.4.2 Hasil pengujian dengan *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 2

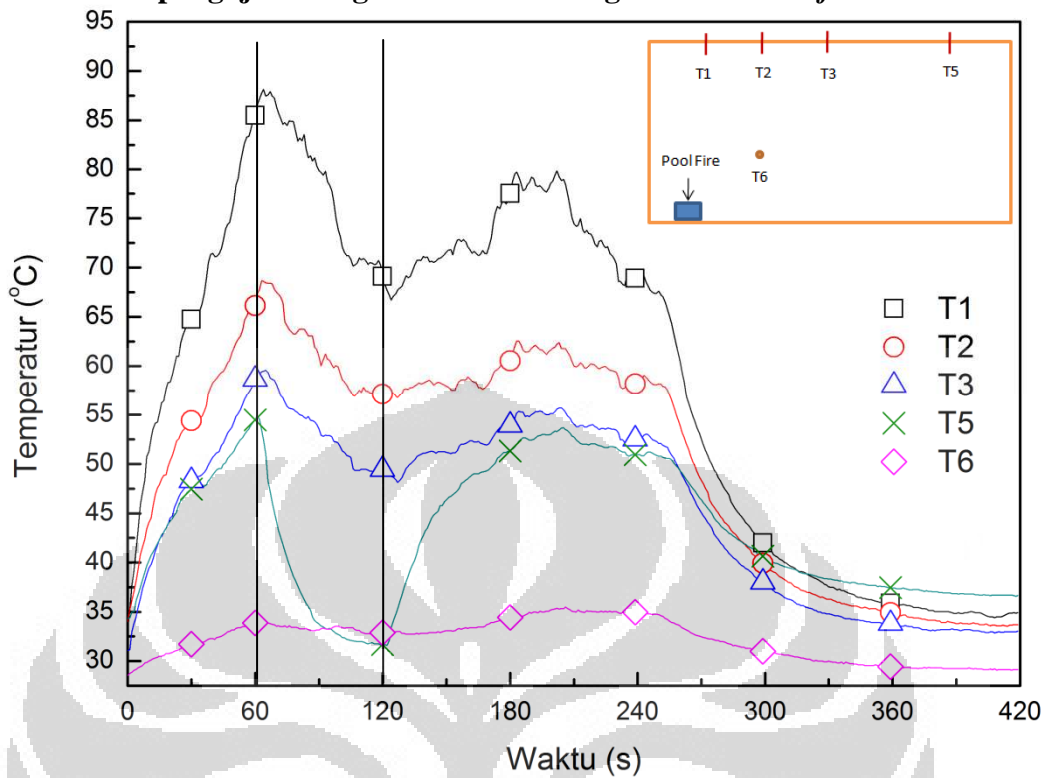


Gambar.4.15 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (200 Psi)

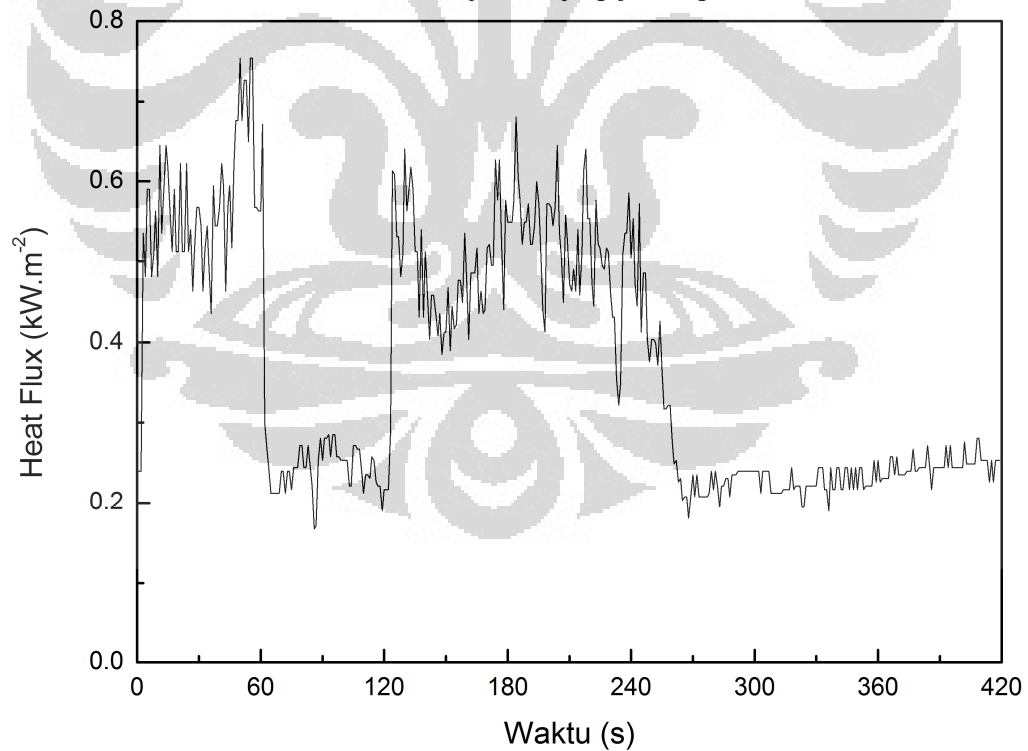


Gambar.4.16 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (200 Psi - sensor *heat flux* di titik 2)

4.4.3 Hasil pengujian dengan *water mist* dengan sensor *heat flux* di titik 3



Gambar.4.17 Grafik distribusi temperatur – pengujian dengan *water mist* (200 Psi)



Gambar.4.18 Grafik *heat flux* – pengujian dengan *water mist* (200 Psi - sensor *heat flux* di titik 3)

4.5 PERSENTASE PENGURANGAN HEAT FLUX

Tabel.4.1 Persentase Pengurangan Heat Flux pada Tekanan 150 dan 200 Psi

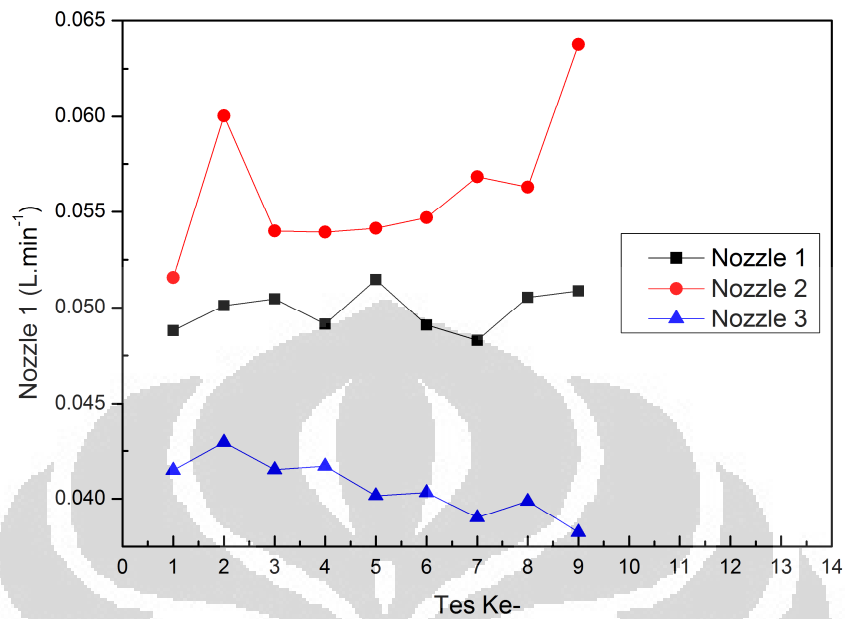
Pengujian	Persen Pengurangan Heat Flux Terukur(%)					
	Tekanan 150 Psi			Tekanan 200 Psi		
	HF1	HF2	HF3	HF1	HF2	HF3
1	84.5	56.9	78.9	70.8	71.0	67.8
2	93.3	74.8	71.8	72.8	69.1	67.6
3	68.1	78.7	72.6	71.5	78.6	69.9
Rata-rata	81.9	70.1	74.4	71.7	72.9	68.4
Rata-rata total	75.5			71.0		

Tabel 4.1 merupakan tabel yang berisi persentase pengurangan heat flux di dalam eksperimen. Nilai tersebut didapatkan dari perbandingan antara selisih heat flux maksimum dan heat flux rata-rata saat pengaplikasian watermist dengan nilai heat flux maksimum. Dari beberapa pengujian didapatkan persentase seperti yang terlihat pada tabel 4.1. Rata-rata total yang didapat untuk tekanan 150 Psi sebesar 75.51% dan untuk tekanan 200 Psi sebesar 71.03%.

4.6 HASIL PENGUJIAN FLOW RATE TIAP NOZZLE

Pengukuran *flow rate* dilakukan untuk mengetahui seberapa besarkah air keluaran dari masing-masing nozzle. Hasil pengukuran ini pulalah yang dijadikan input pada software FDS (Fire Dynamic Simulator).

4.6.1 Hasil Pengukuran Flow Rate dengan Tekanan 150 Psi

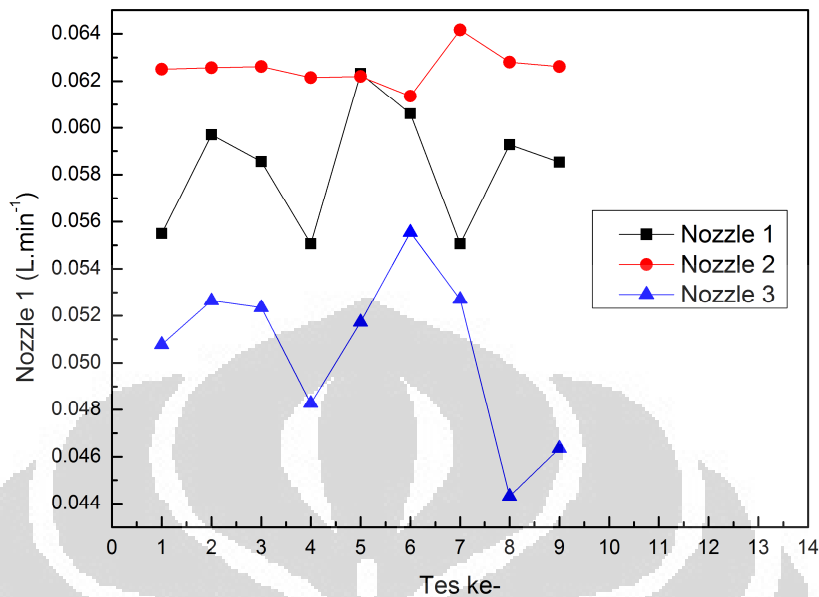


Gambar.4.19 Hasil Pengukuran Flow Rate dengan Tekanan 150 Psi

Dari hasil pengukuran flow rate pada tekanan 150 Psi didapatkan flow rate rata-rata sebagai berikut :

- Nozzle 1 : 0.04986 Liter/menit
- Nozzle 2 : 0.05614 Liter/menit
- Nozzle 3 : 0.04059 Liter/menit

4.6.2 Hasil Pengukuran Flow Rate dengan Tekanan 200 Psi



Gambar.4.20 Hasil Pengukuran Flow Rate dengan Tekanan 200 Psi

Dari hasil pengukuran flow rate pada tekanan 200 Psi didapatkan flow rate rata-rata sebagai berikut :

- Nozzle 1 : 0.058291 Liter/menit
- Nozzle 2 : 0.062551 Liter/menit
- Nozzle 3 : 0.05052 Liter/menit

4.7 ANALISA HASIL PENGUJIAN

4.7.1 Analisa Hasil Pengujian tanpa *Water Mist*

Pada pengujian tanpa menggunakan *water mist* akan terlihat bagaimana distribusi temperatur dan *heat flux* sebagai akibat dari *pool fire*. Terlihat ke-enam temperatur pada tiap-tiap termokopel memiliki *trend* nilai yang sama. Adapun perbedaan nilai tersebut berasal dari pengaruh jarak termokopel terhadap *pool fire*. Semakin dekat dengan *pool fire* tentunya temperatur pun semakin besar dan semakin jauh tentu temperatur akan semakin kecil. Hal ini terlihat pada

temperatur T_1 yang terbesar lalu diikuti T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , dan T_6 . Dari grafik terlihat bahwa temperatur terus meningkat hingga titik puncaknya di awal lalu ia turun dan stabil beberapa saat selanjutnya ia turun mendekati temperatur awal. Kejadian meningkatnya temperatur di awal grafik tersebut bisa jadi dikarenakan di awal asap mengalir secara laminar sehingga temperatur terus meningkat dan beberapa saat kemudian ia tidak dapat mempertahankan laju alirannya lalu terjadilah aliran turbulen yang menyebabkan temperatur turun dan stabil beberapa saat pada ketinggian tertentu lalu terus turun seiring dengan habisnya bahan bakar *pool fire*.

Dari beberapa pengukuran didapatkan area fully developed, yaitu ketika temperatur hendak naik menuju puncak sampai ia hendak turun kembali setelah mencapai temperatur puncaknya berada pada menit ke-1 sampai menit ke-2. Oleh karena itulah dipilih menit ke-1 sampai menit ke-2 untuk penyalaaan *water mist*. Pada saat itulah api berada pada kondisi optimalnya sehingga *water mist* dapat secara signifikan mengurangi kalor dari api tersebut. Temperatur puncak untuk termokopel 1 yang berada di atas *pool fire* berada pada kisaran $90 - 110^\circ\text{C}$. Sedangkan *heat flux* berada pada kisaran $0.2 - 1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Nilai tersebut jika kita lihat pada tabel 2.3 di bab.2 digambarkan sebagai sebuah nilai dari paparan sinar matahari yang tidak menyebabkan kulit terbakar. Hal ini dirasakan oleh penguji sendiri saat melakukan eksperimen dengan meletakkan tangan dekat dengan sensor heat flux, alhasil panas yang terasa tidak begitu terlalu menyakitkan bagi kulit seperti yang digambarkan pada tabel 2.3 di bab.2.

4.7.2 Analisa Hasil Pengujian dengan *Water Mist* tekanan 150 Psi

Pada pengujian dengan *water mist* ini penyalaan dilakukan pada menit ke-1 hingga menit ke-2. Terlihat pada gambar.4.5 sampai dengan 4.10 terjadi penurunan yang signifikan ketika *water mist* mulai dinyalakan. Termokopel 1, 2, 3, 5, dan 6 menunjukkan trend temperatur yang sama, yakni terjadinya penurunan pada menit ke-1 sampai menit ke-2. Hal ini bisa disebabkan oleh proses penguapan dari butiran *water mist* karena kalor yang ditransfer oleh *pool fire*. Pada awalnya kalor dari *pool fire* mengenai langsung termokopel. Namun setelah *water mist* dinyalakan, kalor *pool fire* baik itu berupa kalor konveksi ($Q_{\text{conv}} =$

$h.A.\Delta T$) maupun kalor radiasi ($Q_{\text{rad}} = \epsilon g.\sigma.T^4$) berkurang karena sebagiannya digunakan untuk menaikkan temperatur dari *water mist* (kalor sensibel, $Q = m.C_p.\Delta T$) dan juga menguapkan butiran-butiran *water mist* tersebut (kalor laten, $Q = m.U$) karena pada prinsipnya kalor mengalir dari suatu sistem yang panas menuju sistem yang dingin. Skenario perpindahan kalor di dalam kompartemen dapat dilihat di lampiran. Terlihat pada grafik pengujian ketika sensor *heat flux* diletakkan pada posisi 2, T_1 yang semula 100°C turun sampai 80°C , T_2 yang semula 76°C turun sampai 62°C , T_3 yang semula 68°C turun sampai 57°C , dan T_5 yang semula 56°C turun sampai 27°C T_6 yang semula 40°C menjadi 38°C . Pembacaan temperatur pada termokopel setelah penyalaan *water mist* dari beberapa percobaan cenderung meningkat. Hal ini bisa disebabkan turunnya asap ketika *water mist* tersebut dinyalakan dan mengenai termokopel 6. Presentase penurunan nilai *heat flux* pada tekanan 150 Psi mencapai 75.51%. Angka tersebut merupakan perbandingan antara delta dari nilai *heat flux* maksimum sebelum penyalaan *water mist* dan nilai *heat flux* rata-rata setelah penyalaan *water mist* dengan nilai *heat flux* maksimum sebelum penyalaan *water mist*.

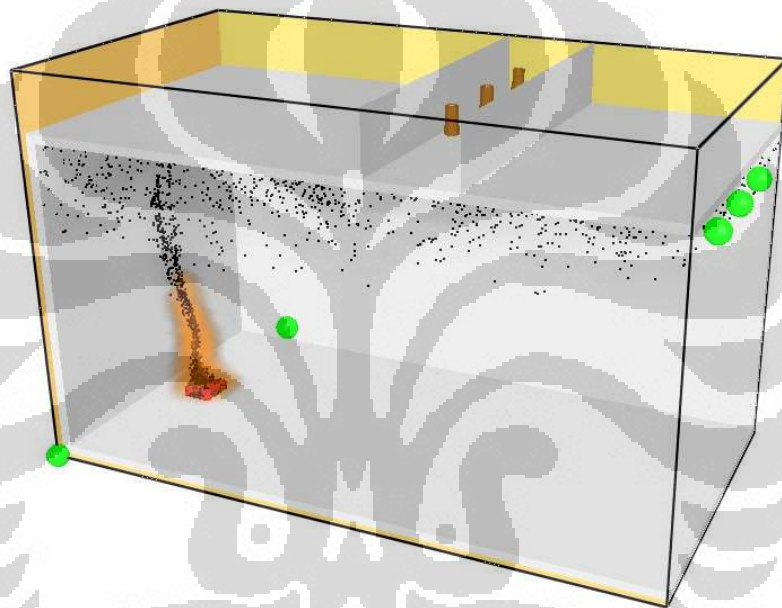
4.7.3 Analisa Hasil Pengujian dengan *Water Mist* tekanan 200 Psi.

Seperti pada pengujian dengan *water mist* dengan tekanan 150 Psi, pada tekanan 200 Psi pun terjadi penurunan yang signifikan dari temperatur dan *heat flux* saat *water mist* dinyalakan. Temperatur pada termokopel 1,2,3, dan 5 memiliki tren penurunan yang sama. Hal ini juga dikarenakan sebagian kalor pool fire(kalor radiasi dan kalor konveksi) yang berkurang karena untuk menaikkan temperatur *water mist* dan juga merubah fase air dari butiran *water mist* menjadi uap air. Pada pengukuran temperatur dan sensor *heat flux* berada di titik 1 terlihat penurunan yang cukup signifikan seperti T_1 yang semula 80°C turun sampai 62°C , T_2 yang semula 62°C turun sampai 52°C , T_3 yang semula 55°C turun sampai 33°C , dan T_5 yang semula 53°C turun sampai 33°C . Adapun presentase penurunan nilai *heat flux* pada tekanan 200 Psi mencapai 71.03%.

4.8 HASIL SIMULASI FDS

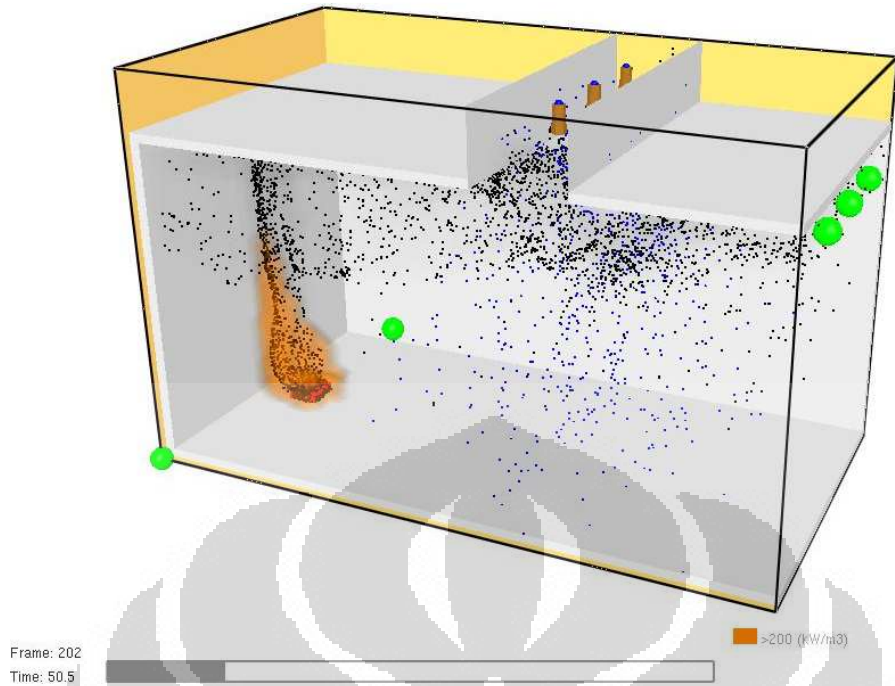
4.8.1 Skenario simulasi FDS

Berikut ditampilkan skenario simulasi pada software FDS(Fire Dynamic Simulator). Terlihat pada gambar 4.21 bagaimana kebakaran terjadi pada kompartemen. Set up simulasi dilakukan mirip dengan eksperimen dimana *pool fire* terletak di ujung kompartemen, nozzle yang berjumlah tiga buah diletakkan kira-kira 63 cm dari *pool fire* yang menjadi tirai kabut air, dan *heat flux* diletakkan di ujung luar kompartemen untuk melihat *enclosure effect* dari *water mist*.



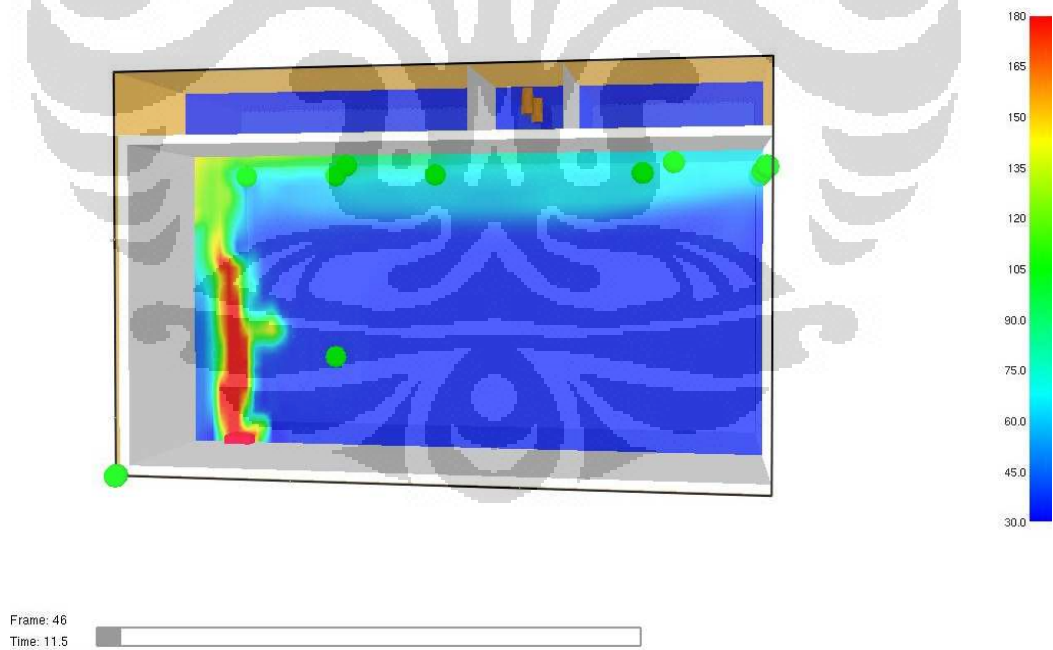
Gambar.4.21 Skenario pada software FDS (Fire Dynamic Simulator)

Pada simulasi ini penyalaan *water mist* dilakukan setelah 50 detik *pool fire* menyala seperti terlihat pada gambar.4.22 titik-titik berwarna hitam merupakan partikulat dari asap dan titik-titik biru merupakan butiran dari *water mist*.



Gambar.4.22 Skenario penyalaaan *water mist* pada software FDS (Fire Dynamic Simulator)

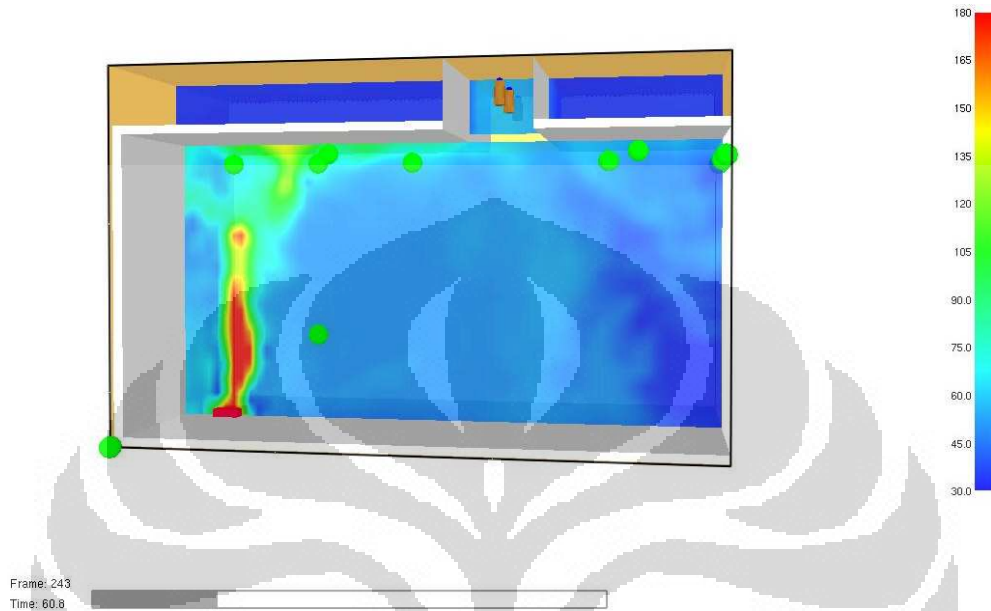
4.8.2 Slice temperatur searah Sumbu.X pada simulasi FDS



Gambar.4.23 *Slice* temperatur searah sumbu.X sebelum *water mist* dinyalakan

Pada gambar 4.23 terlihat bagaimana distribusi temperatur searah sumbu.X yang tepat berada di tengah-tengah dari kompartemen. Pada bagian atas

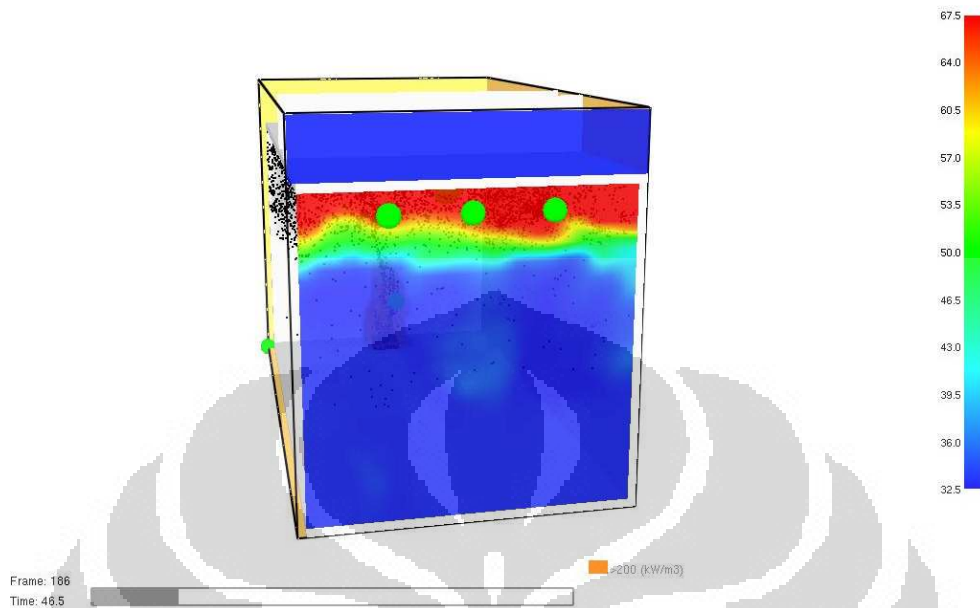
kompartemen terlihat penyebaran asap yang keluar dari kompartemen ditandai dengan warna biru muda. Dari gambar tersebut terlihat temperatur berkurang seiring dengan jauhnya jarak yang ditempuh asap dari *pool fire*.



Gambar.4.24 *Slice* temperatur searah sumbu.X setelah water mist dinyalakan

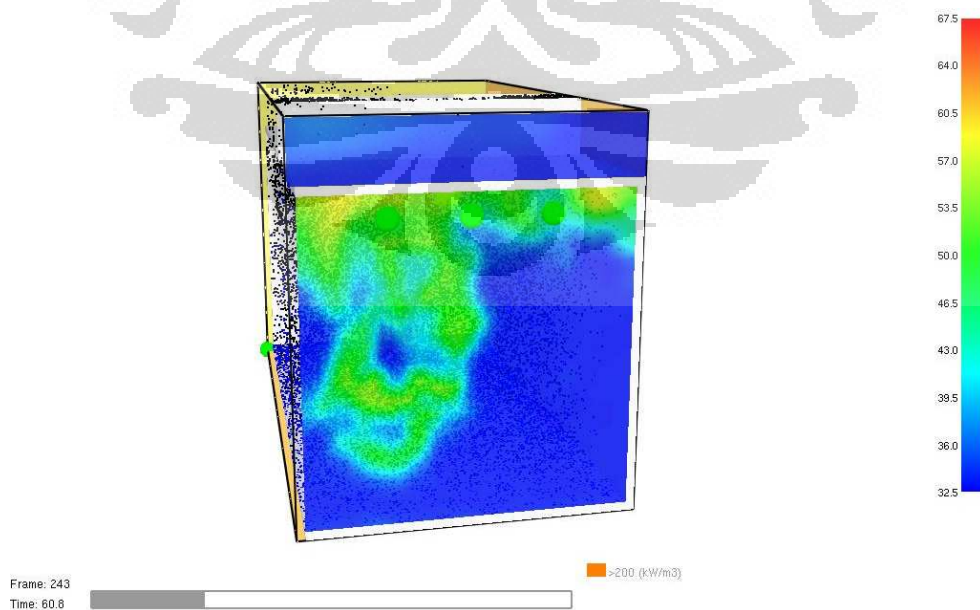
Pada gambar 4.24 terlihat distribusi temperatur saat *water mist* dinyalakan. Konsentrasi temperatur yang semula berada di bagian atas kompartemen terpecah karena masuknya *water mist* yang menghalangi jalannya asap tadi.

4.8.3 Slice temperatur searah Sumbu.Y didekat sensor *heat flux* pada simulasi FDS



Gambar.4.25 Skenario penyalaaan *water mist* pada software FDS (Fire Dynamic Simulator)

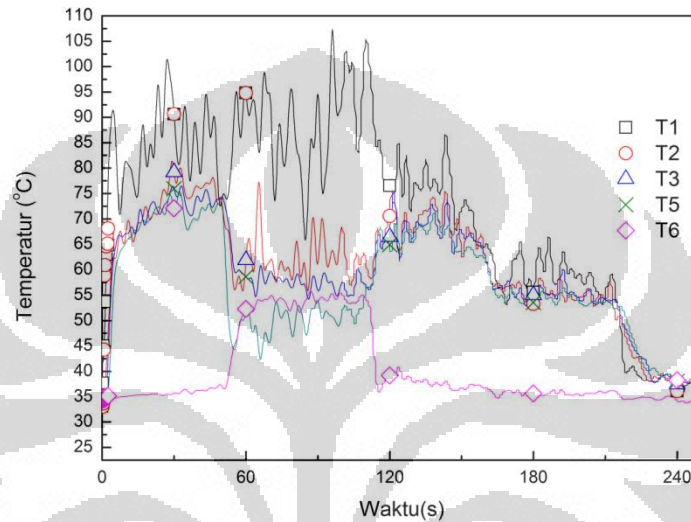
Pada gambar.4.25 terlihat distribusi temperatur di bagian sensor *heat flux*. Di bagian atas tampak temperatur berkisar antara 60.5°C sampai dengan 67.5°C . Seperti pada gambar sebelumnya konsentrasi temperatur berada pada bagian atas kompartemen karena adanya aliran asap.



Gambar.4.26 Skenario penyalaaan *water mist* pada software FDS (Fire Dynamic Simulator)

Sama seperti pada slice temperatur pada sumbu.x, di sini pun terjadi pengurangan temperatur secara mendadak di daerah sekitar peletakkan sensor *heat flux* karena terpecahnya konsentrasi asap di bagian atas kompartemen oleh masuknya *water mist*.

4.8.4 Distribusi Temperatur pada simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator)



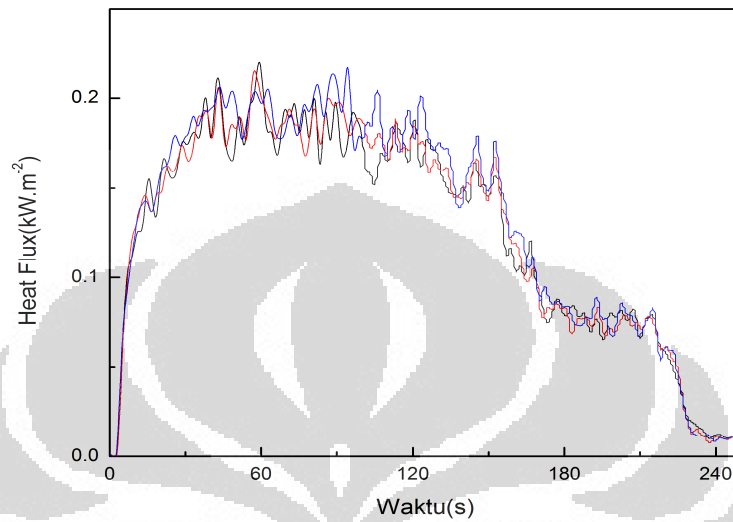
Gambar.4.27 Grafik Temperatur pada Simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator)

Pada FDS (Fire Dynamic Simulator) dilakukan pula pengukuran temperatur. Peletakan termokopel sudah seperti yang terdapat pada eksperimen.. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa terjadi pula penurunan temperatur pada Termokopel 2, 3, dan 5 karena *enclosure effect* dari *water mist*. Sedangkan pada termokopel 6 terjadi kenaikan temperatur. Hal ini dikarenakan saat *water mist* dinyalakan, asap terdorong ke bawah mendekati termokopel 6 sehingga temperatur di bagian bawah kompartemen relatif mengalami kenaikan.

4.8.5 Grafik Heat Flux pada simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator)

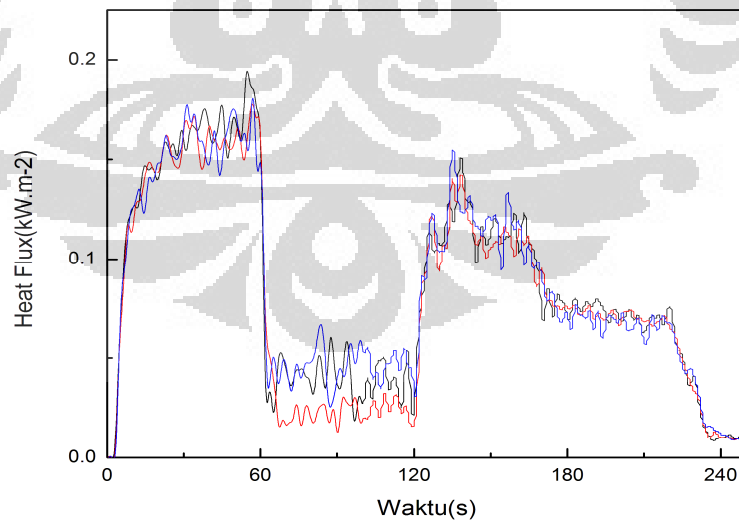
4.8.5.1 Grafik hasil simulasi FDS tanpa *Water Mist*

4.8.5.2



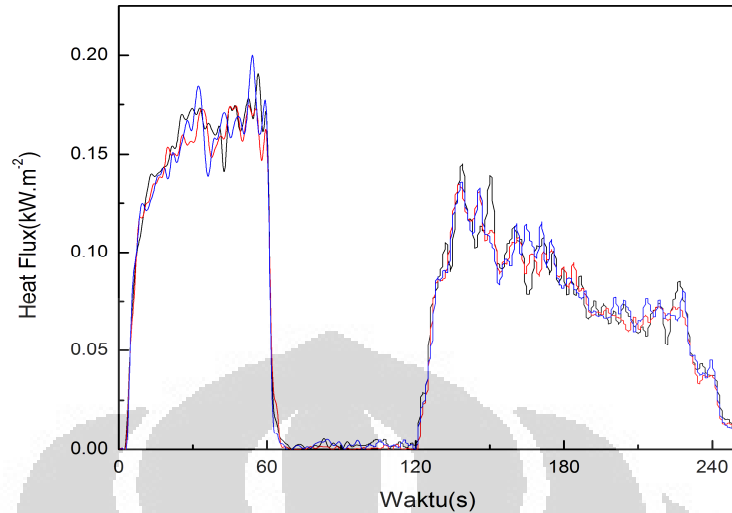
Gambar.4.26 Grafik Hasil Simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator) tanpa *Water Mist*

4.8.5.2 Grafik hasil simulasi FDS dengan *Water Mist* (Tekanan Kerja 150 Psi)



Gambar.4.27 Grafik Hasil Simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator) dengan *Water Mist* (150 Psi)

4.8.5.3 Grafik hasil simulasi FDS dengan *Water Mist*(Tekanan Kerja 200 Psi)



Gambar.4.28 Grafik Hasil Simulasi FDS (Fire Dynamic Simulator) dengan *Water Mis*(200 Psi)

4.8.5.4 Analisa Grafik *Heat Flux* hasil simulasi FDS

Dari ketiga grafik *heat flux* di atas, titik puncak *heat flux* rata-rata mencapai 0.2 kW.m⁻². Terlihat pada grafik dengan *water mist* (150 Psi) terjadi penurunan yang sama seperti grafik *heat flux* yang didapat melalui eksperimen sebelumnya. Hal sama terjadi pada simulasi, yakni penurunan tersebut merupakan dampak dari *enclosure effect* dari *water mist*. Penurunan *heat flux* terlihat lebih jelas pada grafik dengan tekanan 200 Psi yang menekan nilai *heat flux* mencapai kisaran 0 kW.m⁻². Adapun nilai *heat flux* yang didapat dari simulasi memiliki nilai yang berbeda dengan eksperimen bergantung oleh inputan yang dimasukkan pada *software* FDS, yakni material sensor yang meliputi konduktivitas termal, densitas, emisivitas, dan specific heat.

4.9 PERHITUNGAN KARAKTERISTIK POOL FIRE

4.9.1 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 :

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

Untuk bahan bakar bensin nilai dari adalah m_{∞}'' 0.055 kg/m²s, $k\beta$ adalah 2.1 m⁻¹ dan ΔH_c adalah 40100 KJ/kg. Dengan D = 6,3 cm maka laju pembakaran untuk *pool fire* tersebut :

$$\dot{m}'' = 0.055 \text{ kg/m}^2 \text{ s} (1 - e^{-2.1 \times 0.063})$$

$$\dot{m}'' = 0.055 \text{ kg/m}^2 \text{ s} (1 - 0.876)$$

$$\dot{m}'' = 6.815 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

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

$$\dot{Q}_c = \dot{m}'' \Delta H_c A (\text{kW})$$

$$\dot{Q}_c = 6.815 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \times 40100 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \times 3.14 \times (0.063/2)^2 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_c = 0.8514 \text{ kW}$$

4.9.2 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 (m³)

D = diameter dari pool (m)

v = laju pembakaran (regression rate) (m/sec) = $\frac{\dot{m}''}{\rho}$

Maka dengan memasukkan nilai-nilai parameter di atas,

$$t_b = \frac{4 \times 8 \times 10^{-6}}{3.14 \times (6.3 \times 10^{-2})^2 \times \left(\frac{6.815 \times 10^{-3}}{740} \right)}$$

$$t_b = \frac{3.2 \times 10^{-5}}{0.0125 \times 3.693 \times 10^{-6}}$$

$$t_b = 278.8079 \text{ s} = 4 \text{ menit } 38 \text{ detik}$$

4.10 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 1:6, 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.

$$\dot{Q}_M = \dot{Q}_F \left(\frac{L_M}{L_F} \right)^{\frac{5}{2}}$$

$$t_F = t_M \left(\frac{L_F}{L_M} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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

$$\dot{Q}_F = 0.8514 \text{ kW} : \left(\frac{1}{6} \right)^{\frac{5}{2}}$$

$$\dot{Q}_F = 75.077 \text{ kW}$$

Dengan mengambil nilai untuk waktu pemadaman pada skala model, maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan pool fire dengan nilai kalor 24098.4 kW untuk padam;

$$t_F = 278.8079 \times (6)^{\frac{1}{2}}$$

$$t_F = 682.937 \text{ detik} = 11 \text{ menit } 23 \text{ detik}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain;

1. Terjadi penurunan *heat flux* yang cukup signifikan setelah *water mist* dinyalakan. Pada tekanan 150 Psi didapat penurunan rata-rata 75.51% dan 71.03% pada tekanan 200 Psi.
2. Penurunan *heat flux* berkorelasi dengan penurunan temperatur pada termokopel 1,2,3, dan 5.
3. Air dari *water mist* digunakan sebagai tirai penahan panas dari api dimana kalor *pool fire* digunakan untuk merubah temperatur dari *water mist* (kalor sensibel) dan juga untuk merubah fase dari yakni menguapkan air dari *water mist*.
4. Kalor dari api diteruskan secara konveksi dan radiasi menuju *water mist*.
5. Hasil simulasi FDS memiliki tren yang sama dengan hasil dari eksperimen pada *heat flux*. Namun memiliki range nilai yang cukup jauh berbeda dengan eksperimen.

5.2 SARAN

Ada beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut :

1. Diperlukannya lebih banyak lagi titik-titik pengukuran *heat flux*, untuk melihat distribusi *heat flux* pada kompartemen di bagian setelah pengaplikasian tirai kabut air.
2. Perbaikan pada sistem bukaan *flap* untuk mendapatkan data yang lebih akurat.
3. Perlu diperbanyak variasi tekanan kerja pada *pressure vessel* untuk melihat pengaruhnya terhadap penurunan *heat flux* dan distribusi temperatur.

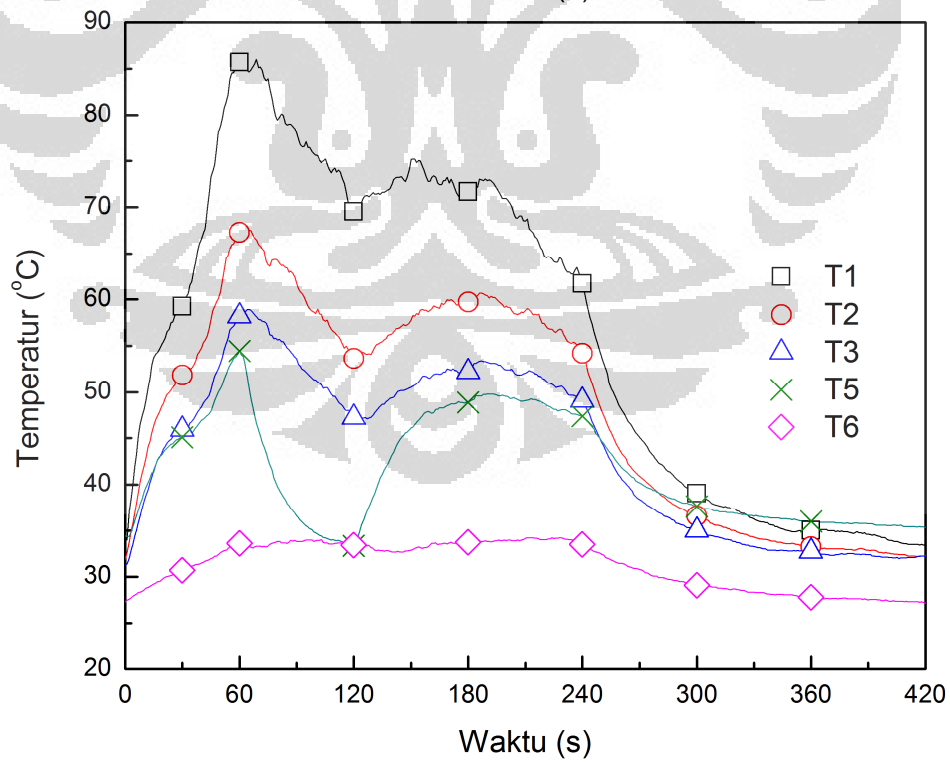
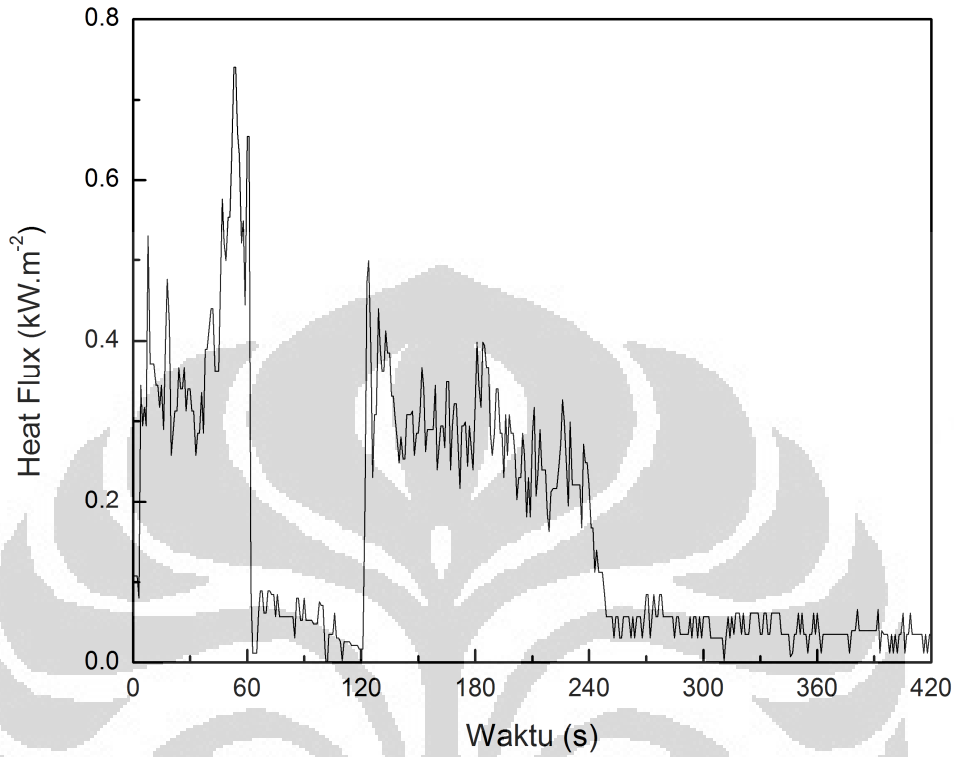
4. Perlu dilakukan variasi dari bahan bakar, misalnya menggunakan kayu dan lain-lain untuk melihat berbagai variasi grafik heat flux dan distribusi temperatur.
5. Pengambilan data sebaiknya dilakukan saat cuaca cerah dan angin tidak bertiup terlalu kencang dimana kondisi setiap pengambilan data diharapkan sama dengan pengambilan data di hari sebelumnya.
6. Penggunaan data logger seperti NI(National Instrument) yang menyimpan digit angka lebih banyak direkomendasikan agar data yang didapat lebih akurat.
7. Penggunaan data logger milivolt direkomendasikan agar mempermudah pengkonversian ke dalam nilai *heat flux*(kW/m²).
8. Penggunaan alat safety terutama masker sangat diwajibkan saat pengambilan data karena banyaknya asap yang terbentuk yang dapat membahayakan praktikan.
9. Nozzle water mist direkomendasikan untuk digunakan dalam penelitian berikutnya untuk mendapatkan mist yang lebih baik.
10. Pada bagian sisi belakang kompartemen sebaiknya terbuat dari kaca yang tahan api. Hal ini dimaksudkan untuk mempermudah praktikan memantau kondisi api.
11. Pada penelitian selanjutnya diharapkan bagian bawah kompartemen dilubangi agar tirai kabut air secara sempurna terbentuk dimana air keluaran nozzle tidak tersebar di dalam kompartemen melainkan jatuh terus ke bawah melalui lubang kompartemen tersebut (gambar set up eksperimen dapat dilihat di lampiran).

DAFTAR ACUAN

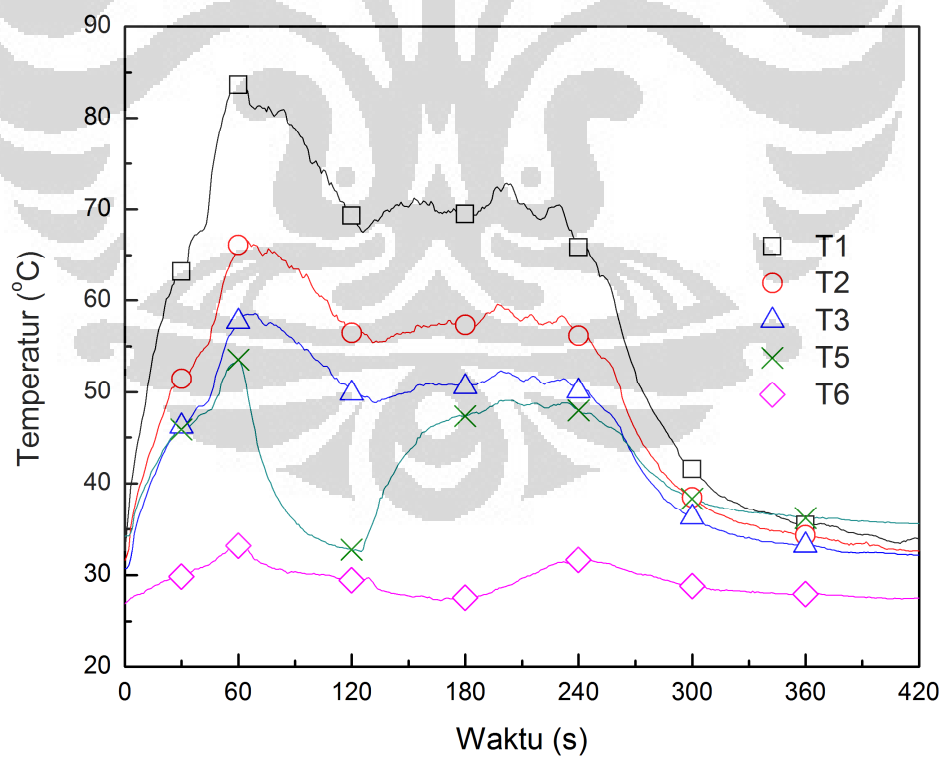
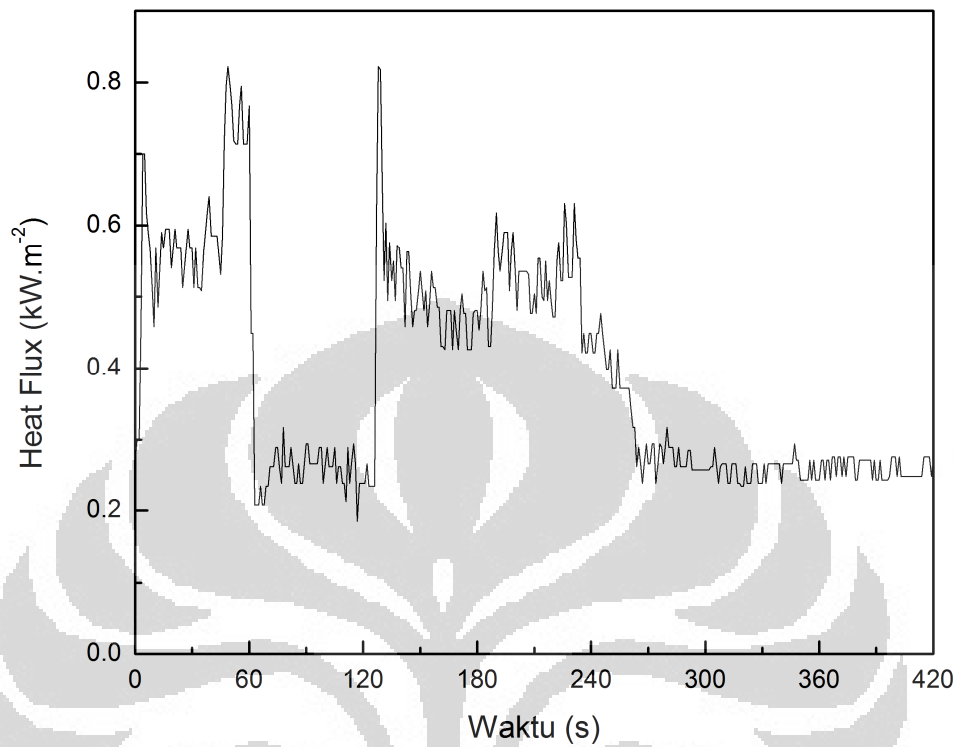
1. <http://www.straightdope.com/columns/read/2425/what-exactly-is-fire>
2. Quintere, G. James. *Fundamentals of Fire Phenomena*. John Wiley & Sons, 2006.
3. "Segi Empat Api".2009.Soekarno-Hatta *Rescue & Fire*. 4 Mei 2009
<<http://www.pkppksoekarno-hatta.co.cc/2009/05/segi-empat-api.html>>
4. Janssens, M. L., *Principles of Fire Behavior and Fire Modeling, Fire Protection Engineering Symposium*, Portland, OR, November 7-8, 2002.
5. "Pencegahan Kebakaran". 2009. Spesialis Kebakaran Indonesia(SKAI). 2009.
< <http://skaifire.com/content/view/15/1/>>
6. Kathy, A. and Notarianni, P. E., 1994, "Water Mist Fire Suppression Systems," *Proceeding of Technical Symposium on Halon Alternatives, Society of Fire Protection Engineers and PLC Education Foundation*, Knoxville, TN, 57–64.
7. Alpert, R. L., 1993, "Incentive for Use of Misting Spray as a Fire Suppression Flooding Agent," *Proceedings of Water Mist Fire Suppression Workshop*,31–36.
8. Mawhinney, J. R. and Eng, P., 1993, "Engineering Criteria for Water Mist Fire Suppression System," *Proceedings of Water Mist Fire Suppression Workshop*, 37–73.
9. Giancoli, Douglas C. 2006. Fisika, edisi kelima, Jilid 1., Penerbit Erlangga, Jakarta.
10. *Heat Flux Transducers and Infrared Radiometers For the Direct Measurement of Heat Transfer Rates*. Medhterm Corporation.
11. <http://www.hukseflux.com/thermalScience/heatFlux.html>
12. Drysdale Dougal. An Introduction to fire Dyanamics, 2nd Edition, 1998.
13. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition 2002,pp 3-
14. Certificate of calibration of Medtherm Corporation for sensor type Schmidt-Boelter model no.64-10SB-20
15. F.Kreith (editor), "The CRC Handbook of Thermal Engineering", CRC Press, 2000.



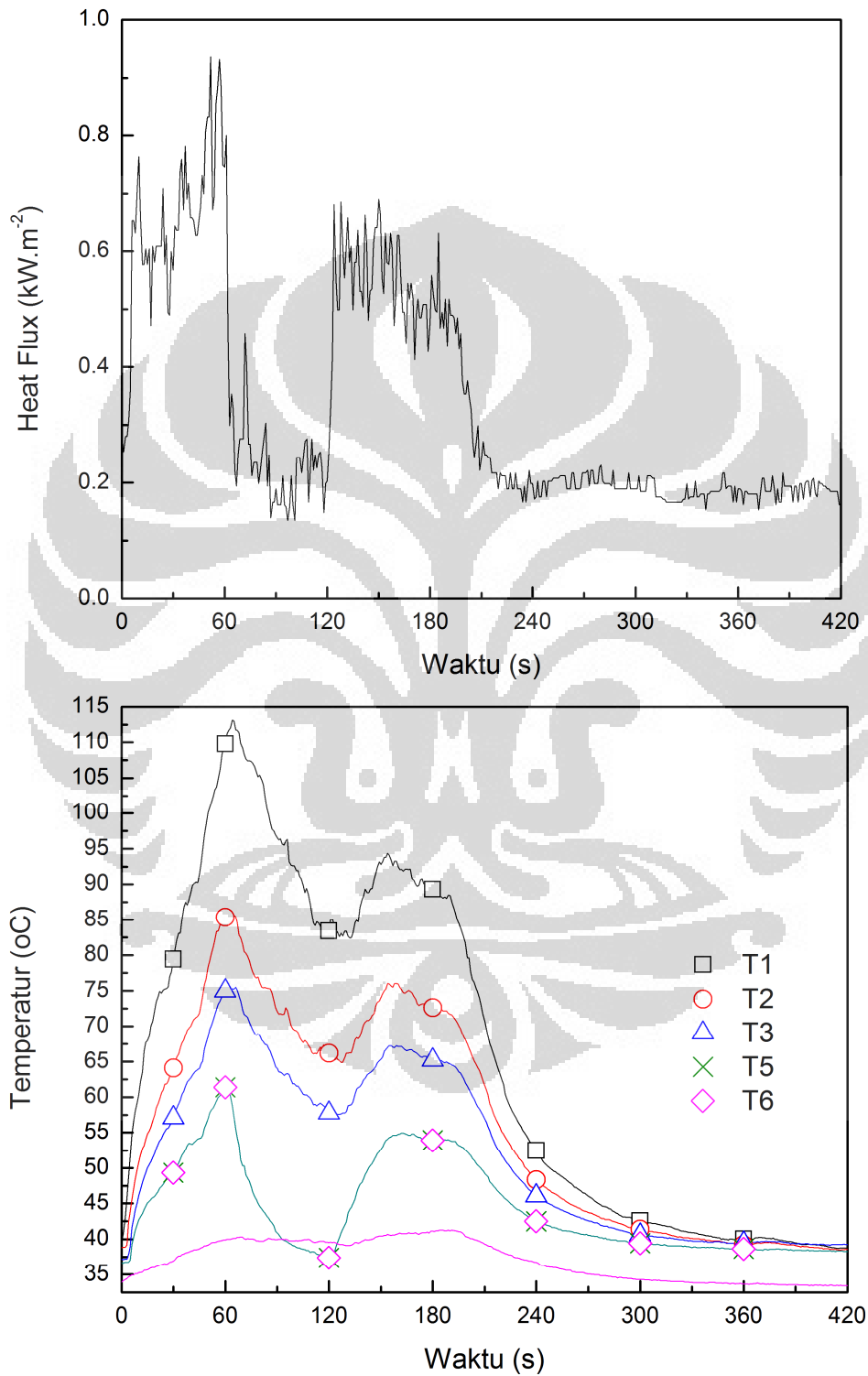
HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 150 Psi Heat Flux di titik 1
Pengujian 1



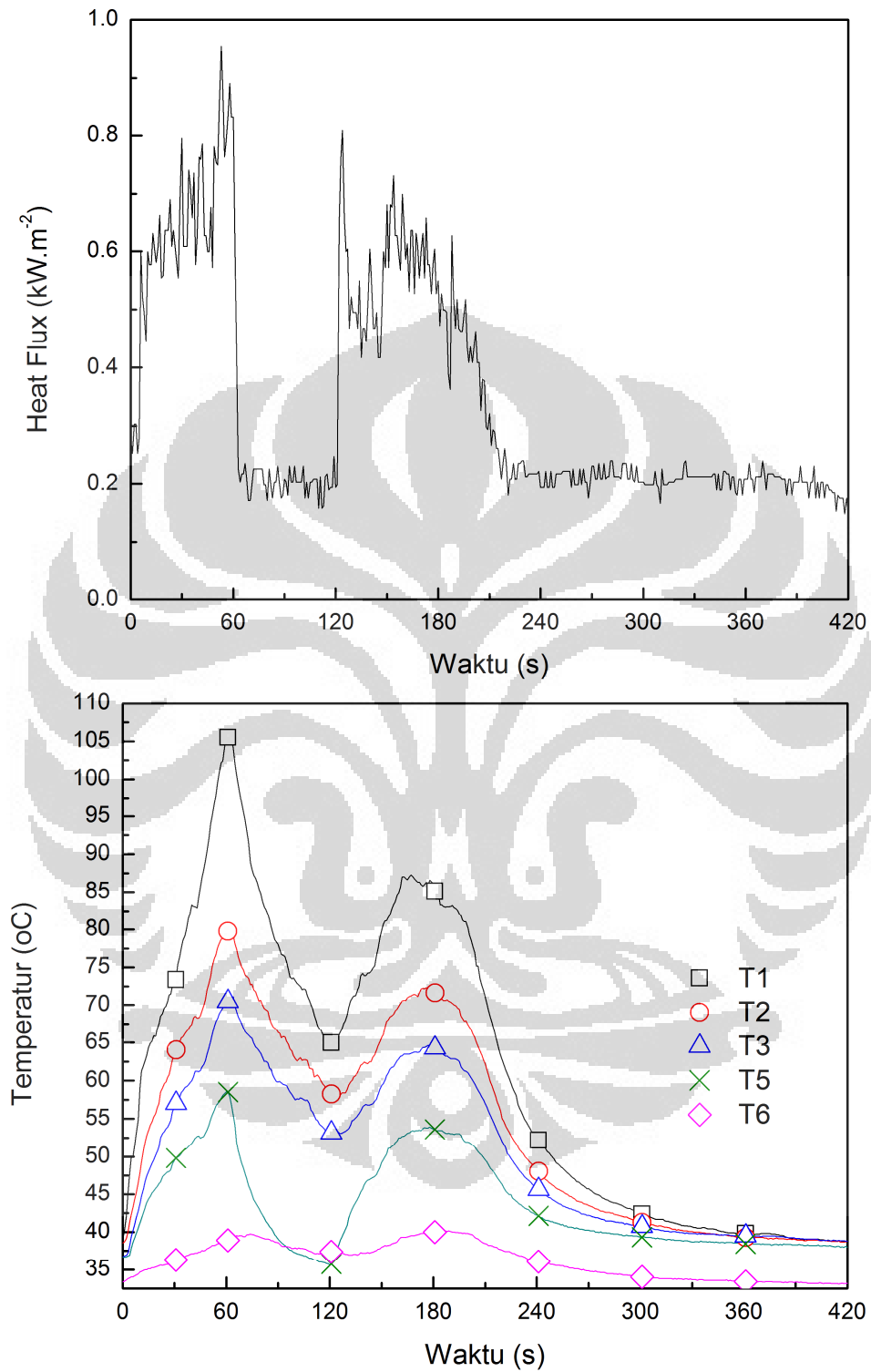
Pengujian 2



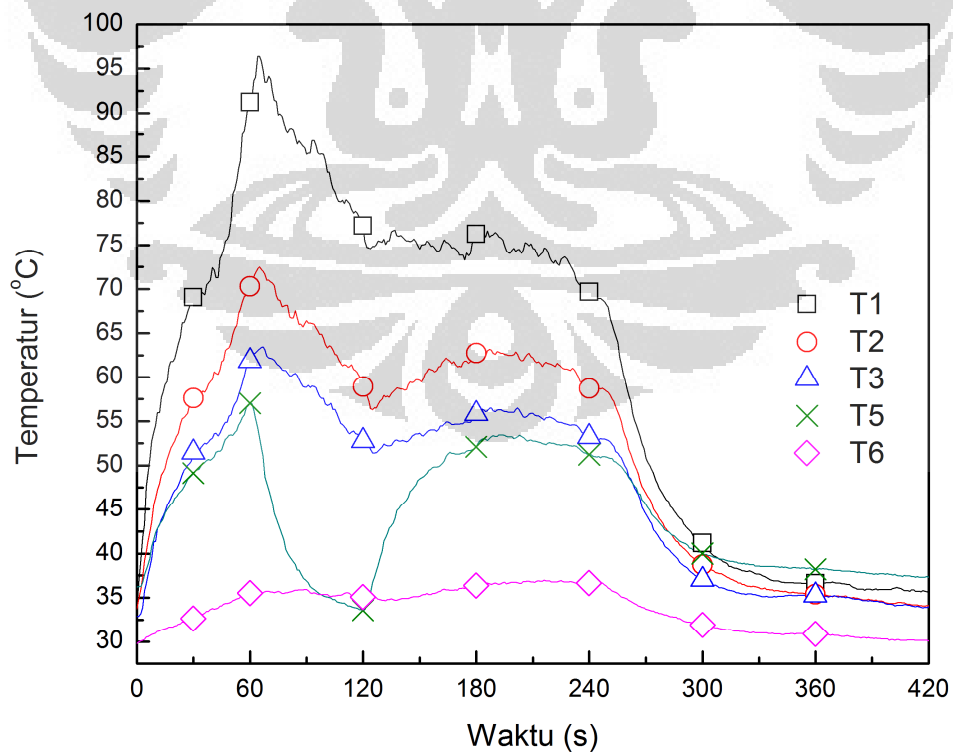
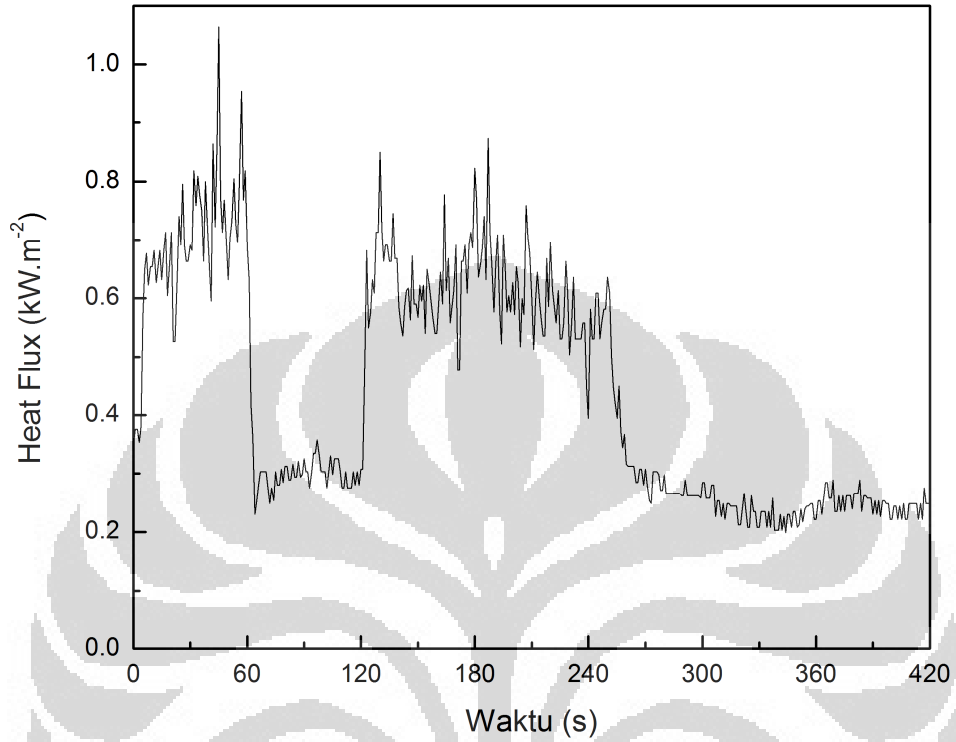
HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 150 Psi Heat Flux di titik 2
Pengujian 1



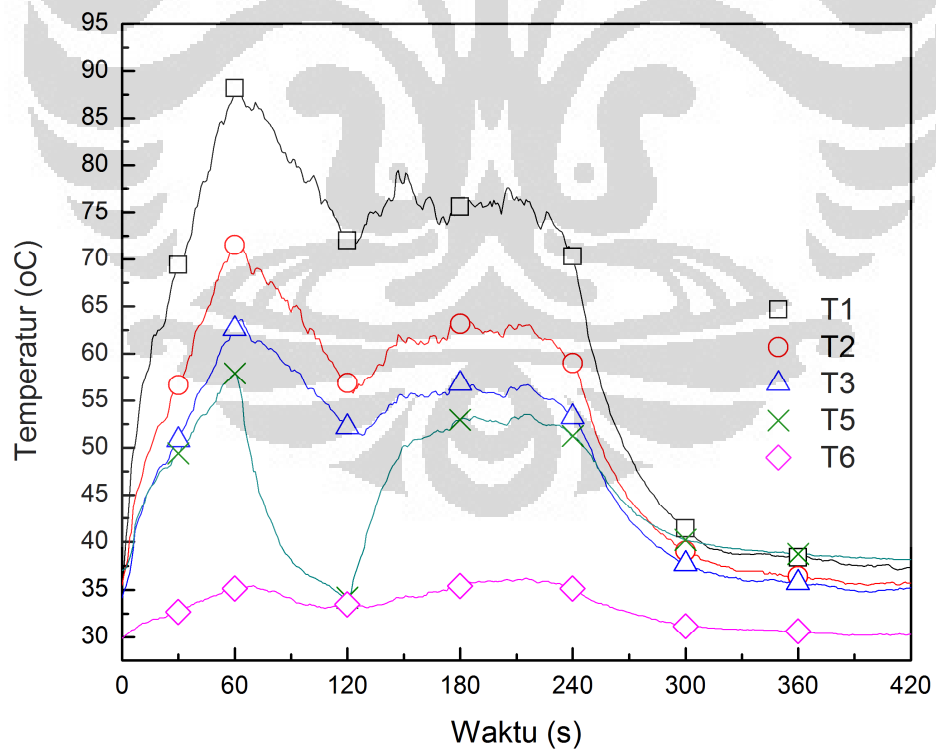
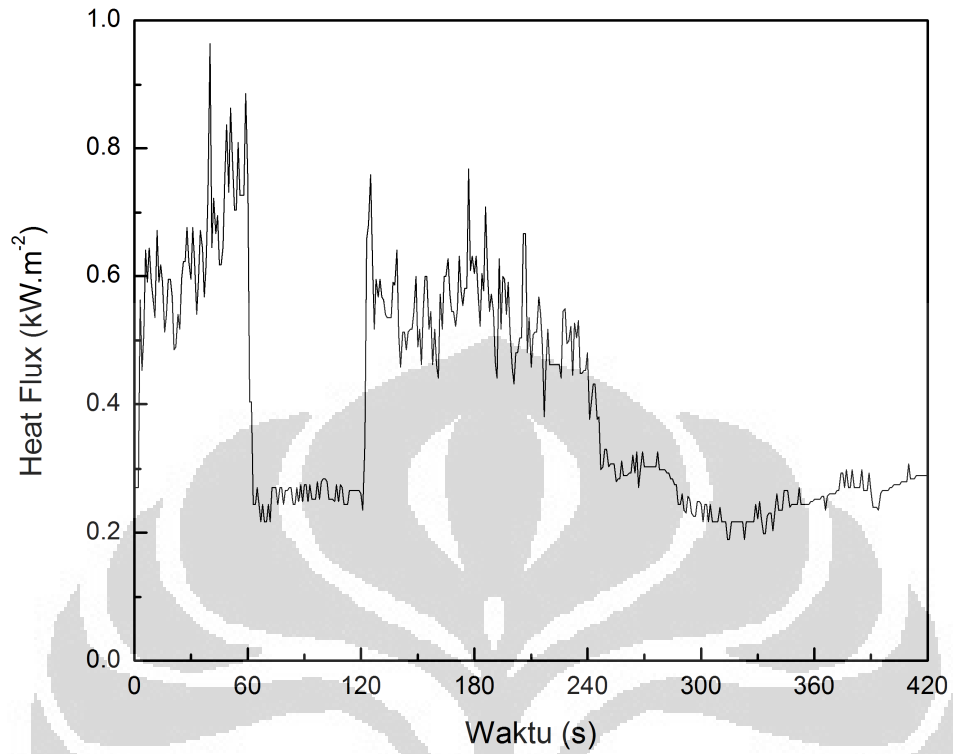
Pengujian 2



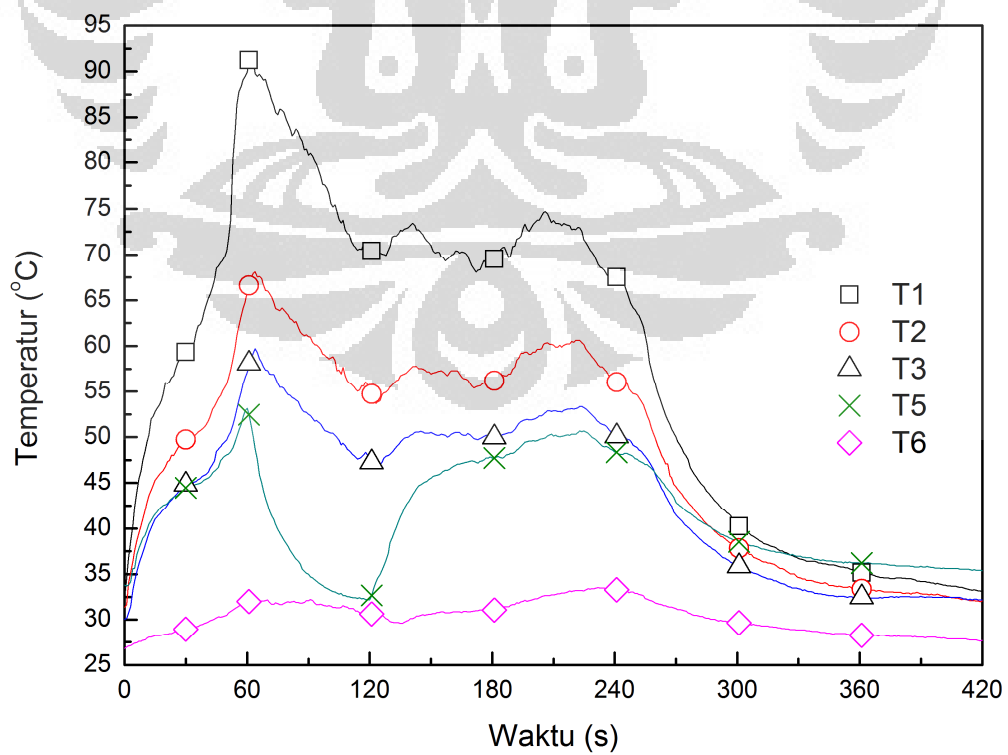
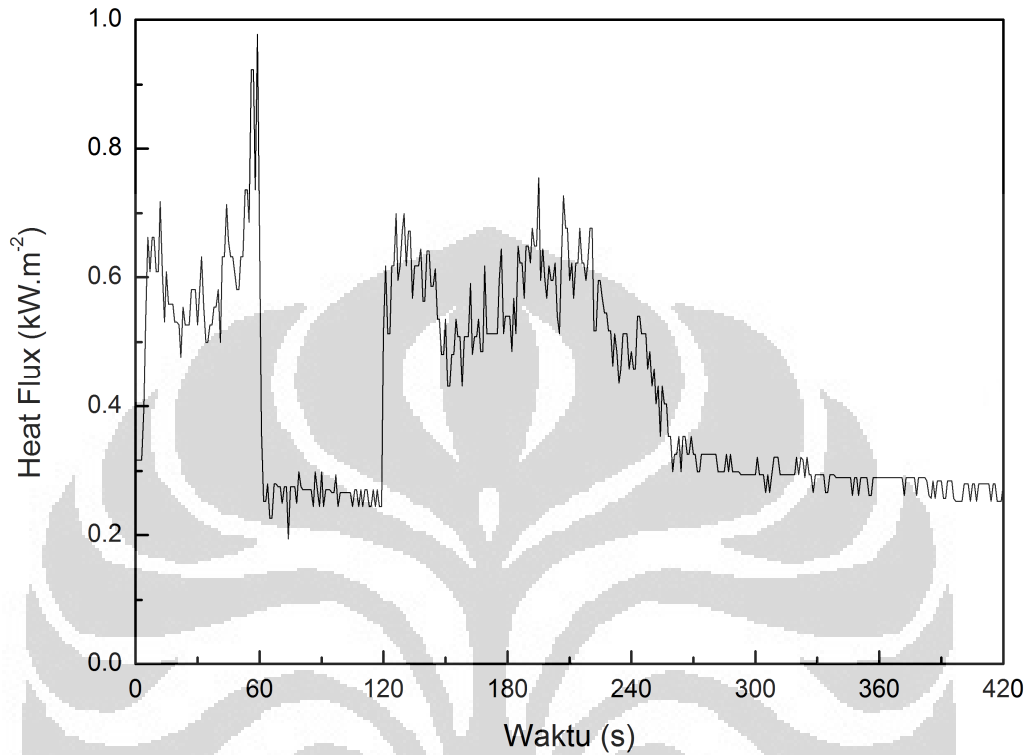
HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 150 Psi Heat Flux di titik 3
Pengujian 1



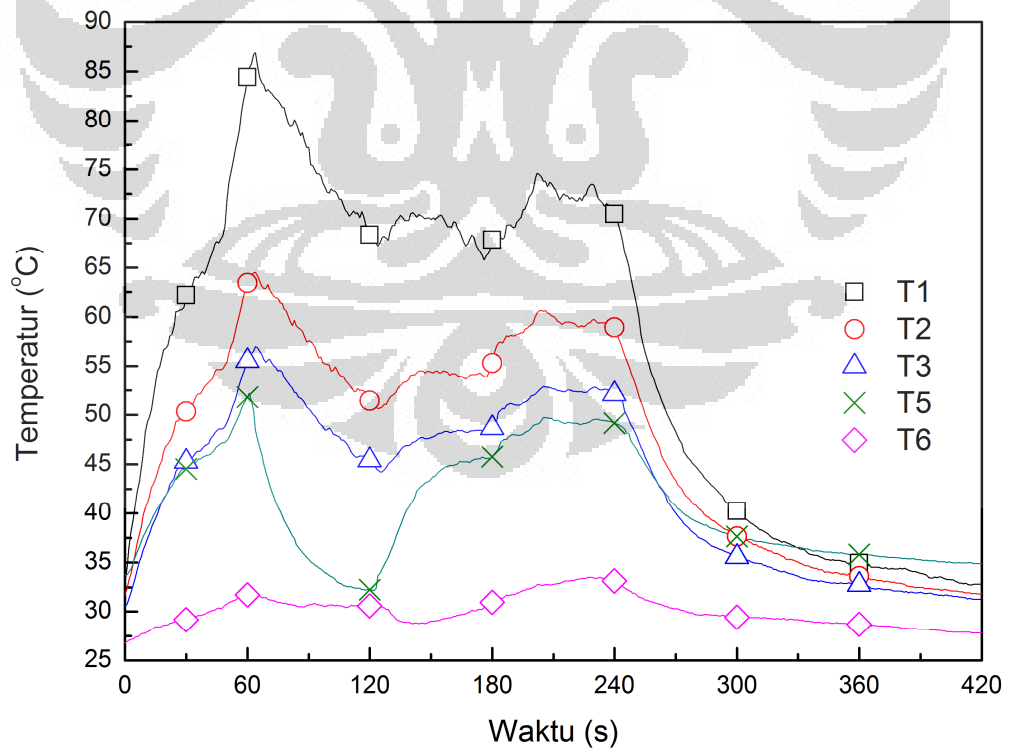
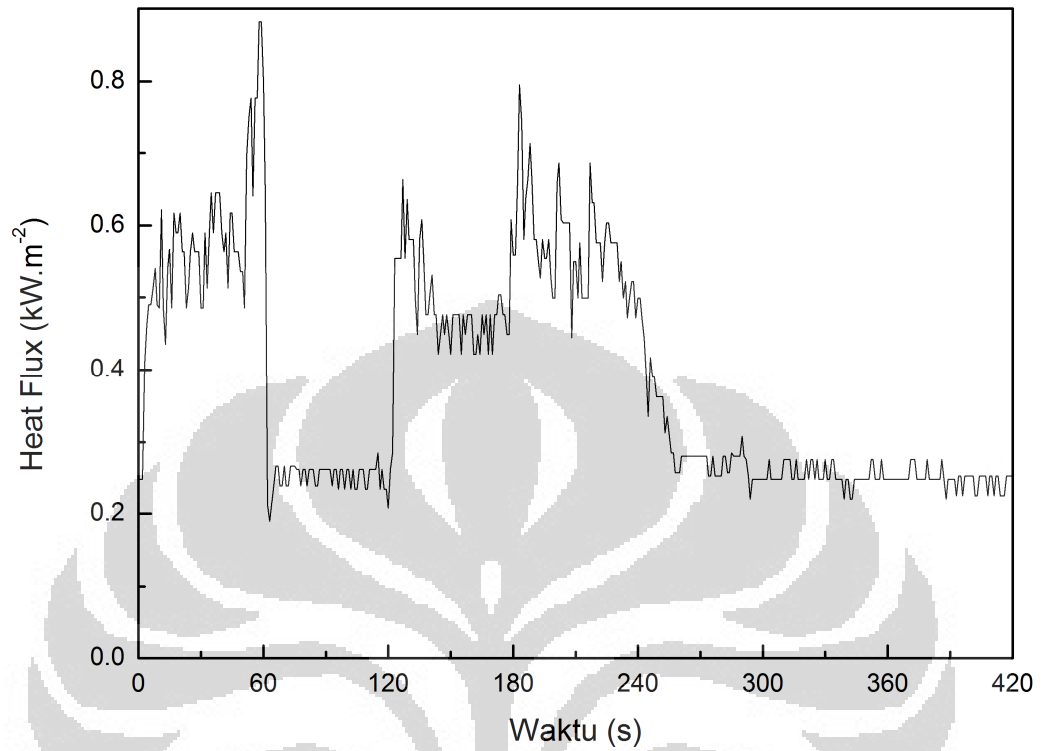
Pengujian 2



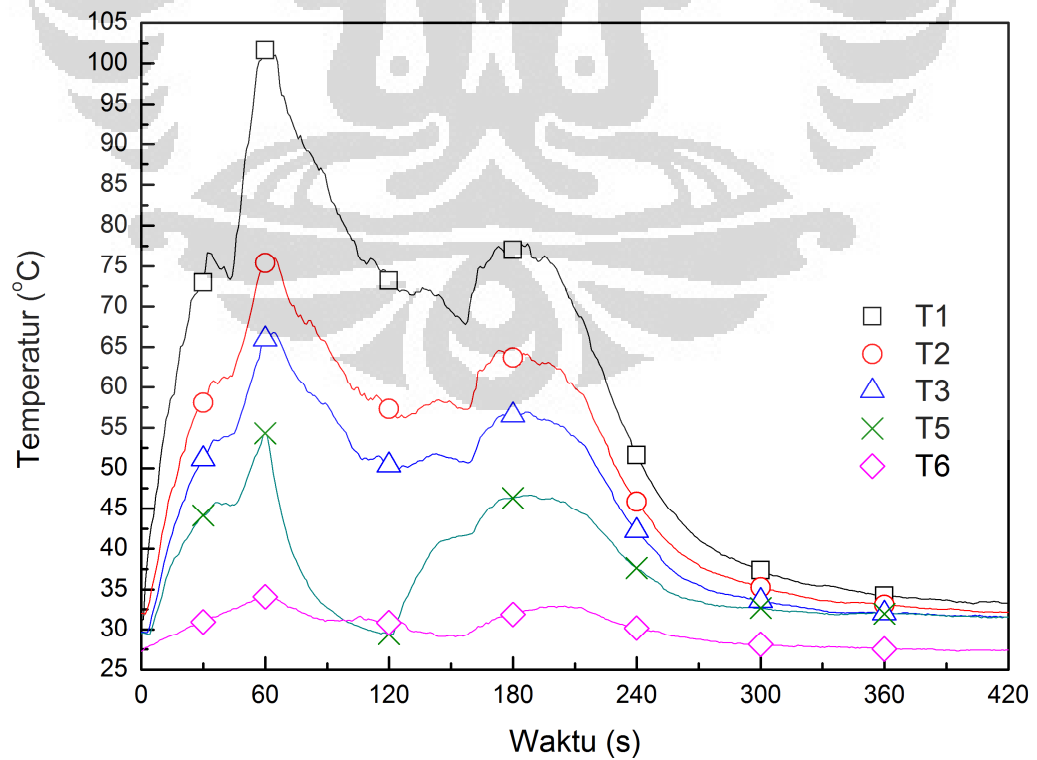
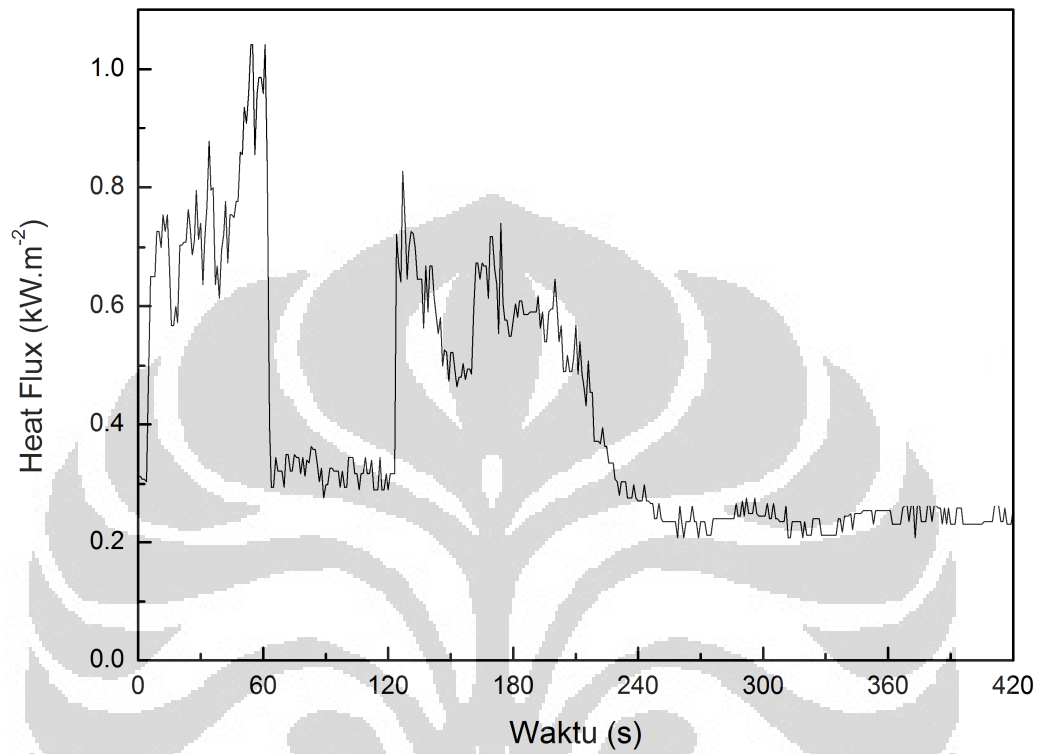
HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 200 Psi Heat Flux di titik 1
Pengujian 1



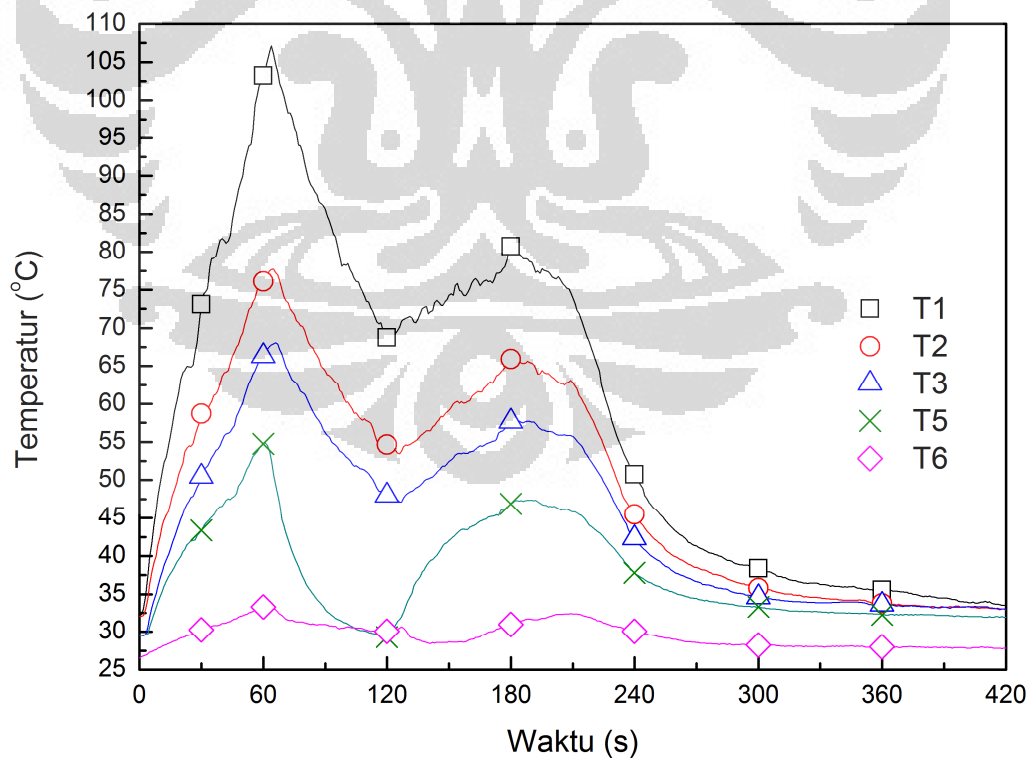
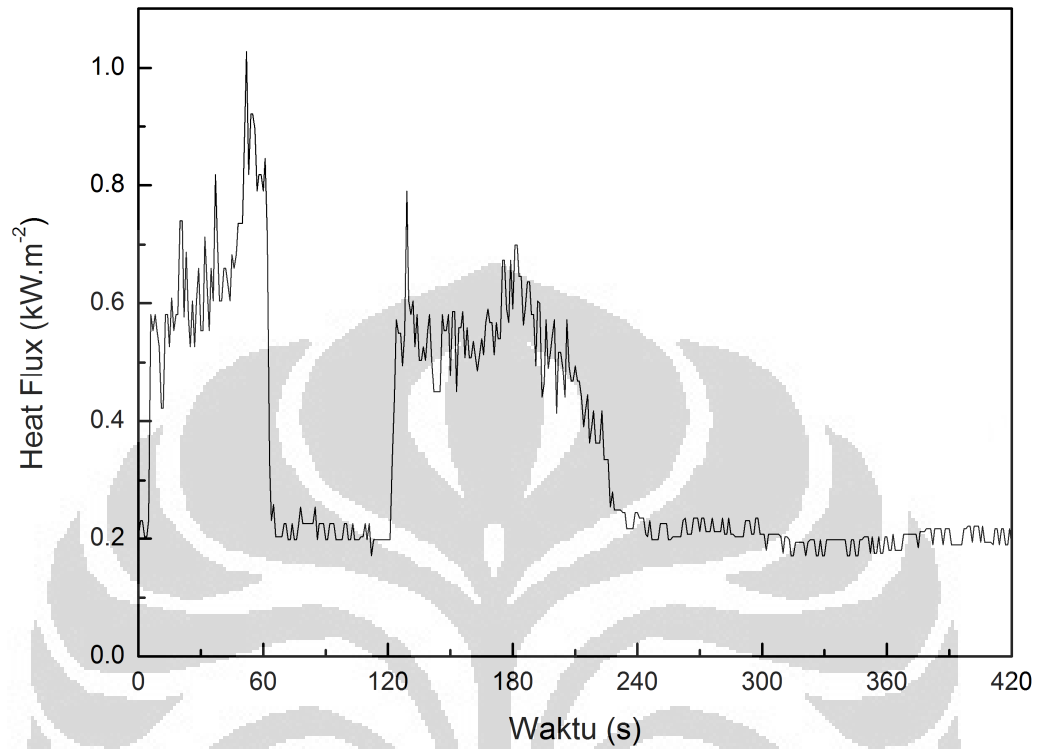
Pengujian 2



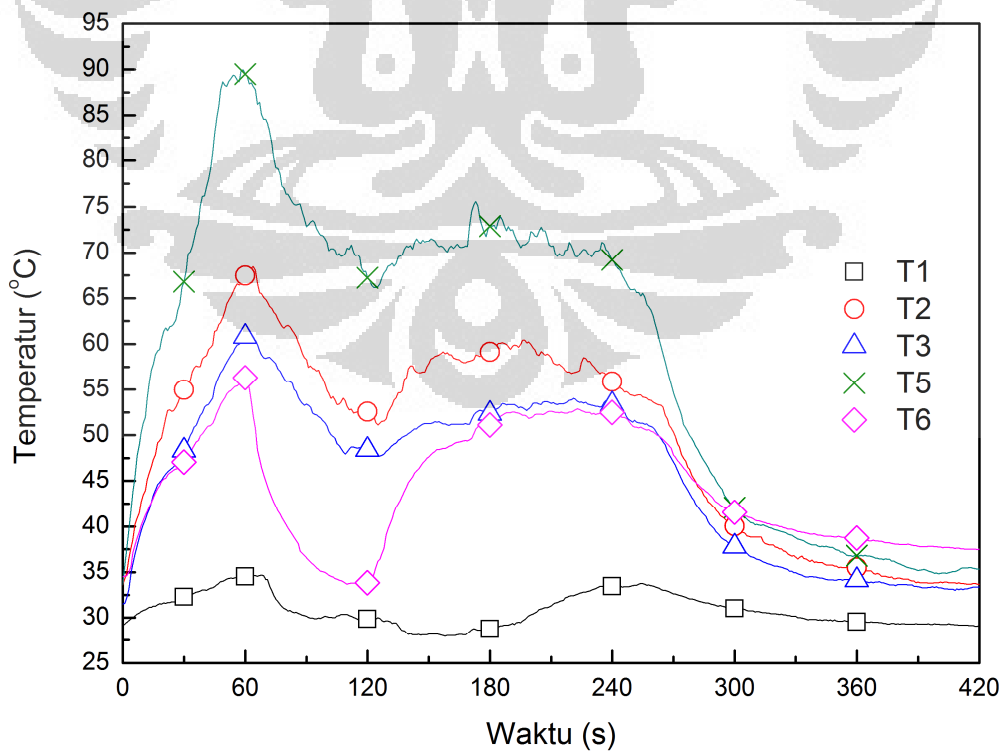
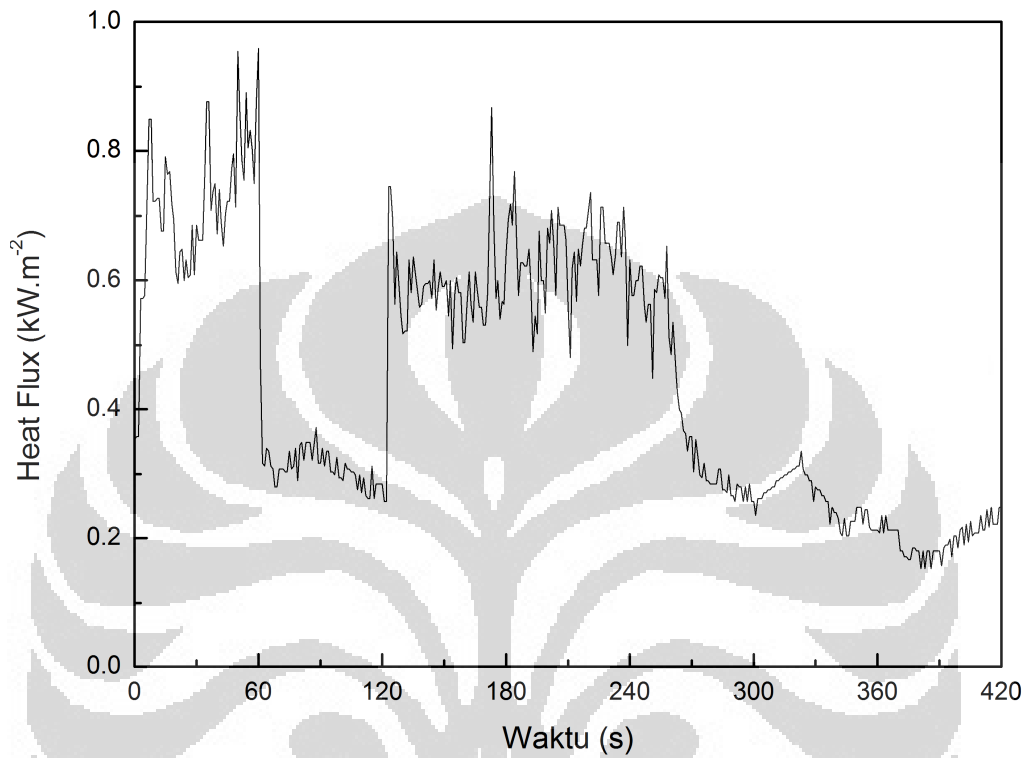
HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 200 Psi Heat Flux di titik 2
Pengujian 1



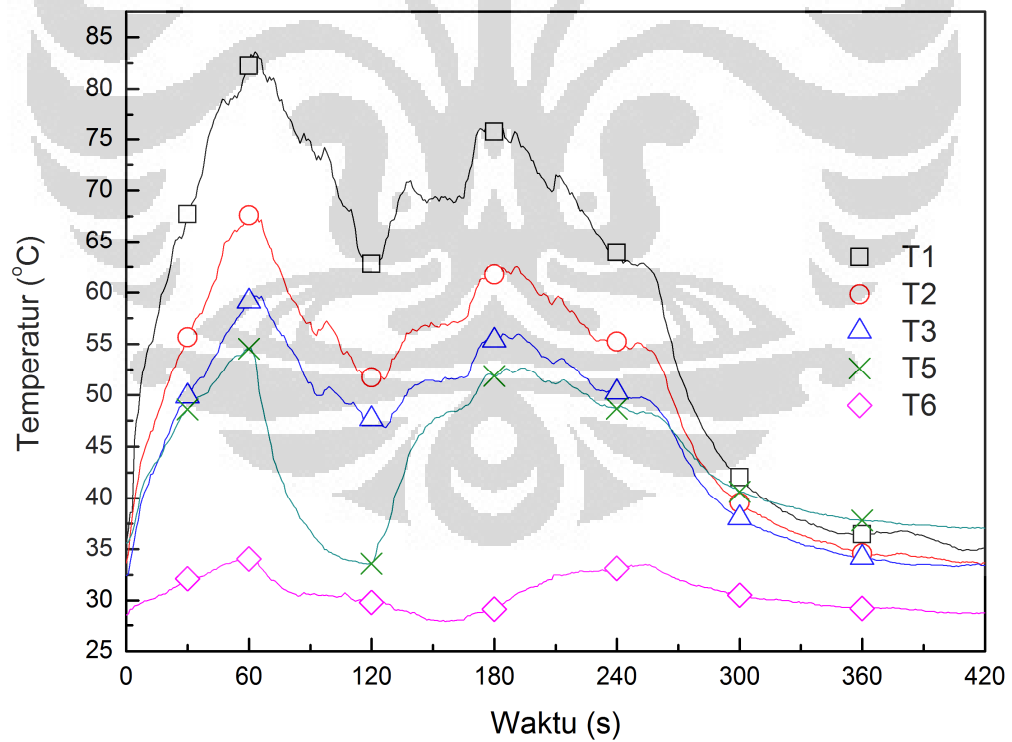
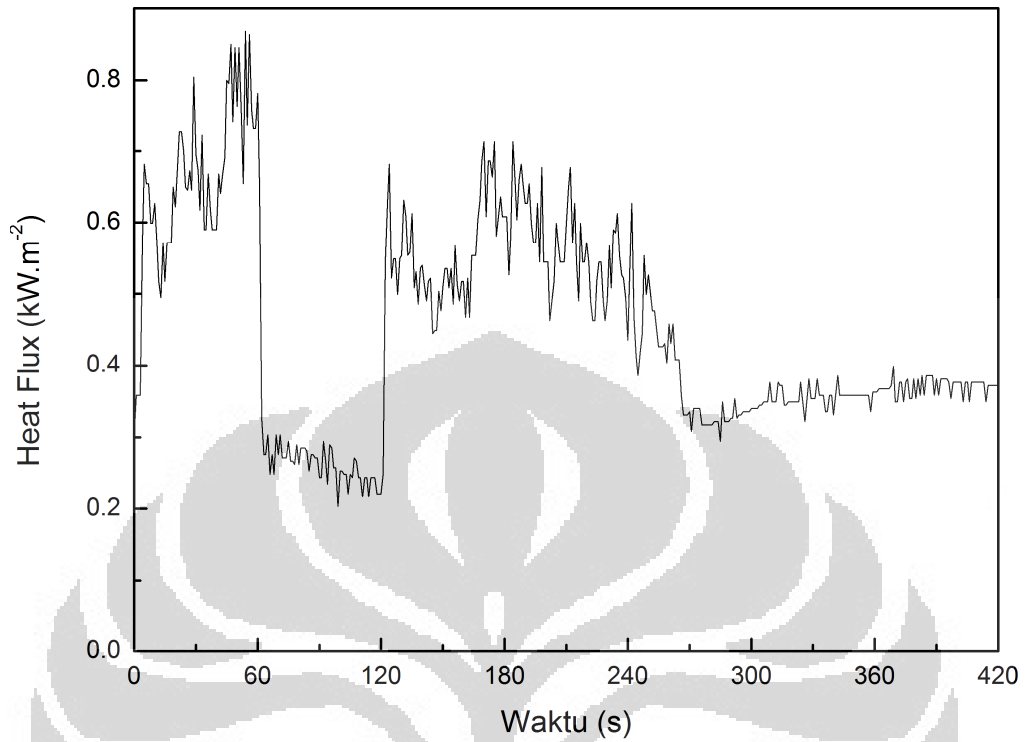
Pengujian 2



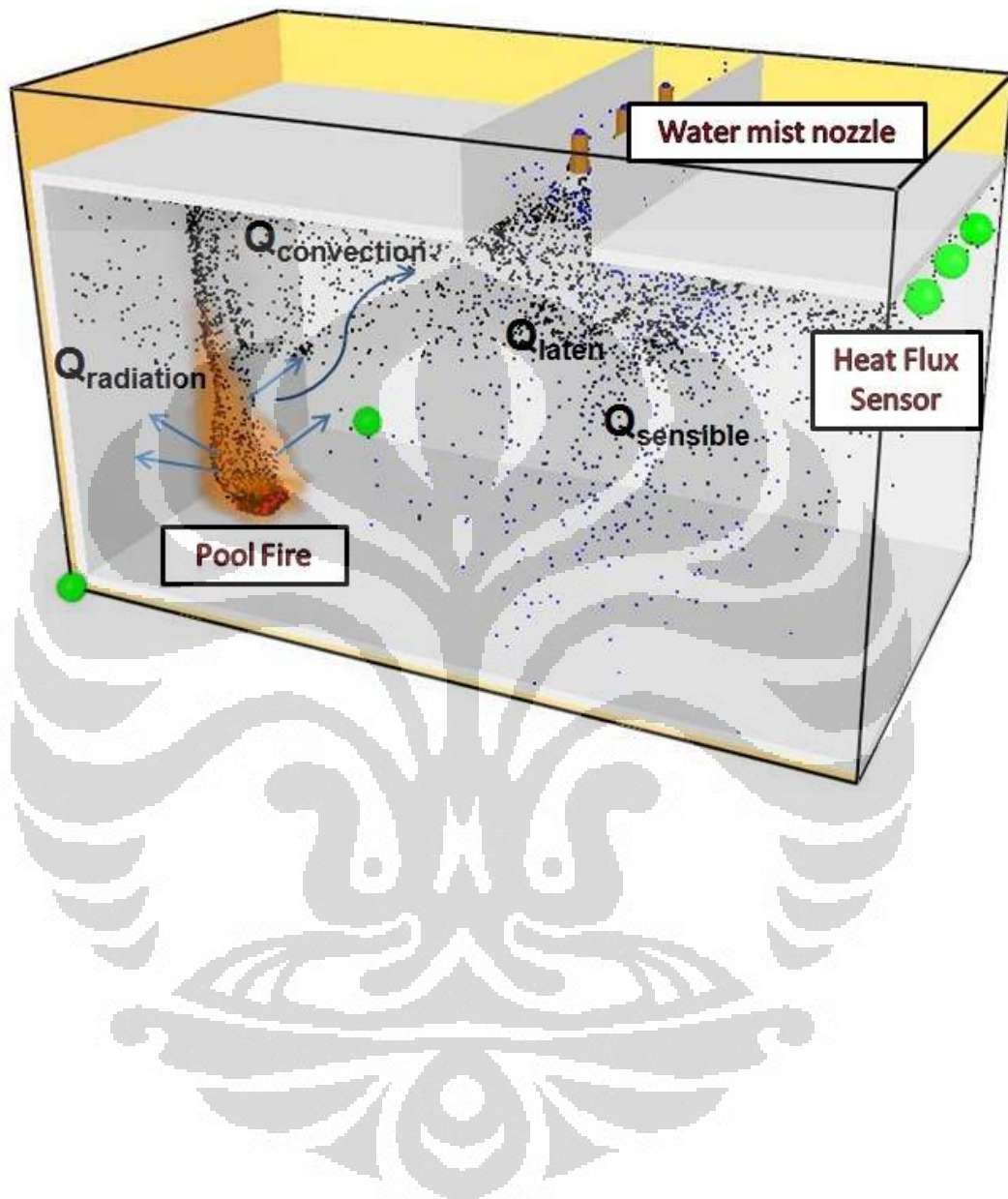
HASIL PENGUJIAN DENGAN WATER MIST TEKANAN 200 Psi Heat Flux di titik 3
Pengujian 1



Pengujian 2



PERPIDAHAN KALOR SECARA RADIASI DAN KONVEKSI DI DALAM KOMPARTEMEN



**SET UP EKSPERIMEN KE DEPAN (BAGIAN BAWAH KOMPARTEMEN
DILUBANGI)**



FOTO-FOTO EKSPERIMEN



Set up eksperimen



Proses pengambilan data



Proses penyalaan pool fire



Pengambilan data *flow rate*



Peletakan sensor heat flux



Kondisi di dalam kompartemen