



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIVITAS KABUT AIR UNTUK PEMADAMAN KOLAM
API BERBAHAN BAKAR MINYAK GORENG**

SKRIPSI

**NAMA: MARIANCE
NPM: 0706198695**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIVITAS KABUT AIR UNTUK PEMADAMAN KOLAM
API BERBAHAN BAKAR MINYAK GORENG**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**NAMA: MARIANCE
NPM: 0706198695**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2009**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

EFEKTIVITAS KABUT AIR UNTUK PEMADAMAN KOLAM API BERBAHAN BAKAR MINYAK GORENG

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 : MARIANCE

NPM : 0706198695

Tanda Tangan :

Tanggal : 22 Desember 2009

PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : MARIANCE
NPM : 0706198695
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : EFEKTIVITAS KABUT AIR UNTUK
PEMADAMAN KOLAM API BERBAHAN
BAKAR MINYAK GORENG

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 : Dr. Ir. Danardono AS, DEA ()

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

Penguji : Dr. Ir. Warjito, MEng ()

Penguji : Agus S. Pamitran, ST, MEng, PhD ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 22 Desember 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan nikmat-Nya karena penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam penelitian ini, Penulis banyak menerima saran, bimbingan, bantuan dan informasi dari berbagai pihak, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Untuk itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Dr. Ir. Danardono AS & Bapak Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan ide dan mengenalkan pengetahuan mengenai kabut air, serta telah meluangkan waktu & tenaga dalam memberikan saran dan bimbingan.
- (2) Kedua orang tua penulis, kakak, dan adik yang telah memberikan dukungan, dan doa, sampai penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (3) I Gede Wahyu selaku rekan kerja skripsi penulis, Raka Cahya Pratama, dan Stefanus Sagala yang telah membantu penulis dan memberikan kontribusi yang besar dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini.
- (4) Mas Yasin, Mas syarief, Mas Awang, dan Mas Sarwani yang telah membantu penulis dalam pengerjaan alat.
- (5) Axis citra pama yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungannya.
- (6) Seluruh teman-teman Penulis di kampus yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.
- (7) Dan seluruh karyawan staf Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah membantu memberi saran, menyediakan dan meminjamkan peralatan serta sarana dalam pengerjaan alat.

Akhir kata, penulis berharap Allah sub`hanahu wa ta`ala berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 22 Desember 2009

Penulis

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

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

Nama : MARIANCE
NPM : 0706198695
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 :

**EFEKTIVITAS KABUT AIR UNTUK PEMADAMAN KOLAM API
BERBAHAN BAKAR MINYAK GORENG**

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 : 22 Desember 2009

Yang menyatakan

(Mariance)

ABSTRAK

Nama : MARIANCE
Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul : EFEKTIVITAS PEMADAMAN KABUT AIR PADA POOL
FIRE BERRBAHAN BAKAR MINYAK GORENG

Sebuah eksperimen sistem kabut air dengan skala laboratorium dibuat untuk mempelajari mekanisme pemadaman dan efektifitas dari kabut air untuk memadamkan api dari minyak goreng. Karakteristik dari kabut air berupa sudut cakupan spray, ukuran droplet, laju aliran, tekanan discharge dan tipe dari nosel mempunyai pengaruh yang besar pada penelitian efektifitas kerja dari kabut air dalam memadamkan api minyak goreng. Beberapa percobaan oil splash juga dilakukan untuk melihat interaksi minyak goreng dengan kabut air.

Pada kajian literatur menunjukkan bahwa minyak goreng sangat sulit untuk dipadamkan, karena minyak goreng mempunyai temperatur yang sangat tinggi pada saat terbakar, dan sangat mudah untuk menyala kembali dibawah temperature auto ignitionnya karena terjadinya perubahan komposisi minyak selama proses pemanasan dan pemadaman api saat mengaktifkan sistem kabut air. Sistem kabut air yang dibuat dalam penelitian ini efektif mampu memadamkan api dari minyak goreng dan mencegah minyak goreng menyala kembali. Sudut cakupan spray, tekanan discharge, dan laju aliran air adalah faktor penting untuk menentukan keefektivitasan kabut air dalam memadamkan api dari minyak goreng.

Kata kunci :

Kabut air, pemadam api, api minyak goreng, *re-ignition*, *oil splash*

ABSTRACT

Name : MARIANCE
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING
Title : EFFECTIVENES OF EXTINGUISHMENT OF COOKING
OIL POOL FIRE BY WATER MIST FIRE SUPPRESION
SYSTEM

A series of laboratory-scale experiments were conducted to study extinguishing mechanisms and effectiveness of water mist against cooking oil fires. The impact of water mist characteristics, such as spray angle, droplet size, flow rate, discharge pressure and type of nozzle, on the effectiveness of water mist against cooking oil fires was investigated. A series of oil splash experiments were also conducted to determine if the oil was splashed by water mist.

The study showed that cooking oil fires were very difficult to extinguish, because they burned at high temperature and re-ignited easily due to changes in oil composition during heating and fire suppression. The water mist systems developed in the present work effectively extinguished cooking oil fires and prevented them from re-ignition. The spray angle, discharge pressure, and water flow rate were important factors to determine the effectiveness of water mist in extinguishing cooking oil fires.

Key Words:

Keyword: water mist, fire suppression, cooking oil fire, re-ignition, oil splash

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 PEMBATASAN MASALAH.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6 SITEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 API.....	7
2.2 BAHAN BAKAR	8
2.2.1 Minyak Goreng	8
2.2.2 Karakteristik Minyak goreng	9
2.2.3 Interaksi Minyak Goreng Panas Dengan Tetesan Air (droplet)....	10
2.3 POOL FIRE.....	12
2.3.1 Pendahuluan	12
2.3.2 Laju pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) Pool Fire	13
2.3.3 Tinggi Nyala Api Pool Fire.....	14
2.3.4 Durasi pembakaran Pool Fire.....	14
2.4 KABUT AIR.....	15
2.4.1 Pendahuluan	24
2.4.2 Dasar Penggunaan Sistem kabut air.....	15
2.4.3 Mekanisme Pemadaman Api Oleh Kabut Air.....	16
2.4.4 Pemadaman Flame (Nyala Api).....	18
2.4.5 Parameter Kabut Air	22
2.4.5.1 Kepadatan Fluks.....	22
2.4.5.2 Ukuran Droplet dan <i>Spray coverage</i>	23
2.4.5.3 Momentum semprotan.....	24
2.4.6 Metoda Pembuatan Kabut Air.....	26
2.4.6.1 Proses pembentukan droplet.....	27
2.4.6.2 Tipe-tipe Nosel dan pola penyebarannya.....	27
BAB III PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR.....	30
3.1 KONSEP RANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL PEMBUATAN SISTEM KABUT AIR.....	30
3.2 HASIL RANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL KABUT AIR.....	31

3.3 PERAKITAN SISTEM KABUT AIR	34
BAB IV METODOLOGI PENGUJIAN	40
4.1 TUJUAN PENGUJIAN	40
4.2 KOMPONEN PENGUJIAN	40
4.2.1 Termokopel	40
4.2.2 Data Akuisisi	42
4.2.3 Wadah bahan bakar (<i>pool fire</i>)	43
4.2.4 Tabung Nitrogen dan Regulator	43
4.2.5 Pressure vessel	44
4.2.6 Nosel	44
4.2.7 Dudukan nosel	44
4.2.8 Pipa atau saluran air	45
4.2.9 Check valve	45
4.2.10 Pressure Gauge	46
4.2.11 Kompor gas dan tabung gas	46
4.2.12 Video kamera	46
4.2.13 Stop watch	46
4.2.14 Busa dan tempat busa	47
4.2.15 Timbangan	47
4.3 INSTALASI PENGUJIAN	48
4.4 VARIASI PENGAMBILAN DATA	48
4.5 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	49
4.5.1 Prosedur pengambilan data <i>Flux Density</i>	49
4.5.2 Prosedur pengambilan data Tinggi dan Temperatur <i>pool fire</i>	50
4.5.3 Prosedur pengambilan Data Waktu Pemadaman <i>Pool Fire</i>	51
BAB V HASIL DAN ANALISA	53
5.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN	53
5.2 PENGUJIAN KARETERISTIK KABUT AIR UNTUK ARAH PEMADAMAN DARI SISI SAMPING	53
5.2.1 Pengaruh Kemiringan Posisi Sudut Nosel Terhadap Fluks Massa (mass Fluxes) Kabut Air	55
5.2.2 Pengaruh Ketinggian Penyemprotan Kabut Air Terhadap Fluks Massa	58
5.2.3 Perbandingan Keseluruhan Kemiringan Sudut Serta Ketinggian Terhadap Fluks Massa	62
5.3 KARETERISTIK BAHAN BAKAR	64
5.3.1 Kareteristik <i>Pool Fire</i> Bahan Bakar Minyak Goreng	64
5.3.1.1 Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi Kalor Minyak Goreng	64
5.3.1.2 Tinggi Nyala Api dan Bentuk Api <i>Pool Fire</i>	65
5.3.2 Perhitungan Keseimbangan Energi pada Pemadaman Api Minyak Goreng	66
5.3.3 Pengambilan Data Kareteristik dari Minyak Goreng	67
5.4 ANALISA VISUAL PEMADAMAN BAHAN BAKAR MINYAK GORENG	70
5.5 ANALISA PEMADAMAN DAN PENURUNAN TEMPERATUR TERHADAP WAKTU	74

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	80
6.1 KESIMPULAN	80
6.2 KESIMPULAN	81
DAFTAR ACUAN	83
LAMPIRAN	86



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elemen-elemen segitiga api.....	7
Gambar 2.2	Panas memungkinkan nyala api berlangsung kontinu.....	8
Gambar 2.3	Interaksi droplet dengan minyak goreng panas.....	11
Gambar 2.4	Bahaya minyak goreng yang disiram air.....	12
Gambar 2.5	Pool fire.....	12
Gambar 2.6	Skematik pemadaman pool fire oleh kabut air.....	20
Gambar 3.1	Rancangan rangkaudukan nosel kabut air.....	31
Gambar 3.2	Dudukan Nosel kabut air.....	32
Gambar 3.3	Meja pemutar Rangka Dudukan Nosel.....	32
Gambar 3.4	Kabinet dan penutup <i>Acrylic</i>	33
Gambar 3.5	Meja dudukan <i>pool fire</i> dan kompor.....	33
Gambar 3.6	Rangka pengatur ukuran area <i>pool fire</i>	34
Gambar 3.7	Sistim Kabut Air.....	34
Gambar 3.8	Nosel Kabut air.....	35
Gambar 3.9	Skema sistem piping kabut air.....	35
Gambar 3.10	Sistem piping kabut air.....	36
Gambar 3.11	Caps and plugs.....	36
Gambar 3.12	Union.....	36
Gambar 3.13	Tee Union.....	37
Gambar 3.14	Cross Union.....	37
Gambar 3.15	Sambungan antara nosel, pipa stainless, fittings dan plastik tube.....	37
Gambar 3.16	Cabang aliran saluran air pada sistem water mist.....	37
Gambar 3.17	Tabung Nitrogen dan Regulator.....	38
Gambar 3.18	Pressure vessel dan check valve.....	38
Gambar 3.19	Pressure gauge.....	38
Gambar 3.20	Hasil perancangan dan pembuatan dudukan nosel kabut air.....	39
Gambar 3.21	Hasil perancangan dan pembuatan sistem kabut air.....	39
Gambar 4.1	Posisi termokopel di dalam minyak goreng.....	41
Gambar 4.2	Posisi termokopel di permukaan pool fire.....	41
Gambar 4.3	Posisi termokopel 10 cm dari permukaan pool fire.....	42
Gambar 4.4	Posisi termokopel 30 cm dari permukaan pool fire.....	42
Gambar 4.5	Posisi-posisi termokopel.....	42
Gambar 4.6	Data Akuisisi.....	42
Gambar 4.7	Wadah bahan bakar.....	43
Gambar 4.8	Tabung Nitrogen dan pressure regulator.....	43
Gambar 4.9	Pressure Vessel.....	44
Gambar 4.10	Nosel <i>Greenhouse</i>	44
Gambar 4.11	Orientasi peletakan nosel kabut air.....	45
Gambar 4.12	Dudukan nosel kabut air.....	45
Gambar 4.13	Pressure Gauge.....	46
Gambar 4.14	Kompor gas.....	46
Gambar 4.15	Busa.....	47
Gambar 4.16	Timbangan.....	47
Gambar 4.17	Skema pengambilan data pengujian.....	48

Gambar 4.18	Foto Pengambilan Data Fluks Density	50
Gambar 4.19	Foto Pengambilan Data Tinggi nyala api	51
Gambar 4.20	Foto Pengambilan Data Pemadaman Api.....	51
Gambar 5.1	Arah pemdaman kabut air dari sisi samping	53
Gambar 5.2	Hasil perbandingan keseluruhan berdasarkan konfigurasi.	63
Gambar 5.3	Temperatur Minyak Goreng dan nyala api pada pool dia 6.5cm ..	51
Gambar 5.4	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm	69
Gambar 5.5	Pengamatan visual pemadaman api minyak goreng	71
Gambar 5.6	Time line pengamatan visual pemadaman api.....	72
Gambar 5.7	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 6.5 cm.....	75
Gambar 5.8	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm	75
Gambar 5.9	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool dia 6.5 cm volume 50ml tinggi 10 cm..	76
Gambar 5.10	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 6.5 cm volume 125ml tinggi 10 cm	76
Gambar 5.11	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm vol 50ml tinggi 4cm	77
Gambar 5.12	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm vol 125ml tinggi 4cm	77
Gambar 5.13	Temperatur minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 15 cm vol 50ml tinggi 4cm	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat-sifat flame pada pool fire.....	13
Tabel 2.2	Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet	17
Tabel 2.3	Pola bentuk penyebaran kabut air	28
Tabel 5.1	Konfigurasi ketinggian nosel dan sudut yang dipakai pada penelitian arah penyemprotan dari sisi samping.....	54
Tabel 5.2	<i>Fluks masa</i> berdasarkan variasi konfigurasi sudut dengan ketinggian yang sama.....	56
Tabel 5.3	Pengaruh ketinggian nosel terhadap <i>Flux mass</i>	59
Tabel 5.4	Tampilan 3 Dimensi ketinggian terhadap <i>Mass Fluks</i>	61
Tabel 5.5	Skenario percobaan dan hasil pemadaman api minyak goreng.....	76



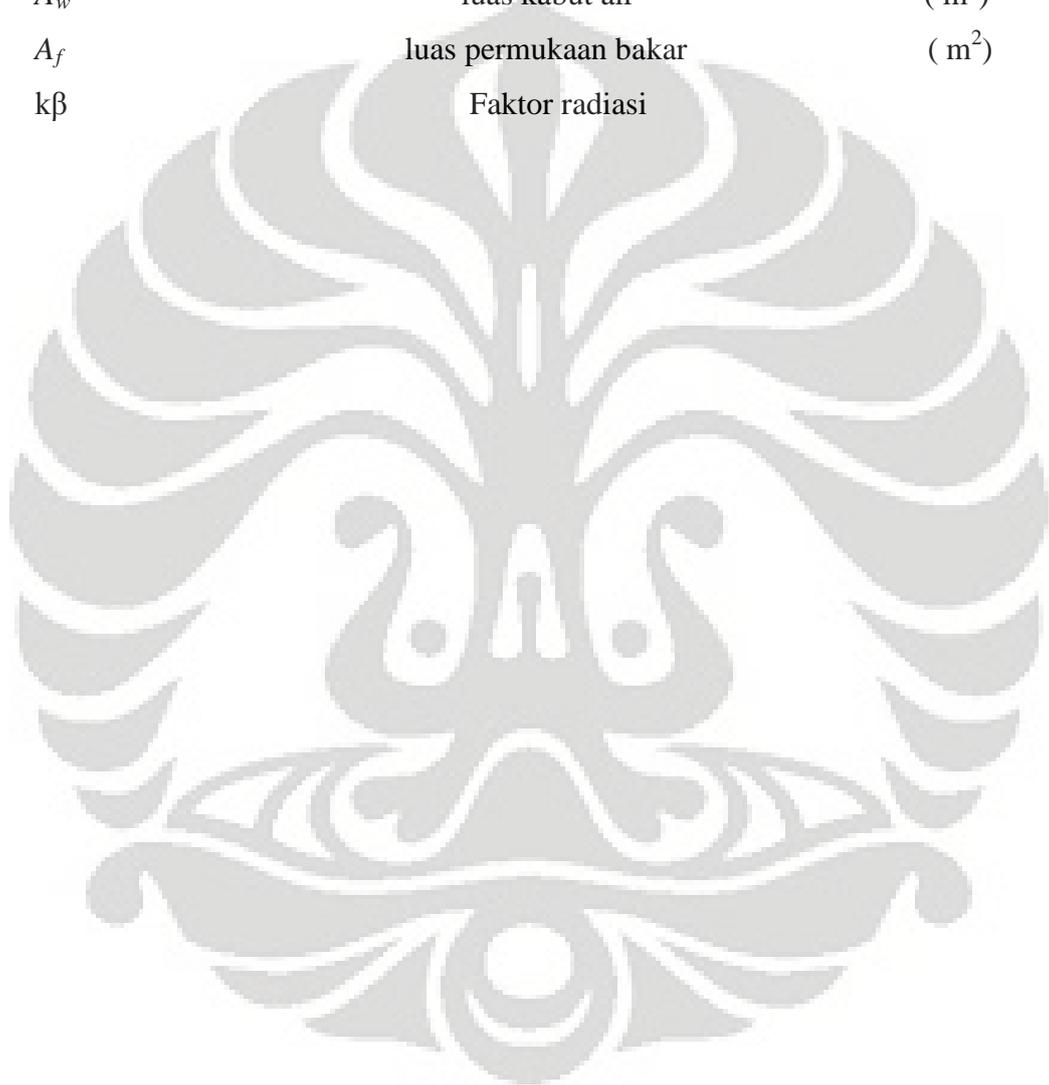
DAFTAR LAMPIRAN

1. Fluks massa untuk sudut 0° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel,
Rata-rata masa : 28.6 gr/m²s
2. Fluks massa untuk sudut 30° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel
Rata-rata masa : 20.6 gr/m²s
3. Fluks massa untuk sudut 30° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel
Rata-rata masa : 20.6 gr/m²s
4. Fluks massa untuk sudut 60° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel
Rata-rata masa : 32.3 gr/m²s
5. Fluks massa untuk sudut 0° , $h_1 = 5$ cm, 4 nosel Rata-rata masa : 14,2
gr/m²s
6. Fluks massa untuk sudut 0° , $h_1 = 10$ cm, 4 nosel Rata-rata masa : 13.8
gr/m²s
7. Fluks massa untuk sudut 0° , $h_1 = 20$ cm, 4 nosel Rata-rata masa : 9.4
gr/m²s
8. Fluks massa untuk sudut 0° , $h_1 = 15$ cm, $h_2 = 30$ cm, $h_3 = 45$ cm, 12 nosel
Rata-rata masa : 23 gr/m²s
9. Gambar dudukan nozzel
10. Gambar pipa dudukan nozzel
11. Gambar dudukan pipa penahan
12. Gambar dudukan penyangga nozzle
13. Gambar meja pemutar
14. Gambar penyangga meja
15. Gambar penyangga meja

DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
C_{pw}	Kapasitas thermal dari air	(J/mol.K)
D	Diameter dari droplet	(m)
ΔH_c	Entalpi pembakaran bahan bakar	(kJ/mol)
f_c	Fraksi kalor pembakaran dari bahan bakar dari api ke permukaan bahan bakar	
K	Konduktivitas panas	(W/m.K)
L_{vf}	Panas laten dari bahan bakar yang mengalami penguapan	(kJ/mol)
L_{vw}	Panas laten dari air yang mengalami penguapan	(kJ/mol)
\vec{M}_f	Momentum dari nyala api	
\vec{M}_w	Momentum dari kabut air	
\dot{m}_f	Laju pembakaran minyak	
\dot{m}_w	Laju keluaran kabut air yang mencapai minyak	(kg/s)
m_{fp}, m_{fg}, m_{wa}	Masa dari air, masa dari air yang menguap, dan masa udara yang dihasilkan oleh kabut air	(kg/s)
P	Tekanan <i>discharge</i>	(Pa)
\dot{Q}_E	Laju kalor eksternal yang ditransferkan ke bahan bakar	(kW)
\dot{Q}_L	Laju pelepasan kalor dari bahan bakar	(kW)
S	Laju dari perpindahan dari panas sensibel pada permukaan bahan bakar	
T_{fs}	Temperatur permukaan bahan bakar	(K)
T_{f0}	Temperatur didalam bahan bakar	(K)
T_w	Temperatur droplet	(K)
\vec{V}_w	Vektor kecepatan dari kabut air	
\vec{V}_f	Vektor kecepatan dari nyala api	

V	Kecepatan droplet	(m/s)
ρ	Massa jenis air	(kg/m ³)
δ	Ketebalan lapisan kalor di bawah permukaan bahan bakar	(m)
ε	Emisifitas	
σ	Konstanta Stefan-Boltzmann (5.67 x 10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴)	
A_w	luas kabut air	(m ²)
A_f	luas permukaan bakar	(m ²)
$k\beta$	Faktor radiasi	



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Hampir semua kebakaran yang terjadi di hotel, restoran dan, *outlet* makanan cepat saji berasal dari dapur[1], pada umumnya melibatkan minyak goreng sebagai sumber api penyebab kebakaran karena minyak goreng diketahui mempunyai laju pembakaran yang lebih tinggi dari pada minyak yang berasal dari hidrokarbon, Api minyak goreng diketahui sulit untuk dipadamkan dibandingkan dengan jenis api berbahan bakar cair lainnya[2,3], selama proses memasak minyak akan dipanaskan hingga mencapai temperatur *flash point* dengan ditandai munculnya asap pada permukaan minyak goreng, jika terus di panaskan akan mencapai titik *auto ignition*. Pada titik *auto ignition* api akan muncul di permukaan minyak goreng dan temperatur minyak akan sulit didinginkan kembali di bawah temperatur tersebut. Disebabkan karena perilaku minyak goreng yang berbeda dengan tipe kebakaran yang lain, maka api minyak goreng kemudian digolongkan kedalam kelas khusus yang disebut dengan kelas K[4]. Di Indonesia kebakaran api dari minyak goreng masih dikategorikan sebagai api kelas B, padahal penanganannya harus berbeda dengan tipe api kelas B karena karakteristik minyak goreng sangat berbeda dengan sumber api kelas B lainnya.

Minyak goreng pada suhu kamar sangat sulit untuk menguap, dan memiliki jumlah kosentrasi yang jauh dibawah kosentrasi dapat memicu terjadinya pembakaran, sehingga minyak tidak dapat dinyalakan. Laju penguapan dari minyak goreng menjadi sangat cepat ketika mulai dipanaskan diatas suhu 320°C, dan kemudian kosentrasi dari uap minyak goreng akan dengan cepat mencapai kosentrasi yang memungkinkan terjadinya pembakaran dan akan sangat mudah untuk dinyalakan. *Auto ignition* terjadi pada saat minyak dipanaskan antara

360°C-370°C pada beberapa jenis minyak goreng. Di dalam beberapa literatur menunjukkan bahwa api minyak goreng akan mengalami tahap pembakaran yang sempurna 8 detik setelah dinyalakan, disertai dengan munculnya asap dan radiasi panas.

Pemakaian busa, *powder* dan karbon dioksida dinilai efektif dalam memadamkan nyala api yang terbentuk di permukaan minyak goreng tetapi kurang efektif dalam mendinginkan minyak dibawah temperatur *auto ignition* minyak, dan mencegah minyak menyala kembali karena keterbatasan kapasitas pendinginan yang dimiliki oleh busa, *powder*, dan karbon dioksida [5]. APAR yang berisi bahan kimia pada umumnya digunakan di dapur, APAR dengan jenis ini juga membutuhkan waktu yang lama untuk memadamkan api minyak goreng dibawah temperatur *auto ignition*-nya, tergantung dari jumlah bahan kimia yang dimiliki APAR tersebut. Penggunaan Halon dalam memadamkan kebakaran juga tidak boleh dilanjutkan lagi karena berdampak buruk terhadap lingkungan.

Selama beberapa tahun belakangan ini dalam penelitian *fire safety* telah mengembangkan teknologi kabut air yang dapat memadamkan api secara cepat dengan jumlah konsumsi air yang sedikit, tanpa merusak lingkungan dan objek sekitarnya. Karena perkembangan teknologi kabut air yang mulai maju dan berkembang maka teknologi kabut air ini dinilai dapat diaplikasikan dalam memadamkan kebakaran api minyak goreng, pada saat ini Laboratorium *Fire Safety* Teknik Mesin UI sedang mengadakan pengembangan teknologi kabut air agar kinerjanya lebih efektif sehingga dapat digunakan oleh masyarakat luas.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Penelitian yang dilakukan saat ini adalah pengembangan pemadam kebakaran yang berbasis kabut air dimana sumber kebakarannya berasal dari *pool fire* minyak goreng. Kabut air dipilih karena memiliki berbagai kelebihan dalam memadamkan api minyak goreng dibandingkan alat pemadam lainnya. Penelitian dilakukan untuk mengetahui keefektifan penggunaan kabut air untuk

memadamkan api berbahan bakar minyak goreng jika arah penyemprotan kabut air tegak lurus terhadap nyala api dengan menggunakan 12 nosel kabut air.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Mengetahui karakteristik pembakaran *pool fire* berbahan bakar minyak goreng, berupa *heat release rate* (HRR) teoritis, tinggi api dan temperatur nyala untuk diameter 6.5 dan 10 cm
2. Mengetahui karakteristik sistem kabut air menggunakan 4 dan 12 nosel yang disusun saling bersebrangan dengan arah penyemprotan tegak lurus laju pembakaran. Karakteristiknya berupa laju aliran, *water mass flux density* dan distribusi kabut air yang dihasilkan. Karakteristik tersebut akan dicoba dengan beberapa variabel yang berubah yaitu sudut penyemprotan (0° , 30° , 45° , 60°), dan ketinggian penyemprotan (0, 5, 10, dan 20 cm dari permukaan *pool fire*).
3. Mengetahui performa pemadaman jenis *pool fire*. Performa pemadaman berkaitan dengan waktu pemadaman dengan variasi sudut dan ketinggian optimum. Dengan mengetahui performa pemadaman, maka didapatkan jawaban atas kemampuan dari sistem kabut air ini.
4. Penelitian ini juga merupakan salah satu pengembangan untuk mengetahui lebih jauh potensi kabut air sebagai sistem pemadaman api yang menjadi salah satu cabang penelitian yang dilakukan di Laboratorium Fire Safety Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

1.4 PEMBATASAN MASALAH

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi;

1. Merancang dan membuat alat sistem kabut air berupaudukan nosel kabut air, kedudukan *pool fire* dan sistem kabut air. Untuk kedudukan nosel kabut air luas area tempat pembakaran *pool* adalah maksimum 1 m^2 dan

minimum 0,5 m², dudukan nosel dapat diputar 360° dan sudut dudukan nosel dapat diatur sampai 180°, ketinggian nosel dapat diatur dengan maksimum ketinggian dudukan 1,5 m, dudukan meja nosel kabut air dapat diputar 360°.

2. Tekanan air yang digunakan pada nosel kabut air ini adalah 400 PSI yang dibaca pada *pressure gauge* keluaran dari *pressure vessel*.
3. Nosel yang digunakan adalah nosel dengan merek *Mist Nozzle APO TW-3*, tekanan yang digunakan, sudut bukaan nosel dan ukuran droplet yang dihasilkan mengacu kepada spesifikasi manufaktur yang dikeluarkan oleh supplier *Mist Nozzle APO TW-3*.
4. Sudut dudukan nosel yang diuji untuk mendapatkan *water mass flux density* adalah 0°, 30°, 45°, 60° dan variasi ketinggian 0,5, 10, 15, 20 cm dari dasar permukaan pool fire dengan jumlah nosel yang digunakan 12 buah.
5. Karakteristik pembakaran pool fire yang diamati (laju produksi kalor teoritis, temperatur nyala, dan panjang lidah api) berbahan bakar minyak goreng pada dua variasi pool yaitu 6,5 dan 10 cm.
6. Minyak goreng yang digunakan adalah minyak goreng jenis kelapa sawit.
7. Keefektifan pemadaman sistem kabut air berdasarkan waktu pemadaman, sudut yang optimum dan ketinggian optimum yang diperoleh.
8. Tidak dilakukan perhitungan terhadap *flow rate* dan *pressure drop* dari *piping system*.
9. Ukuran droplet, besarnya *flow rate* dan *pressure* yang dihasilkan oleh nosel tidak diukur pada penelitian ini.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

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

2. Perancangan Alat uji

Perancangan alat uji sesuai dengan tujuan penelitian. Pada penelitian ini alat seperti, nosel, kompor gas, tabung gas, *pressure vessel* dan tangki nitrogen telah tersedia, sehingga yang dilakukan yaitu membuat alat-alat uji tambahan seperti perancanganudukan *pool fire*, *piping*, danudukan pemegang nosel.

3. Pengujian Sistem pemadaman api minyak goreng berbasis kabut air

Melakukan pengujian atau pengambilan data setelah alat uji selesai dibuat. Pengambilan data dan pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur percobaan yang telah ditentukan sebelumnya

4. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

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

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

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III PROSES PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

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

BAB IV METODOLOGI PENGUJIAN

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

BAB V HASIL DAN ANALISA

Bab ini memuat data-data hasil pengujian yang diolah menjadi data berupa grafik, foto dan penjelasan mengenai analisa terhadap kinerja sistem kabut air. Dan selanjutnya data ini akan dianalisis sesuai dengan hasil yang didapat dan berdasarkan literatur yang ada. Analisis yang dilakukan mengenai pengaruh sudut penyemprotan dan ketinggian penyemprotan terhadap keefektifan pemadaman api.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

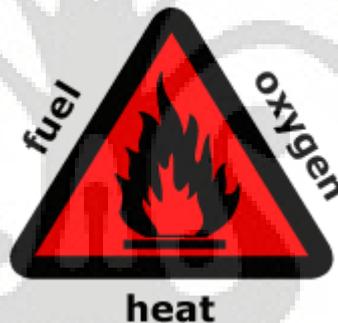
Pada bagian ini akan diambil beberapa kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan dengan disertai saran terhadap pengembangan selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 API

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

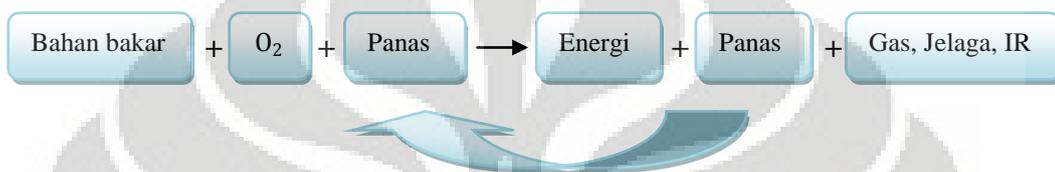


Gambar 2.1 Elemen – elemen segitiga api

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang menghasilkan energi berupa panas. Bahan bakar dapat terbakar dan mengalami reaksi pembakaran jika berada dalam fase gas, oleh karena itu bahan bakar yang berada dalam bentuk fase awal selain gas (padat dan cair) harus mengalami perubahan bentuk menjadi fase gas sebelum dapat terbakar. Untuk bahan bakar cair, proses tersebut dapat dilakukan dengan cara menguapkan bahan bakar tersebut. Bahan bakar padat sebelum dapat terbakar perlu dilakukan dekomposisi secara kimiawi yang disebut pyrolisis untuk menghasilkan produk yang berat molekulnya cukup ringan sehingga dapat menguap dan terbakar. Sedangkan untuk

oksidannya adalah zat yang mengandung oksigen (misalnya udara bebas) yang dapat bereaksi dengan bahan bakar.

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



Gambar 2.2 Panas memungkinkan nyala api berlangsung kontinu

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

2.2 BAHAN BAKAR

2.2.1 Minyak Goreng

Minyak adalah senyawa yang berbentuk cairan pekat pada suhu ruangan (25°C) dan tidak larut dalam air. Berdasarkan sumbernya, minyak dibagi menjadi dua macam, yaitu minyak bumi (*mineral oils* atau *petroleum*), dan minyak dari makhluk hidup (lipida atau lipids). Adapun minyak dari makhluk hidup terbagi lagi menjadi minyak nabati (*vegetable oils*) dan minyak hewani (*animal oils*). Minyak

hewani lebih populer disebut dengan istilah lemak (*fats*) karena pada umumnya berbentuk padat pada suhu ruangan (25°C).

Minyak nabati merupakan hasil akhir (*refined oils*) lemak murni dari tumbuhan yang telah mengalami proses penyulingan, dimana pada suhu ruangan berbentuk cairan. Berdasarkan kegunaannya, minyak nabati terbagi menjadi dua golongan. Pertama, minyak nabati yang dapat digunakan dalam industri makanan (*edible oils*) dan dikenal dengan nama minyak goreng meliputi minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak zaitun, minyak kedelai, minyak kanola dan sebagainya. Golongan kedua adalah minyak yang digunakan dalam industri non makanan (*non edible oils*) misalnya minyak kayu putih, dan minyak jarak.

Pada penelitian ini penulis memilih batasan minyak goreng yang akan digunakan adalah minyak goreng yang diolah dari kelapa sawit (*Palm oil*), karena pada umumnya lebih banyak digunakan dan dijual di pasaran Indonesia.

2.2.2 Karakteristik Minyak goreng

Pada suhu ruangan minyak goreng akan berbentuk cairan, jika dipanaskan akan merubah karakteristik dari minyak goreng tersebut. Beberapa karakteristik yang perlu di ketahui mengenai temperatur minyak goreng;

1. Titik asap (*Smoke point*) pada minyak goreng adalah temperatur dimana struktur kimia dari minyak mulai mengurai menjadi gliserol dan asam lemak bebas dan ditandai dengan munculnya asap. Minyak yang sudah timbul asap pada saat dipanaskan mengindikasikan akan terjadinya pembakaran minyak goreng.
2. *Flash point* minyak goreng adalah temperatur terendah minyak goreng agar dapat menguap untuk membentuk campuran yang bisa terbakar di udara jika disulut dengan api.
3. Temperatur *Auto ignition* atau disebut juga sebagai *fire point* adalah temperatur dimana uap minyak goreng terbakar secara spontan, tanpa

membutuhkan sumber luar untuk menyalakan api pada temperatur normal atmosfer.

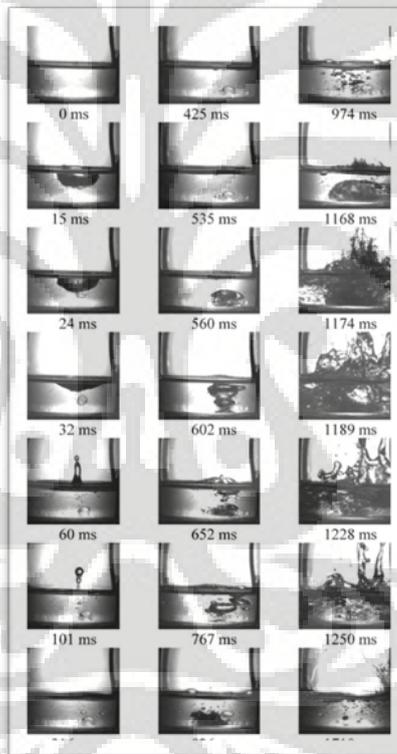
2.2.3 Interaksi Minyak Goreng Panas Dengan Tetesan Air (droplet)

Memadamkan Api dari minyak goreng yang terbakar sangat sulit, dibandingkan dengan sumber api kebakaran yang lain. Disamping mempunyai massa jenis yang tinggi (0,914kg/L) minyak goreng juga mempunyai *flash point* yang tinggi (260~293°C). Pada saat minyak sudah menyala sendiri (*auto ignition*) akan sulit untuk mendinginkan temperatur minyak tersebut dibawah temperatur *auto ignition*. Karena minyak goreng mempunyai sifat yang berbeda dengan sumber kebakaran yang berasal dari bahan bakar cair yang mudah terbakar. Pada umumnya air digunakan sebagai media untuk memadamkan api, dimana air mempunyai panas laten yang besar dari penguapan, dan memungkinkan sangat efektif untuk menghasilkan panas.

Ketika suatu cairan dingin dipertemukan dengan suatu cairan panas, maka cairan dingin tersebut akan menguap dengan sangat cepat yang mungkin menyebabkan ledakan. Saat rintik air yang mempunyai titik didih 100°C mengenai minyak panas, mula-mula akan tenggelam (karena air mempunyai massa jenis yang lebih tinggi dari minyak) lalu menjadi sangat terpanaskan (*superheated*) dan meledak jadi uap akibat dari suhu minyak jauh diatas suhu penguapan air. Perubahan fase yang terjadi secara cepat dari cairan menjadi fase gas diikuti dengan ledakan yang dahsyat. Karena air yang sudah berubah bentuk menjadi uap panas berada di bawah minyak, secara cepat akan menuju kepermukaan, disertai dengan ledakan yang ikut melemparkan minyak goreng panas yang ada didalam wadah.

S.L. Manzello[5] telah melakukan penelitian mengenai interaksi dari tetesan air (*droplet*) yang mempunyai ukuran 3.1 mm dengan *pool* dari minyak goreng panas (temperatur 220°C), pada penelitian tersebut dampak droplet yang dijatuhkan pada kolam minyak panas akan pecah menjadi ukuran-ukuran lebih

kecil dan akhirnya akan menghasilkan ledakan uap air. Droplet yang mengenai permukaan minyak akan membentuk kawah didalam pool minyak, kawah tersebut akan mencapai kedalaman maksimum dan cairan minyak akan mulai mengalir secara berputar untuk mengisi kawah. Sebuah pancaran (*jet*) kemudian terbentuk didasar kawah dan kemudian terdorong ke permukaan. Pada pengamatan terlihat setelah kawah naik ke permukaan bebas (*free surface*), droplet yang tadi dijatuhkan kedalam minyak akan terpecah menjadi beberapa ukuran kecil, dan kemudian akan tenggelam ke dasar pool, gelembung uap akan muncul didalam cairan minyak, kemudian akan terjadi ledakan yang sekaligus mendorong minyak keluar dari pool seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Interaksi droplet dengan minyak goreng panas

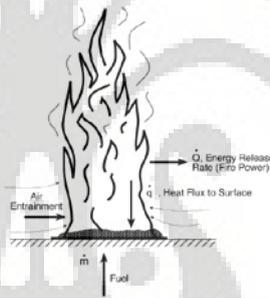
Nyala api akibat minyak goreng yang *over heat* akan sulit dipadamkan karena jika kebakaran minyak goreng dipadamkan dengan menggunakan air, maka air yang mengenai permukaan minyak panas akan menimbulkan letupan-

letupan atau bahkan akan menimbulkan ledakan minyak dengan suara yang keras seperti pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Bahaya minyak goreng yang disiram air
(Sumber <http://randSCO.com>)

2.3 POOL FIRE



Gambar 2.5 Pool fire

2.3.1 Pendahuluan

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

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

Tabel 2.1. Sifat-sifat flame pada pool fire

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

2.3.2 Laju pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) Pool Fire

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

Untuk menghitung laju pembakaran pool fire, maka digunakan rumus :

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

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 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 Tinggi Nyala Api Pool Fire

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

$$H_f = 0.235\dot{Q}^{\frac{2}{3}} - 1.02D \quad (2.3)$$

dimana:

H_f = tinggi nyala api (m)

\dot{Q} = heat release rate of the fire (kW)

D = diameter dari api (m)

2.3.4 Durasi pembakaran Pool Fire

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

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

dimana :

V = volume dari bahan bakar cair (m³)

D = diameter dari pool (m)

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

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

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

dimana

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

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

2.4 KABUT AIR

2.4.1 Pendahuluan

Kabut air adalah air yang dipecahkan 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. Menurut sumber lain pengertian kabut air (*water mist*) adalah semprotan air yang berukuran halus yang mana 99% dari volume semprotan air tersebut berupa tetesan yang mempunyai diameter kurang dari 1000 mikron [6].

2.4.2 Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air

Penelitian mengenai pemadaman api oleh kabut air telah dimulai semenjak pertengahan tahun 1950-an, dari beberapa penelitian tersebut menyebutkan bahwa sistem kabut air memiliki beberapa kelebihan dalam memadamkan api dibandingkan dengan pemadam kebakaran konvensional diantaranya;

1. Sistem kabut air tidak beracun dan menyebabkan sesak napas karena media yang digunakan adalah air, dibandingkan dengan penggunaan halon
2. Tidak mengganggu lingkungan
3. Akses air yang mudah diperoleh. Air adalah materi yang dapat diperoleh dari mana saja, tidak seperti zat lainnya yang sulit untuk didapat.
4. Biaya penyediaanya air lebih murah dibandingkan dengan zat media pemadam lainnya.
5. Mempunyai penetrasi yang luas. Kabut air dapat menjangkau areal yang luas, sehingga laju penyerapan panas menjadi lebih besar
6. Laju aliran yang rendah. Hal ini mengurangi jumlah konsumsi air yang digunakan.

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

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

2.4.3 Mekanisme Pemadaman Api Oleh Kabut Air

Air mempunyai properti fisik yang menguntungkan dalam memadamkan. Air mempunyai kapasitas panas yang tinggi (4.2 J/g.K) dan panas laten uap yang tinggi (2442 J/g) dan dapat menyerap panas api dan bahan bakar dalam jumlah yang cukup banyak secara signifikan. Air juga dapat mengembang 1700 kali

ketika menguap menjadi uap panas, dan dapat mengurangi kadar oksigen dan penguapan bahan bakar. Dengan ukuran droplet yang sangat halus, efektivitas air dalam memadamkan api menjadi meningkat karena terjadinya peningkatan yang cukup signifikan pada area permukaan dari air yang tersedia untuk menyerap panas dan penguapan. Seperti penambahan area permukaan dari air yang ditunjukkan pada tabel 2.2 dimana volume air yang dimaksud adalah 0.001m^3 [7].

Tabel 2.2 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet
(volume air 0.001m^3)

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

Pada pemadaman api dengan sistem kabut air tidak semua droplet yang dihasilkan akan memadamkan api karena sifat dari kabut air yang tidak seperti sifat gas pada umumnya [8], sebagian droplet ini akan terbagi menjadi;

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

Air dapat memadamkan api dengan berbagai cara, diantaranya adalah :

a. Pemadaman flame

Droplet memasuki flame, kemudian flame mengalami pendinginan temperatur yang cukup rendah sehingga flame tidak bisa menyala lagi, akibatnya api akan padam. Permukaan panas dari bahan bakar tersebut akan terus memproduksi produk pyrolisis untuk jangka waktu tertentu yang dapat memicu terjadinya re-ignition. Mekanisme pendinginan nyala api oleh kabut air dengan cara merubah air menjadi uap panas, perubahan ini terjadi ketika kabut air dengan ukuran droplet yang kecil dan jumlah yang banyak memasuki nyala api dan dengan menguap secara cepat. Api akan padam pada saat temperatur adiabatik dari nyala api berkurang menjadi temperatur di bawah temperatur limitnya, sehingga mengakibatkan reaksi pembakaran antara bahan bakar dan udara menjadi terhenti. Api juga dapat dipadamkan ketika bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala (*fire point*) dengan menghilangkan panas dari permukaan bahan bakar, atau pada saat konsentrasi dari uap/campuran udara yang berada diatas permukaan bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala.

b. Pendinginan permukaan

Droplet mengenai permukaan bahan bakar, yang mendinginkannya ke temperatur dimana produk pyrolisis tidak lagi dapat diproduksi untuk menghasilkan nyala api kembali. Agar kabut air dapat memadamkan permukaan bahan bakar, semprotan kabut air harus bisa menembus nyala api agar dapat mencapai permukaan bahan bakar dan kemudian memindahkan sejumlah panas dari permukaan bahan bakar dengan laju perpindahan yang tinggi dari laju perpindahan panas yang diberikan oleh nyala api.

c. Droplet menghalangi atau mengurangi re-radiasi dari nyala api dan karena itu mengurangi laju pemanasan dan laju pyrolisis dari permukaan bahan bakar.

Kabut air dapat memadamkan api dengan mekanisme pendinginan nyala api dan pendinginan permukaan bahan bakar. Mekanisme pendinginan nyala api adalah dengan cara mengkonversikan droplet menjadi uap panas pada saat kabut air memasuki nyala api dan dengan secara cepat akan menguap, Api akan padam apabila temperatur adiabatik nyala api berkurang menjadi temperatur minimum yang dibutuhkan agar api dapat menyala.

Rabash[9] telah melakukan perhitungan dari efisiensi kabut air dalam memadamkan nyala api, ditemukan bahwa pada saat air menguap menjadi steam, penyerapan panas yang dibutuhkan untuk memadamkan api berkurang setengah dibandingkan pada uap air yang mengalami kondensasi. Dengan ukuran droplet yang halus, luas permukaan dari air dan kecepatan dimana kabut air menghilangkan panas dan memadamkan nyala api secara signifikan menjadi meningkat. Menurut Kannury[10] dan Herterich[11] laju penguapan droplet tergantung oleh;

- Temperatur lingkungan
- Luas permukaan droplet
- Koefisien perpindahan panas
- Kecepatan relatif droplet dengan gas yang terdapat dilingkungan sekitar

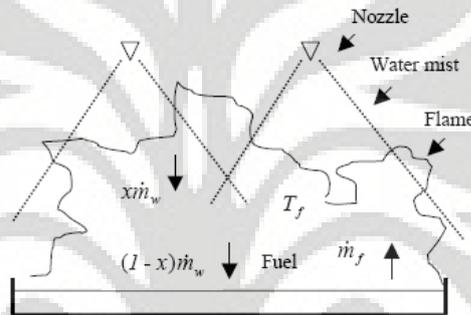
Wighus[12] mengenalkan suatu konsep hubungan antara ukuran nyala api dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk memadamkan nyala api tersebut, konsep tersebut disebut dengan Spray Heat Absorption Ratio (SHAR). SHAR didefinisikan sebagai rasio antara jumlah panas yang diserap oleh spray dan panas yang dihasilkan oleh api. Akan tetapi di beberapa penelitian menyebutkan bahwa nilai dari SHAR sangat bervariasi untuk bermacam jenis api, disebabkan oleh efisiensi dari kabut air dalam memadamkan api tidak dapat diprediksi.

Api juga dapat dipadamkan ketika temperatur bahan bakar didinginkan dibawah temperatur nyala dengan cara memindahkan panas dari permukaan bahan bakar, atau konsentrasi penguapan bahan bakar berkurang dari limit yang dibutuhkan agar pembakaran dapat berlangsung. Agar kabut air dapat

mendinginkan bahan bakar kabut air harus dapat menembus nyala api dan dapat mencapai permukaan bahan bakar dan kemudian menghilangkan panas dari bahan bakar dengan laju kecepatan yang lebih tinggi daripada bahan bakar dalam melakukann penguapan.

2.4.4 Pemadaman Flame (Nyala Api)

Ketika kabut air disemprotkan ke dalam api, seperti pada gambar 2.6 beberapa drop air ($x\dot{m}_w$) tertahan di dalam flame dan sisanya ($(1-x)\dot{m}_w$), menembus flame dan mencapai permukaan minyak panas.



Gambar 2.6 Skematik pemadaman pool fire oleh kabut air

Droplet air yang tertahan tadi menyerap panas dari flame dan panas yang dilepaskan dari pembakaran minyak goreng digunakan untuk memanaskan campuran udara-bahan bakar dan droplet air. Persamaan kesetimbangan energi didalam flame dapat ditulis berdasarkan persamaan kesetimbangan energi umum

$$s = (f_c \Delta H_c - L_{fv}) \dot{m}_f + \dot{Q}_E - \dot{Q}_L \quad (2.6)$$

Dimana fraksi f_c adalah fraksi dari ΔH_c yang ditransfer dari nyala api ke bahan bakar, ΔH_c adalah panas dari pembakaran minyak goreng, \dot{m}_f adalah laju pembakaran dari minyak goreng, L_{fv} adalah panas laten dari penguapan bahan bakar, \dot{Q}_E adalah heating flux dari luar yang ditransfer ke bahan bakar, dan \dot{Q}_L

adalah heat loss dari permukaan bahan bakar dan termasuk heat loss yang hilang kepermukaan, kedalam minyak dan air.

$$\dot{Q}_L = \varepsilon\sigma T_{fs}^4 + K_f \frac{(T_{fs} - T_{fo})}{\delta} + \dot{m}_w (C_{pw} (T_{fs} - T_w) + L_{vw}) \quad (2.7)$$

Dimana ε adalah emisitas dari minyak goreng, σ adalah konstanta Boltzmann ($5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2\text{K}^4$), T_{fs} adalah temperatur dari nyala api pada permukaan bahan bakar, T_{fo} adalah temperatur bahan bakar, δ adalah tebal layer dari bahan bakar yang dipanaskan dibawah permukaan bahan bakar. K_f adalah konduktifitas panas dari bahan bakar, \dot{m}_w adalah laju keluaran dari kabut air (kg/s), L_{vw} adalah panas laten dari penguapan air.

Sehingga kesetimbangan energi pada permukaan minyak adalah;

$$S = (f_c \Delta H_c - L_{fv}) \dot{m}_f + \dot{Q}_E - (\varepsilon\sigma T_{fs}^4 + K_f \frac{(T_{fs} - T_{fo})}{\delta} + \dot{m}_w (C_{pw} (T_{fs} - T_w) + L_{vw})) \quad (2.8)$$

Jika $S \geq 0$, maka akan tersedia cukup panas untuk menjaga api tetap menyala diatas permukaan minyak dan proses pembakaran terus berlanjut, tetapi jika $S < 0$, panas tidak cukup untuk menguapkan minyak untuk mendukung penyalaan sehingga api menjadi benar-benar padam. Untuk memadamkan api dari minyak goreng, ukuran api harus dikurangi untuk meminimalkan perpindahan panas dari nyala api ke minyak pada saat bersamaan. Minyak harus didinginkan oleh air untuk mengurangi penguapan bahan bakar yang dipakai untuk pembakaran.

Pada persamaan 2.8 juga menjelaskan salah satu alasan yang menggambarkan bahwa api minyak goreng sangat sulit untuk dipadamkan. Tidak seperti tipe api yang lain, temperatur minyak T_{fo} di bawah permukaan minyak lebih tinggi dari temperatur minyak T_{fs} di permukaan pada saat proses pemadaman. Minyak sendiri bukanlah sebuah energi yang akan menyusut tetapi adalah sebuah suplai energi untuk menjaga nyala api di permukaan. Panas disuplai

ke permukaan minyak dari minyak ditentukan oleh kemampuan wadah minyak dan jumlah minyak didalam wadah. Semakin banyak jumlah minyak didalam wadah mengakibatkan semakin banyak panas yang didapat oleh wadah, maka akan semakin sulit untuk memadamkan api minyak goreng.

2.4.5 Parameter Kabut Air

Pemadaman kebakaran minyak goreng dengan mekanisme kabut air memiliki tiga karakteristik penting yang dibutuhkan yaitu:

1. Kepadatan Fluks (Flux density)
2. Ukuran droplet dan Cakupan semburan (spray coverage)
3. Momentum semprotan/semburan (spray momentum)

2.4.5.1 Kepadatan Fluks

Spray flux density adalah jumlah dari spray (semburan) air dalam unit volume (Lpm/m³) atau pada unit area (Lpm/m²). Api tidak dapat dipadamkan kecuali jumlah air yang dilepaskan dari sistem kabut air cukup untuk memadamkan nyala dengan cara menghilangkan panas dari nyala, atau dengan mendinginkan minyak hingga dibawah titik apinya. Fluks air kritis yang diperlukan untuk memadamkan nyala api $x\dot{m}_w$, dan mendinginkan permukaan minyak ($(1-x)\dot{m}_w$), adalah sebagai berikut

$$x\dot{m}_w = \frac{\dot{m}_f(\Delta H_c - C_{pf}(1500 - T_{fo}) - \phi C_{pa}(1500 - T_{a0}) - L_{vf}}{L_{vw} + C_{pwL}(373 - T_w) + C_{pww}(1500 - 373)} \quad (2.9)$$

$$(1-x)\dot{m}_w = \frac{(f_c \Delta H_c - L_{vf})\dot{m}_f}{L_{vw} + C_{pwL}(373 - T_w)} \quad (2.10)$$

Fluks air kritis ditentukan berdasarkan sifat minyak, seperti halnya panas pembakarannya, laju pembakaran dan suhu nyala adiabatiknya.

Pada persamaan diatas menunjukkan bahwa pada permukaan bahan bakar dengan ukuran yang sama, maka dibutuhkan fluks kabut air yang lebih banyak pada bahan bakar cair yang mudah terbakar untuk memadamkan api dibandingkan api yang disebabkan oleh bahan bakar dengan temperatur permukaan yang tinggi, karena laju pembakarannya tidak terlalu berpengaruh.

Persamaan tersebut juga menunjukkan bahwa karakteristik spray optimum juga perlu dirubah tergantung dari jenis api yang akan dipadamkan. Untuk bahan bakar cair mudah terbakar, spray dengan kabut air yang halus mampu memadamkan api lebih baik dari pada dengan kabut air yang dropletnya besar-besar, karena semakin kecil dropletnya, maka droplet tersebut akan semakin tertahan di dalam flame dan mendinginkan flame. Sementara untuk bahan bakar dengan temperatur permukaan yang tinggi, spray dengan ukuran droplet besar lebih baik digunakan karena mampu mencapai permukaan bahan bakar dan mendinginkan permukaan.

2.4.5.2 Ukuran Droplet dan *Spray coverage*

Menurut teori, droplet dengan ukuran yang kecil lebih efisien dalam memadamkan api dari pada droplet yang mempunyai ukuran yang besar. Karena permukaan area yang dimiliki lebih banyak untuk penguapan dan memindahkan panas, droplet yang mempunyai ukuran yang kecil juga mempunyai waktu tinggal yang lama karena mudah untuk dibawa oleh arah angin. Akan tetapi droplet yang mempunyai ukuran yang sangat kecil sangat sulit untuk melakukan penetrasi kedalam nyala api dan mencapai permukaan bahan bakar karena drag dan efek hidrodinamik oleh nyala api. Untuk droplet yang mempunyai ukuran yang besar sangat mudah untuk melakukan penetrasi kedalam nyala api, akan tetapi mempunyai luas area permukaan yang kecil untuk evaporasi dan pemindahan panas. Kemampuan dari sistem kabut air akan tidak efektif apabila ukuran dari

droplet besar. Droplet dengan ukuran besar dan dengan mempunyai kecepatan yang tinggi dapat mengakibatkan cipratan bahan bakar, sehingga nyala api akan bertambah besar[13]

Disamping air dengan jumlah tertentu, cakupan air juga harus cukup besar untuk menutupi seluruh permukaan minyak, sehingga kabut air dapat menyerang panas dan mendinginkan minyak diseluruh permukaanya. Nyala yang tidak secara langsung dikenai oleh kabut air tidak akan padam dan panas yang dikeluarkan oleh nyala yang tidak padam tersebut akan bereaksi balik terhadap efek pendinginan kabut air pada minyak, sehingga akan menjaga api tetap menyala. Cakupan kabut air (watermist coverage) A_w , ditentukan oleh sudut spray α dan jaraknya terhadap permukaan minyak, L

$$A_w = \pi(L \tan \frac{\alpha}{2})^2 \quad (2.11)$$

2.4.5.3 Momentum semprotan (M_w)

Momentum semprotan harus cukup besar agar droplet dapat memasuki api dan mencapai permukaan bahan bakar. Kabut air dengan momentum yang rendah akan terbawa oleh pijaran api. Besarnya momentum yang diperlukan sedikitnya mempunyai magnitude yang sama tetapi mempunyai arah yang berlawanan terhadap gejolak nyala api.

$$M_{wy} \geq M_{fy} \quad (2.12)$$

Momentum semprotan kabut air dapat dihitung berdasarkan rumus berikut

$$M_w = (m_{wl} + m_{wv} + m_{wa}) \times u_w \quad (2.13)$$

Dimana m_{wl} , m_{wv} , dan m_{wa} berturut-turut adalah masa dari air dalam bentuk fase cairan, masa air dalam fase uap, dan masa udara yang dihasilkan oleh kabut.

Momentum pijaran api ditentukan oleh dari laju pelepasan panas api. Momentum pijaran api M_f adalah :

$$M_f = (m_{fp} + m_{fg} + m_{fa}) \times u_f \quad (2.14)$$

Dimana m_{fp} , m_{fg} , dan m_{fa} berturut-turut adalah masa dari material yang dibakar, masa gas dari api, dan masa udara yang dihasilkan oleh pijaran api.

Kecepatan keatas maksimum pada gejalok nyala api $u_{f \max}$, dicapai pada nyala api yang teratas [14]

$$u_{f \max} = 1.9 \dot{Q}_c^2 \quad (2.15)$$

Dimana \dot{Q}_c adalah laju pelepasan panas konvektif dari api.

Dan hubunganya dengan laju pelepasan panas total dari nyala \dot{Q} adalah [8]

$$\dot{Q}_c = 0.7 \dot{Q} \quad (2.16)$$

Momentum droplet air pada dasarnya dipengaruhi oleh kecepatan keluaran droplet dari nosel, ukuran droplet, dan jarak semburan. Pada kondisi non-evaporasi, kecepatan droplet (u_w), pada ujung jarak semburan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [10]

$$u_w = \frac{u_{wo}}{\exp\left(\frac{0.33 \rho_g L}{d \rho_w}\right)} \quad (2.17)$$

Dimana, kecepatan asal droplet air (u_{wo}) adalah :

$$u_{wo} = \sqrt{2 \left(\frac{\Delta P}{\rho_w} \right)} \quad (2.18)$$

Untuk mencegah kabut air terbawa pijaran api, maka momentum kabut air harus paling tidak sama dengan momentum pijaran api, dan arahnya berlawanan dengannya:

$$u_w \geq u_{fmax} \quad (2.19)$$

Atau

$$u_w = \frac{\sqrt{2 \left(\frac{\Delta P}{\rho_w} \right)}}{\exp\left(-\frac{0.33 \rho_g L}{d \rho_w}\right)} \geq 1.9 \dot{Q}_c^2 \quad (2.20)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa penetrasi droplet air tergantung dari tekanan penyemprotan, ukuran droplet, jarak penyemprotan, dan ukuran api. Tingkat penetrasi tersebut dapat ditingkatkan baik dengan cara meningkatkan ukuran droplet, atau mengurangi jarak penyemprotan ke pijaran api dengan cara meningkatkan tekanan semprotan.

2.4.6 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.

2.4.6.1 Proses pembentukan droplet

Terdapat tiga cara untuk membentuk suatu spray yaitu:

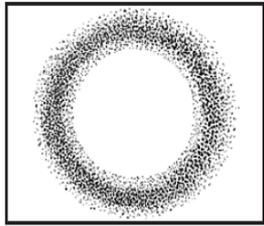
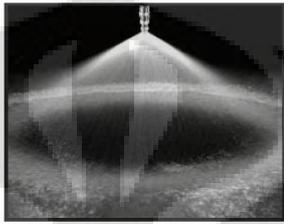
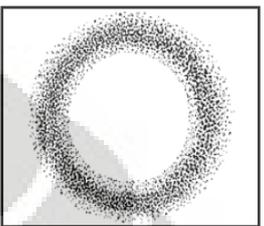
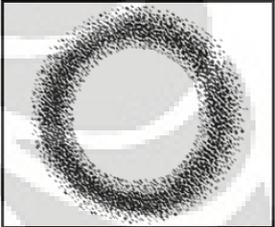
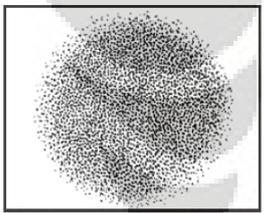
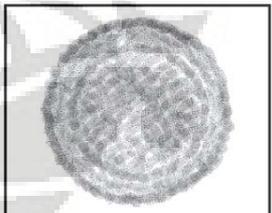
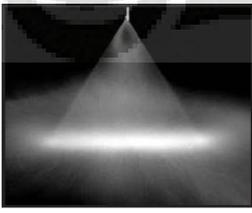
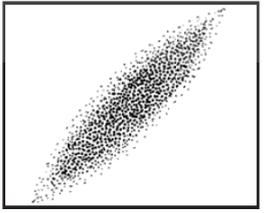
1. Dengan membuat rotasi aliran di dalam spray.
2. Dengan membenturkan jet air.
3. Dengan membuat droplet air secara langsung dari aliran jet air (water jet) yang turbulen, saat keluar dari nosel.

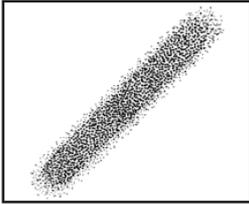
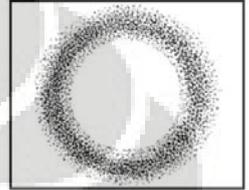
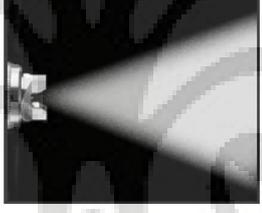
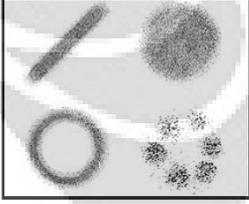
Proses untuk menghasilkan droplet disebut dengan atomisasi, proses ini dimulai dengan memberikan gaya pada air agar melewati nosel. Energi potensial dari air dan bentuk geometri dari nosel akan menyebabkan air pecah menjadi beberapa ligamen-ligamen kecil, dan ligamen kecil ini juga akan pecah menjadi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

2.4.6.2 Tipe-tipe Nosel dan pola penyebarannya

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

Tabel 2.3 Pola bentuk penyebaran kabut air

Tipe nosel	Foto	Penyebaran spray
Nosel <i>Hollow Cone</i>		
Nosel <i>Hollow Cone</i> (<i>deflected type</i>)		
Nosel <i>Hollow Cone</i> (Tipe spiral)		
Nosel <i>Full cone</i>		
Nosel <i>Full cone</i> (tipe spiral)		
Nosel <i>Flat spray</i> (tepered)		

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

(sumber www.SprayConsultants.com)

BAB III

PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR

3.1 KONSEP PERANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL PADA PENGUJIAN KABUT AIR

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

Tujuan perancangan adalah menghasilkan desain dudukan nosel yang dapat diatur ketinggian, sudut kemiringan, dapat diputar 360 derajat, meja kompor dan tempat *pool fire*, serta luas area tempat *pool fire* yang dapat dirubah-rubah.

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

- Alat ini menggunakan 12 nosel kabut air yang disusun menjadi 3 tingkat dan diletakan saling berhadapan satu sama lain, dengan ketinggian maksimum untuk nosel adalah 1,5 m dan ketinggian minimum adalah 0,5 m. Area pool fire minimum adalah 0.25 m² dan maksimum 1 m². Tinggi ruang cabin adalah 2 meter, tinggi dudukan meja pemutar adalah 0.5 meter dan dapat diputar 360°
- Karakteristik bahan bakar untuk pool firenya adalah minyak goreng yang mempunyai nyala tinggi api yang tinggi, temperatur nyala yang dapat mencapai suhu 400°C, dan sangat berbahaya apabila terkena air karena akan menyebabkan cipratan minyak panas.

- Area rangka dudukan nosel kabut air harus diberi pengaman agar bisa melindungi penguji pada saat melakukan pengujian dan pengamatan
- Alat ini dapat diatur ketinggian, kemiringan sudut, dan dapat diputar 360°, ukuran tempat pool fire yang bisa diatur sesuai keinginan pada saat pengujian, dan bersifat mudah di bawa kemana saja, karena setiap sambungan rangka bisa dilepas pasang, disamping itu juga memudahkan pergantian bagian yang rusak.

3.2 HASIL RANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL KABUT AIR

Dalam merancang rangka dudukan nosel kabut air tentunya mengacu pada ukuran komponen-komponen lainnya seperti, ukuran dan bentuk nosel kabut air, ukuran *fitting* dan pipa nosel, dan tinggi pemasangan *pressure vessel* dan ukuran komponen-komponen pelengkap lainnya.



Gambar 3.1 Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut air

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

1. Dudukan nosel dan Pipa dudukan nosel

Dudukan nosel ini dapat dikunci dengan baut pada bagian yang dihubungkan dengan pipa dudukan nosel, berfungsi untuk mengatur ketinggian nosel dari pool fire dan memutar nosel 360°. Pada bagian pemegang nosel berfungsi untuk mencekam nosel agar tidak bergerak dan diam di tempatnya, sedangkan pada sisi bawahnya dapat diputar untuk menghasilkan kemiringan sudut nosel.



Gambar 3.2 Dudukan Nosel Kabut Air

2. Meja pemutar rangka nosel

Meja ini berfungsi untuk memutar 360° semua komponen rangka dudukan nosel dan meja kompor agar memudahkan saat observasi.

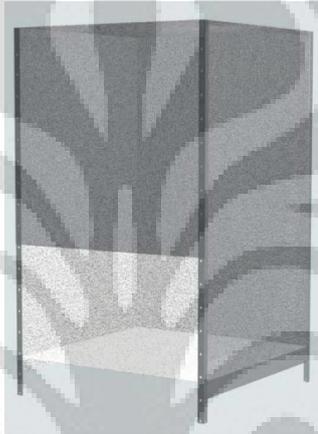


Gambar 3.3 Meja Pemutar Rangka Dudukan Nosel

3. Kabinet dan penutup *Acrylic*

Merupakan bagian terluar dari dudukan nosel kabut air yang berfungsi sebagai penyekat dan membatasi antara sistem alat dengan lingkungan luar. Bagian ini terbuat dari material *acrylic* dan plat seng alumunium. Adapun sifat material yang diharapkan terdapat pada komponen ini adalah:

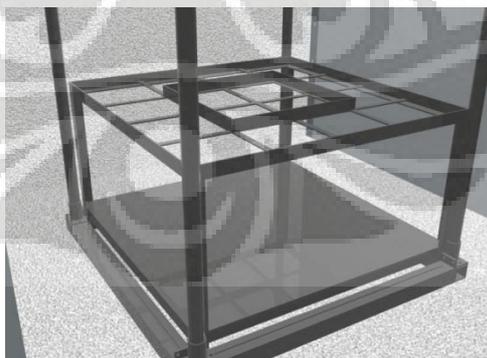
Memiliki sifat transparandan melindungi keselamatan pada saat pengamatan. Tujuannya adalah agar bagian dalam dari alat ini dapat dilihat dari luar sehingga memberikan kemudahan untuk diteliti.



Gambar 3.4 Kabinet dan penutup *acrylic*

4. Meja dudukan *pool fire* dan kompor

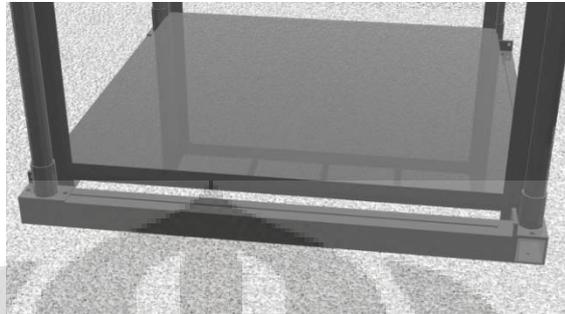
Berfungsi sebagai dudukan *pool fire* dan kompor



Gambar 3.5 Meja Dudukan *Pool fire* dan kompor

5. **Rangka pengatur ukuran area pool fire**

Rangka ini dapat mengatur besar kecilnya ukuran area pool fire dan secara langsung juga akan ikut mengatur jarak antar nosel secara horisontal



Gambar 3.6 Rangka Pengatur Ukuran Area Pool fire

3.3 **PERAKITAN SISTEM KABUT AIR**

Didalam sistem kabut air terdapat beberapa komponen penunjang lainnya dimana komponen ini sudah ada dan tersedia. Perakitan sistem kabut air dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Sistem kabut air

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

1. Nosel Kabut air

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

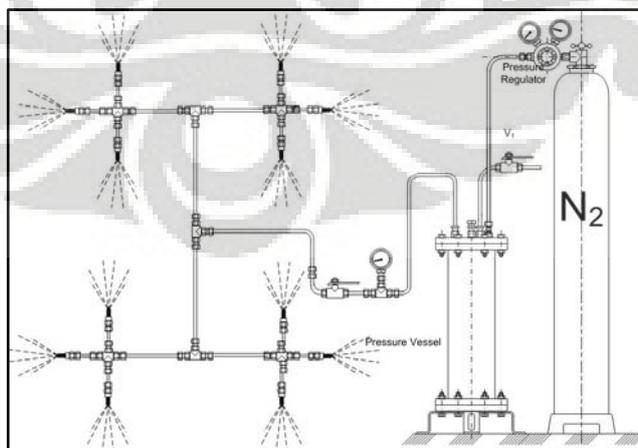


Gambar 3.8 Nosel Kabut air

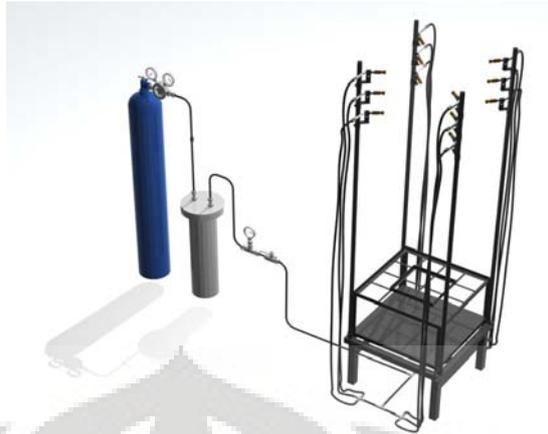
Spesifikasi nosel yang digunakan :

Nama pasaran/merek	: Mist Nozzle Apo TW-3
Material	: Kuningan
Diameter Orrifice	: 0,3 mm
Tekanan kerja	: 20 – 100 bar
Droplet Keluaran	: 10 - 50 μm
Sudut Spray	: 65° - 75°
Jumlah kebutuhan air	: 0.080 – 0.14 L/min

2. Sistem *piping*



Gambar 3.9 Skema sistem piping kabut air



Gambar 3.10 Sistem piping kabut air

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

1. *Caps and plugs* ukuran 1/4 inch
Befungsi sebagai penghubung antara *Union* dan Plastik *tube*, dan sebagai saluran air bagi nosel



Gambar 3.11 Caps and plugs

2. *Union*



Gambar 3.12 Union

3. Tee Union

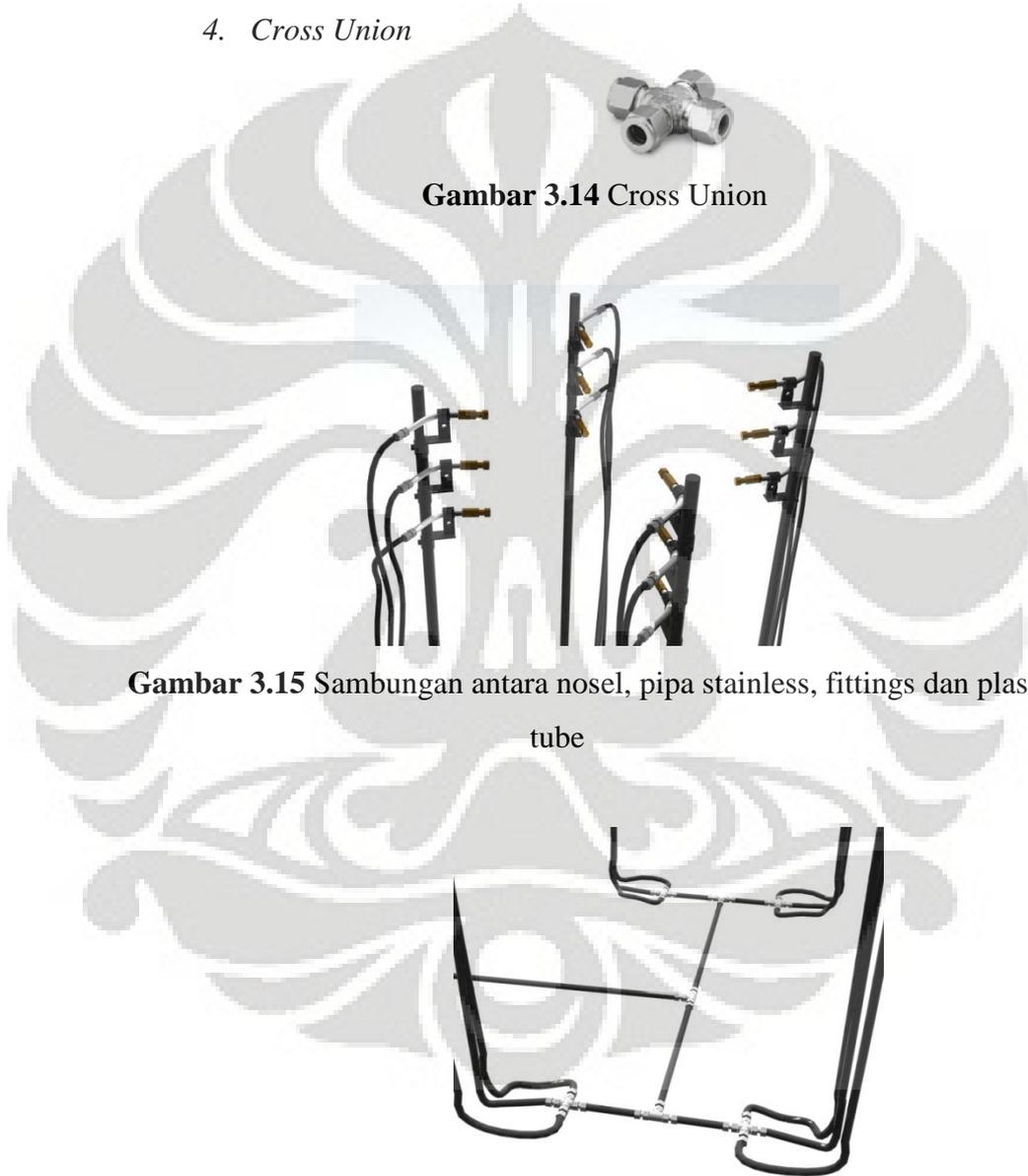


Gambar 3.13 Tee Union

4. Cross Union



Gambar 3.14 Cross Union



Gambar 3.15 Sambungan antara nosel, pipa stainless, fittings dan plastik tube

Gambar 3.16 Cabang aliran saluran air pada sistem water mist

3. Tabung Nitrogen dan Regulator

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



Gambar 3.17 Tabung Nitrogen dan Regulator

4. *Pressure Vessel*

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



Gambar 3.18 Pressure vessel dan check valve

5. *Check Valve*

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

6. *Pressure Gauge*

Alat ini untuk mengetahui tekanan air yang mengalir menuju nosel. Dengan mengetahui tekanan ini, maka dapat dijadikan variable untuk mencari karakteristik pemadaman.



Gambar 3.19 Pressure gauge

Hasil perakitan sistem kabut air dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 3.20 Hasil perancangan dan pembuatan dudukan nosel kabut air



Gambar 3.21 Hasil perancangan dan pembuatan sistem kabut air

BAB IV

METODOLOGI PENGUJIAN

4.1 TUJUAN PENGUJIAN

Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui *performance* atau unjuk kerja dari sistem kabut air dalam memadamkan *pool fire* berbahan bakar minyak goreng. Pengujian dikonsentrasikan pada pencapaian waktu target yang paling cepat dalam memadamkan api dari minyak goreng, ditinjau dari jumlah nosel yang dipakai, ketinggian nosel dari *pool fire* dan sudut peletakan nosel sehingga dapat diketahui performa karakteristik sistem kabut air menurut variasi yang diinginkan. Tujuan akhirnya adalah supaya didapat kombinasi tepat yang dapat membuat sistem kabut air bekerja secara efektif.

4.2 KOMPONEN PENGUJIAN

Peralatan pendukung diperlukan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan, peralatan tersebut berupa *pool fire*,udukan nosel kabut air, peralatan listrik seperti *power supply*, alat ukur berupa sensor temperatur beserta data kalibrasinya, media busa, kompor gas beserta tabung gas, dan data akuisisi (*data logger*).

4.2.1 Termokopel

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel tipe K, Untuk menjamin keakuratan data, termokopel perlu diletakan pada posisi yang tepat, peletakan termokopel yang salah akan menyebabkan data yang dihasilkan

menjadi tidak valid. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan peletakan termokopel pada pengujian pemadaman minyak goreng dengan kabut air.

1. Temperatur minyak goreng

Berfungsi untuk mengukur suhu temperatur minyak goreng didalam *pool fire*. Ujung sensor diletakan mengambang dan tidak bersentuhan dengan permukaan dasar *pool fire*.

Termokopel



Gambar 4.1 Posisi termokopel di dalam minyak goreng

2. Temperatur di permukaan pool fire

Berfungsi untuk mengukur suhu di permukaan pool fire



Gambar 4.2 Posisi termokopel di permukaan pool fire

3. Temperatur nyala api di ketinggian 10 cm

Berfungsi untuk pengukuran temperatur nyala api di ketinggian 10 cm dari permukaan *pool fire*.



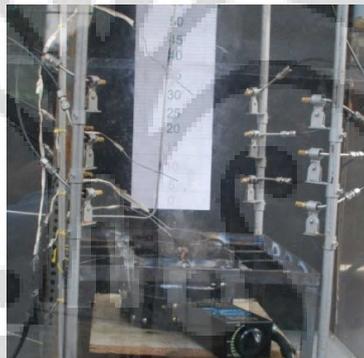
Gambar 4.3 Posisi termokopel 10 cm dari permukaan pool fire

4. Temperatur nyala api di ketinggian 30 cm
Berfungsi untuk pengukuran temperatur nyala api di ketinggian 30 cm dari permukaan *pool fire*.



Gambar 4.4 Posisi termokopel 30 cm dari permukaan pool fire

5. Temperatur di kompor gas
Berfungsi untuk mengukur temperatur yang dihasilkan oleh kompor gas.



Gambar 4.5 Posisi-posisi termokopel

4.2.2 Data Akuisisi

Data akuisisi yang digunakan adalah *Advantech Portable Data Acquisition Module* type USB-4718. Data akuisisi ini digunakan untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.6 Data Akuisisi

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

4.2.3 Wadah bahan bakar (*pool fire*)

Wadah bahan bakar berfungsi sebagai tempat menampung bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pembakaran (kebakaran). Wadah yang digunakan untuk pengujian ini memiliki diameter 6.5 cm, 10 cm dengan tinggi *pool* 4 cm. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.



Gambar 4.7 Wadah bahan bakar

4.2.4 Tabung Nitrogen dan Regulator

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



Gambar 4.8 Tabung Nitrogen dan pressure regulator

4.2.5 *Pressure Vessel*

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



Gambar 4.9 Pressure Vessel

4.2.6 *Nosel*

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

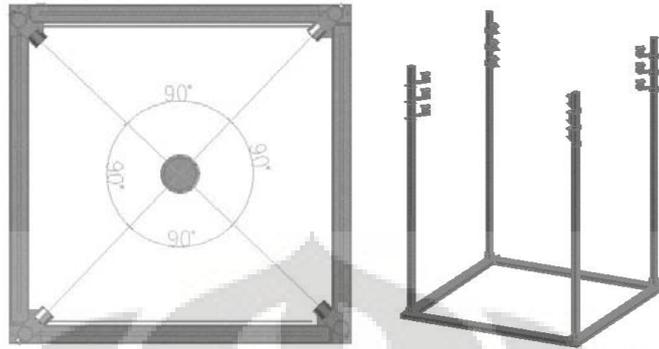


Gambar 4.10 Nosel *Greenhouse*

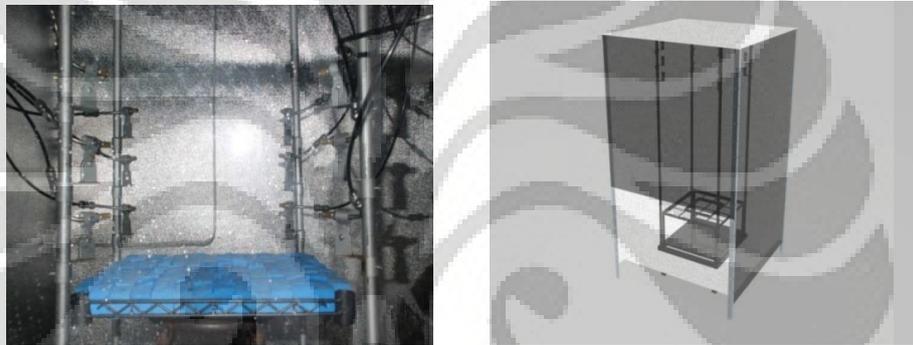
4.2.7 *Dudukan Nosel*

Sesuai dengan tujuan pengujian kali ini, maka diperlukan dudukan nosel kabut air yang mempunyai konfigurasi yang dapat memenuhi syarat pengujian yang akan dilakukan. Konfigurasi yang dimaksud adalah orientasi nosel seperti

terlihat pada gambar 4.11, sudut penyemprotan nosel yang dapat diubah-ubah, ketinggian dan jarak nosel yang dapat diubah-ubah terhadap permukaan pool fire.



Gambar 4.11 Orientasi peletakan nosel kabut air



Gambar 4.12 Dudukan nosel kabut air

4.2.8 Pipa atau Saluran air

Sistem kabut air ini menggunakan pipa yang terbuat dari bahan *stainless steel*. Memiliki ukuran $\frac{1}{4}$ inchi. Pipa ini cukup baik untuk menahan tekanan tinggi, dimana setiap sambungan menggunakan *ferrul* agar sambungan kuat dan tidak bocor. Untuk bagian pipa yang fleksibel maka digunakan *plastic tube* ukuran $\frac{1}{4}$ inchi agar memudahkan dalam mengatur ketinggian dari nosel.

4.2.9 *Check Valve*

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

4.2.10 *Pressure Gauge*

Alat ini untuk mengetahui tekanan air yang mengalir menuju nosel. Dengan mengetahui tekanan ini, maka dapat dijadikan variable untuk mencari karakteristik pemadaman.



Gambar 4.13 Pressure Gauge

4.2.11 *Kompor gas dan tabung gas*

Digunakan untuk memanasi minyak di dalam *pool fire* sampai minyak goreng mencapai titik *auto-ignition*



Gambar 4.14 Kompor gas

4.2.12 *Video kamera*

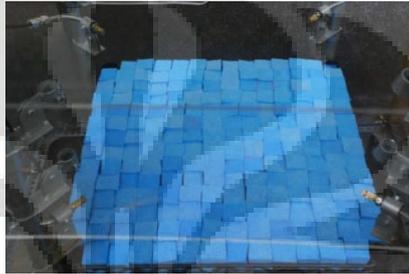
Digunakan untuk merekam kejadian saat proses proses, penyalan, pembakaran, dan pemadaman api. Rekaman ini dipergunakan untuk melihat proses apa yang terjadi dan dapat menganalisa apa yang terjadi

4.2.13 *Stop watch*

Untuk menghitung waktu penyalan, pengaktifan kabut air dan waktu pemadaman api.

4.2.14 Busa dan tempat busa

Untuk mendapatkan data *flux density mass* dari kabut air digunakan busa dan tempat busa yang berukuran 50 cm x 50 cm. Ukuran masing-masing busa adalah 3 x 3 cm dengan jumlah 192 buah seperti gambar 4.15 dan disusun menjadi 14 x 14 buah. Penggunaan alat ini juga untuk mengetahui persebaran spray yang dihasilkan oleh nosel.



Gambar 4.15 Busa

4.2.15 Timbangan

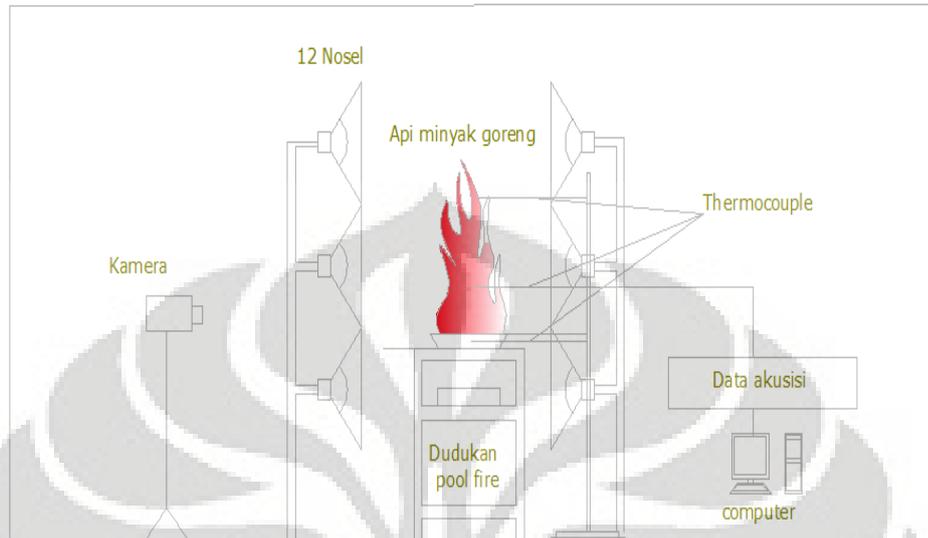
Dipergunakan untuk menghitung massa air dari nosel kabut air. Dalam menyiapkan timbangan ini yang perlu diperhatikan yaitu timbangan harus diletakkan pada bidang datar dan timbangan tidak boleh terkena aliran angin, karena kedua hal tersebut sangat mempengaruhi hasil timbangan.



Gambar 4.16 Timbangan

4.3 INSTALASI PENGUJIAN

Skema Pengambilan data pengujian



Gambar 4.17 Skema pengambilan data pengujian

4.4 VARIASI PENGAMBILAN DATA

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

- Pengambilan data *Flux density mass* dengan tinggi nosel 5, 10, 20 cm, jumlah nosel 4 dan 12 buah dan sudut kemiringan nosel yaitu 0°, 30°, 45°, dan 60° dengan tekanan *pressure gauge* 400 PSI
- Pengambilan data tinggi api dan temperatur *pool fire*, dengan dua variasi ukuran pool fire yaitu 6.5 dan 10 cm volume minyak goreng yang digunakan adalah 50ml dan 125ml.
- Pengambilan Data waktu Pemadaman *Pool fire*, dengan dua variasi ukuran pool fire yaitu 6.5 dan 10 cm. Volume minyak goreng yang digunakan adalah 50ml dan 125ml.

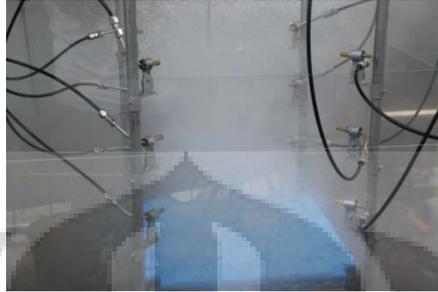
4.5 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

4.5.1 Prosedur pengambilan data *Flux Density*

Pengambilan data fluks *density* kabut air ini menggunakan busa dengan ukuran busa masing-masing 3 x 3 cm. Terdapat 192 buah busa dengan susunan 14 x 14 buah. Data yang akan didapatkan yaitu fluks massa, laju aliran, dan pola distribusi spray untuk berbagai variasi yang telah diterapkan. Untuk mendapatkan data tersebut dapat dijelaskan secara singkat; massa awal busa ditimbang dan dicatat kemudian busa diletakkan ditengah-tengah nosel dan disemprotkan air, setelah itu massa busa ditimbang kembali dan akan didapatkan perbedaan massa yang merupakan massa air yang diserap. Prosedur pengambilan data berdasarkan urutannya adalah:

1. Menyiapkan timbangan, diletakkan pada tempat datar dan dijauhkan dari aliran angin. Timbangan dibersihkan terlebih dahulu dan dikalibrasi dengan sample beban.
2. Menyiapkan busa, busa yang mau dipakai harus dalam keadaan setengah basah karena hal ini mempengaruhi banyaknya air yang dapat diserap. Busa diletakkan pada wadah sesuai dengan urutan yang telah ditetapkan.
3. Menimbang massa awal busa dan mencatatnya satu persatu.
4. Masukkan air kedalam *pressure vessel*, sampai batas yang telah ditentukan. Lalu tutup dengan kencang *pressure vessel* tersebut.
5. Memasang nosel dan mengatur variasi sesuai dengan yang diinginkan.
6. Buka tekanan dengan pressure regulator sampai tekanan yang diinginkan.
7. Meletakkan busa dan wadahnya diantara nosel yang telah diatur variasinya
8. Siapkan *stop watch*.
9. Kemudian mngambil data, buka stop kran terlebih dahulu dan biarkan selama 1 menit, setelah 1 menit tutup stop kran dan tarik wadah busa.
10. Menimbang kembali massa busa, dan akan didapatkan perbedaan massa awal dan akhir yang merupakan massa air yang disemprotkan.

11. Sebelum melakukan pengambilan data lagi, busa sebaiknya diperas agar tidak terlalu basah (jenuh), karena akan berpengaruh pada penyerapan air selanjutnya.



Gambar 4.18 Foto Pengambilan Data Fluks Density

4.5.2 Prosedur Pengambilan data Tinggi dan Temperatur *pool fire*

Prosedur Pengujian yang dilakukan adalah :

1. Menyiapkan wadah tempat bahan bakar berukuran diameter 6,5 cm dan 10 cm. Wadah diletakkan pada bilik dengan latar belakang warna hitam
2. Memasang mistar yang terbuat dari kertas pada dinding bilik hitam di belakang *pool fire*
3. Memasang termokopel untuk mengukur temperatur api yang dihasilkan pada ketinggian 10 cm dan 30 cm diatas permukaan *pool fire*
4. Menyiapkan program Adam View pada komputer, untuk mengukur temperatur pada lima termokopel
5. Menuangkan bahan bakar pada wadah yang telah disiapkan.
6. Menyiapkan kamera untuk merekam. Hidupkan kamera pada saat minyak goreng akan mencapai titik *auto ignition*-nya.
7. Mulai hidupkan program (rekam temperatur), diamkan sampai api mencapai suhu stabil atau bahan bakar habis.
8. Data ketinggian api didapatkan berdasarkan rekaman api yang ditangkap oleh kamera.

9. Data temperatur api didapatkan dari data yang direkam oleh program Adam view yang kemudian dirubah menjadi data numerik.



Gambar 4.19 Foto Pengambilan Data Tinggi nyala api

4.5.3 Prosedur Pengambilan Data Waktu Pemadaman Pool Fire



Gambar 4.20 Foto Pengambilan Data Pemadaman Api

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut;

1. Masukkan air kedalam *pressure vessel* sampai batas yang telah ditentukan, dan tutup rapat semua baut.
2. Menyiapkan konfigurasi nosel yang telah dibuat sebelumnya dengan sudut penyemprotan yang paling optimum yang didapat dari hasil pengujian fluks massa.
3. Mengatur tekan dengan pressure regulator sampai tekanan 400 PSI.

4. Lakukan tes semprotan kabut selama beberapa detik, untuk memastikan kabut benar-benar terbentuk sempurna
5. Meletakkan wadah bahan bakar dan memastikan peletakan wadah bahan bakar tepat di tengah susunan nosel.
6. Memasang termokopel pada posisi di permukaan *pool fire*, kemudian 10 cm dan 30 cm diatas permukaan wadah bahan bakar.
7. Menyiapkan program *Adam view* pada komputer, untuk mengukur temperatur pada kedua termokopel.
8. Menuangkan bahan bakar pada wadah yang telah disiapkan.
9. Menyiapkan kamera untuk merekam. Hidupkan kamera pada saat minyak goreng akan mencapai titik auto ignition-nya
10. Pada saat minyak menyala sendiri, biarkan selama beberapa detik agar temperaturnya stabil, hal ini juga dapat dilihat pada saat *logging* data dimana pada grafik temperatur minyak mulai konstan.
11. Pada detik temperatur minyak goreng mulai stabil, buka stop valve untuk memulai pemadaman. Pada saat yang bersamaan juga mulai rekam visual fenomena pemadaman dan hitung lamanya pemadaman dengan *stop watch*.
12. Setelah api padam, tutup semua *valve*, lalu tutup *pressure regulator* dan tutup tabung nitrogen.

BAB V

HASIL DAN ANALISA

5.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Berikut adalah data-data dan analisa hasil pengujian karakteristik sistem kabut air pada pemadaman api minyak goreng. Penyajian data yang diperoleh akan digambarkan dalam bentuk grafik dan tabel. Data yang didapatkan berupa performa pemadaman kabut air berdasarkan *flux mass*, dan waktu pemadaman api minyak goreng berdasarkan sudut kemiringan dan ketinggian nosel dari permukaan *pool fire*.

5.2 PENGUJIAN KARAKTERISTIK KABUT AIR UNTUK ARAH PEMADAMAN DARI SISI SAMPING

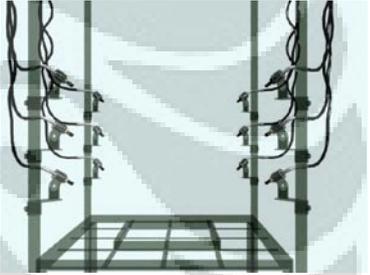
Pada penelitian ini arah datangnya kabut air untuk pemadaman dilakukan dari sisi samping seperti terlihat pada gambar 5.1 sehingga dapat dilihat keefektifan perbedaan arah datangnya kabut air terhadap fluks massa. Arah pemadaman dari sisi samping ini dipilih karena pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti lain di laboratorium *fire safety* UI posisi pemadaman yang digunakan adalah dari atas dan dari sisi samping bawah. Karena pembatasan masalah maka efektivitas pemadaman yang dihasilkan oleh posisi pemadaman dari sisi atas dan samping bawah tidak akan penulis bahas di tulisan ini.

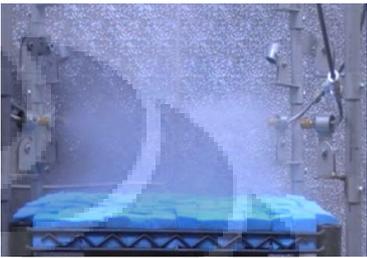


Gambar 5.1 Arah pemadaman kabut air dari sisi samping

Skenario Posisi Pengambilan data fluks massa dari kabut air dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Konfigurasi ketinggian nosel dan sudut yang dipakai pada penelitian arah penyemprotan dari sisi samping

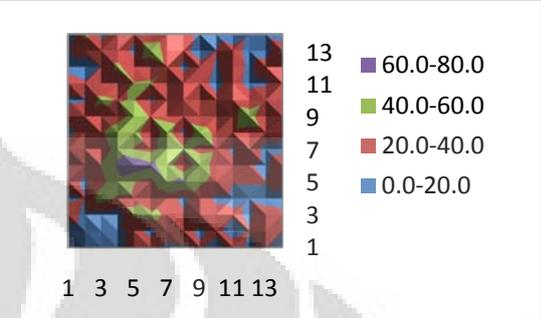
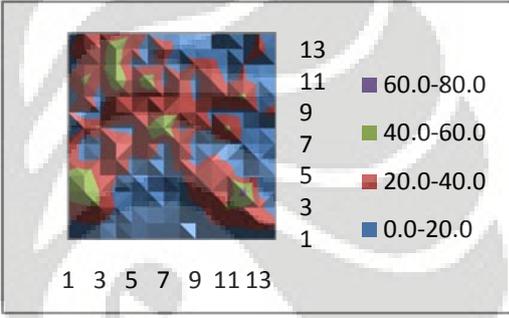
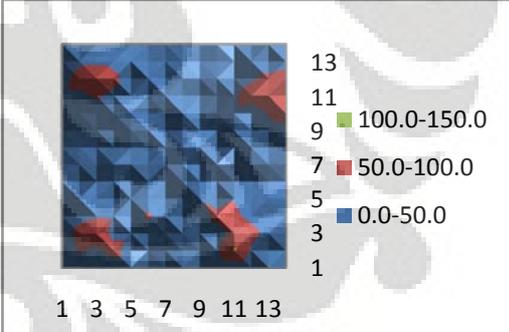
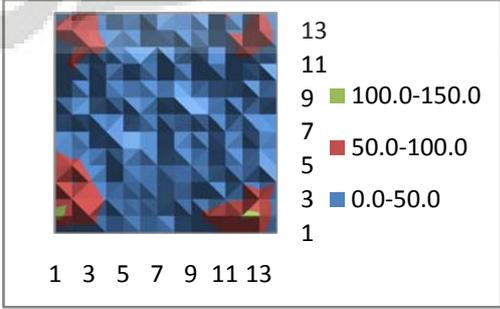
Skenario	Keterangan	Gambar visual
1	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 12 • Sudut = 0° • Tinggi nosel dari permukaan gabus <ul style="list-style-type: none"> Tingkat 1 = 10cm Tingkat 2 = 20cm Tingkat 3 = 30cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
2	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 12 • Sudut = 30° • Tinggi nosel dari permukaan gabus <ul style="list-style-type: none"> Tingkat 1 = 10cm Tingkat 2 = 20cm Tingkat 3 = 30cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
3	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 12 • Sudut = 45° • Tinggi nosel dari permukaan gabus <ul style="list-style-type: none"> Tingkat 1 = 10cm Tingkat 2 = 20cm Tingkat 3 = 30cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
4	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 12 • Sudut = 60° • Tinggi nosel dari permukaan gabus <ul style="list-style-type: none"> Tingkat 1 = 10cm Tingkat 2 = 20cm Tingkat 3 = 30cm Waktu penyemprotan 1 menit 	

5	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 4 • Sudut = 0° • Tinggi nosel dari permukaan gabus Tingkat 1 = 5cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
6	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 4 • Sudut = 0° • Tinggi nosel dari permukaan gabus Tingkat 1 = 10cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
7	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 4 • Sudut = 0° • Tinggi nosel dari permukaan gabus Tingkat 1 = 20cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
8	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 12 • Sudut = 0° • Tinggi nosel dari permukaan gabus Tingkat 1 = 15cm • Tingkat 2 = 30cm • Tingkat 3 = 45cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	

5.2.1 Pengaruh Kemiringan Posisi Sudut Nosel Terhadap Fluks Massa (*Mass Fluxes*) Kabut Air

Pengujian dilakukan pada Kemiringan sudut 0° atau posisi sudut sejajar dengan permukaan kotak busa, 30° , 45° dan 60° dengan perputaran arah sudut searah jarum jam, seperti yang terlihat pada gambar Tabel 5.1

Tabel 5.2 *Fluks massa* berdasarkan konfigurasi sudut dengan ketinggian yang sama

Spesifikasi	Fluks massa
<p>Konfigurasi 1</p> <ul style="list-style-type: none"> Nosel dengan sudut 0° Jumlah nosel 12 Pressure 400 PSI Fluks massa rata-rata 28.6 gr/m²s 	
<p>Konfigurasi 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Nosel dengan sudut 30° Jumlah nosel 12 Pressure 400 PSI Fluks massa rata-rata 20.6 gr/m²s 	
<p>Konfigurasi 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Nosel dengan sudut 45° Jumlah nosel 12 Pressure 400 PSI Fluks massa rata-rata 26.7 gr/m²s 	
<p>Konfigurasi 5</p> <ul style="list-style-type: none"> Nosel dengan sudut 60° Jumlah nosel 12 Pressure 400 PSI Fluks massa rata-rata 32.3 gr/m²s 	

Percobaan dilakukan dengan membasahi media busa dengan menghidupkan sistem kabut air selama ± 1 menit. Tinggi dan sudut kemiringan nosel diatur sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan, tekanan pada *pressure gauge* dijaga sebesar 400 PSI. Hasil fluks massa yang didapatkan pada percobaan ini berdasarkan pengaturan konfigurasi sudut dan ketinggian nosel dapat dilihat pada tabel 5.2.

Dari grafik yang terdapat pada tabel 5.2 dapat kita lihat pengaruh kemiringan sudut nosel terhadap fluks massa, dengan menetapkan beberapa parameter yang sama yaitu berupa ketinggian nosel yang sama dan tekanan yang sama. Sehingga dari pengambilan data akan terlihat pola penyebaran kabut air serta interaksi antar nosel. Pada gambar grafik di atas dapat dilihat pada konfigurasi sudut 60° dan 45° memiliki kecenderungan fluks massa terkonsentrasi disetiap sudut, sedangkan pada konfigurasi sudut 30° dan 0° pola konsentrasi persebaran fluks massa lebih mengarah kebagian tengah.

Persebaran fluks massa pada sudut 30° dan 0° mengarah kebagian tengah akibat dari kemiringan sudut yang mengakibatkan kabut air yang keluar dari 12 nosel berinteraksi terlebih dahulu kemudian baru jatuh ke area uji. Sedangkan pada kemiringan sudut 60° dan 45° persebaran massanya mengumpul di daerah tepi dan kabut air yang dipancarkan terlebih dahulu mengarah ke area uji dan diserap oleh busa sebelum berinteraksi dengan kabut air yang keluar dari nosel yang lainnya.

Kemiringan sudut berpengaruh terhadap rata-rata massa yang diserap oleh busa, rata-rata massa yang paling banyak adalah pada sudut 60° karena ujung kepala nosel jangkauan spray lebih mengarah terlebih dahulu ke daerah uji dengan kosekuensi jangkauan persebaran yang lebih sempit. Berbeda dengan sudut 0° yang mempunyai massa rata-rata yang lebih kecil dari kabut air yang jatuh merupakan kabut air sisa hasil interaksi dari keempat nosel sehingga sebagian kabut air jatuh keluar dari daerah uji.

Fenomena lain yang ditemui pada interaksi spray dua belas nosel yaitu aliran spray yang saling bertabrakan pada bagian tengah daerah uji mengalami putara (turbulensi), hal ini bisa terjadi akibat spray kabut air yang keluar masing-masing memiliki momentum yang diberikan oleh nosel, apabila salah satu nosel memiliki momentum yang lebih besar dibandingkan yang lainnya yang terjadi adalah pola persebaran fluks density cenderung terdorong ke arah spray kabut air yang memiliki momentum lebih lemah, sehingga pada gambar diatas terdapat daerah yang jumlah fluks massanya yang sedikit.

Dengan kemiringan sudut 0° akan didapatkan konsentrasi fluks massa pada daerah tengah, sedangkan pada kemiringan sudut 45° dan 60° konsentrasi fluks cenderung terkonsentrasi di setiap sudut daerah uji, pada sudut 30° konsentrasi fluks berada pada tepi daerah uji. Sehingga dari hasil ini dapat diketahui dari sistem ini, terkait dengan penggunaannya apabila diinginkan objek tertentu yang terkonsentrasi, maka dapat digunakan kemiringan sudut 45° dan 60° . Sedangkan konfigurasi dengan sudut 0° dapat digunakan untuk objek yang terkonsentrasi pada daerah tengah.

5.2.2 Pengaruh Ketinggian Penyemprotan Kabut Air Terhadap Fluks Massa

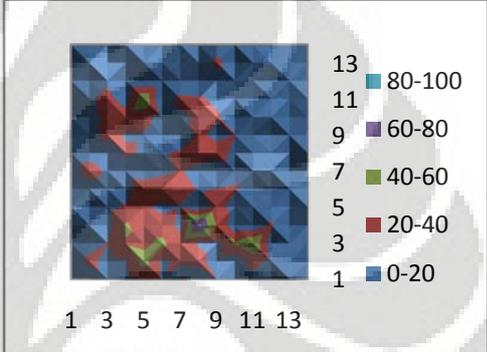
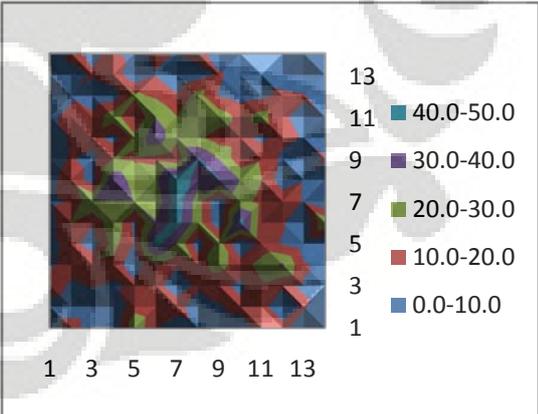
Selain faktor kemiringan sudut juga akan dilihat faktor ketinggian nosel pada saat penyemprotan terhadap pola persebaran serta jumlah fluks massanya. Setelah melihat hasil pengaruh kemiringan sudut terhadap fluks massa untuk sudut kemiringan lebih mengarah ke daerah uji, rata-rata fluks massa semakin besar sehingga dapat dijadikan hipotesis sementara untuk ketinggian yang semakin dekat dengan daerah uji maka jumlah fluks massa akan semakin besar, untuk mendukung hipotesis ini maka perlu dibandingkan dengan hasil percobaan.

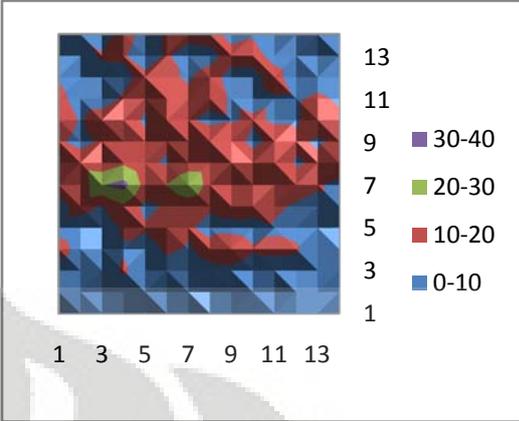
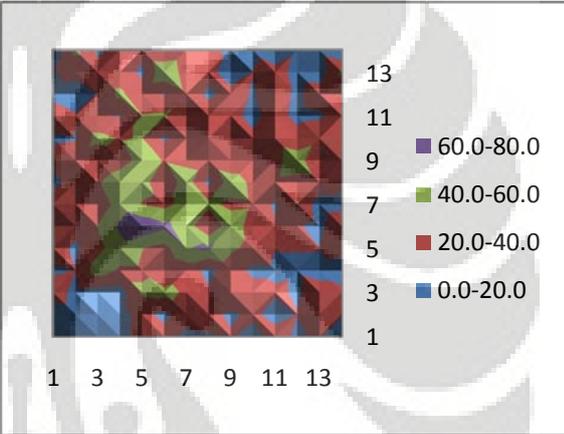
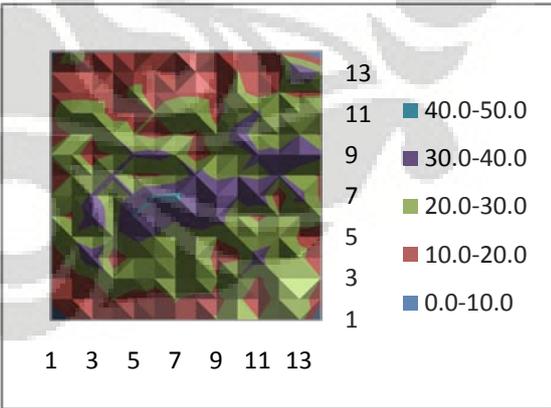
Pada penelitian ini konfigurasi tinggi nosel dan sudut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.1 Untuk lebih memudahkan didalam melakukan analisa maka variable yang digunakan tetap yaitu sudut kemiringan dan tekanan masing-masing 0° dan 400 PSI. Sudut 0° digunakan karena pada percobaan menurut pengaruh kemiringan sudut, sudut ini memiliki pola penyebaran yang merata pada daerah uji dan cenderung lebih mengarah ke tengah dari daerah uji sehingga sudut

0° akan digunakan sebagai patokan untuk melihat pengaruh ketinggian posisi nosel terhadap daerah uji.

Data hasil percobaan ketinggian nosel terhadap fluks massa dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Pengaruh ketinggian nosel terhadap *Flux mass*

Spesifikasi	Fluks mass
<p>Konfigurasi 6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 4 • Ketinggian 5 cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI • Fluks massa rata-rata 14.2 gr/m²s 	
<p>Konfigurasi 7</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 4 • Ketinggian 10cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI Fluks massa rata-rata 13.9 gr/m²s 	

<p>Konfigurasi 8</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 4 • Ketinggian 20cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI <p>Fluks massa rata-rata 9.4 gr/m²s</p>	
<p>Konfigurasi 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 12 • Ketinggian 10, 20 dan 30cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI <p>Fluks massa rata-rata 28.6 gr/m²s</p>	
<p>Konfigurasi 9</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 12 • Ketinggian 15, 30 dan 45cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI <p>Fluks massa rata-rata 23 gr/m²s</p>	

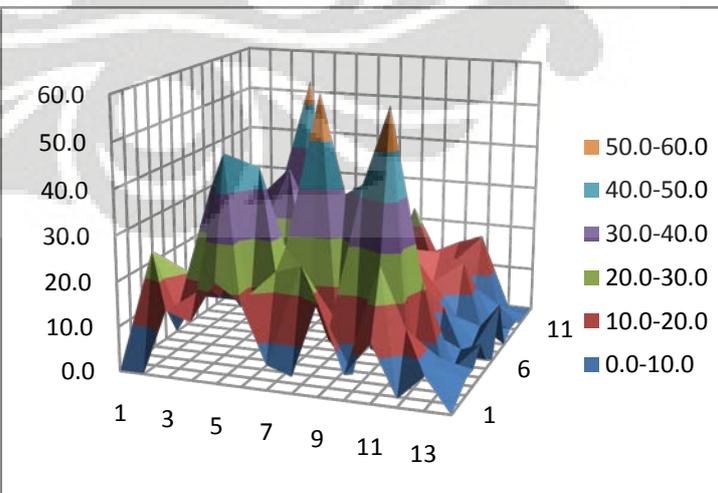
Pada tabel diatas terlihat perbedaan pola persebaran yang terjadi pada tiga variasi ketinggian yaitu 5, 10, 20 cm dari tepi daerah uji, Pada umumnya pola persebaran yang dilihat pada tabel lebih cenderung kedaerah tengah area uji, akan

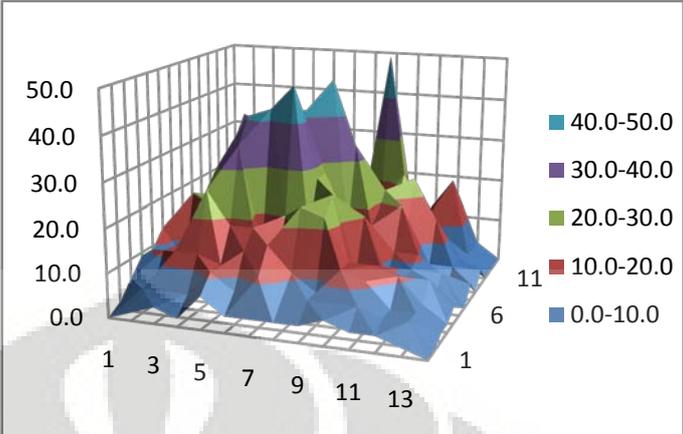
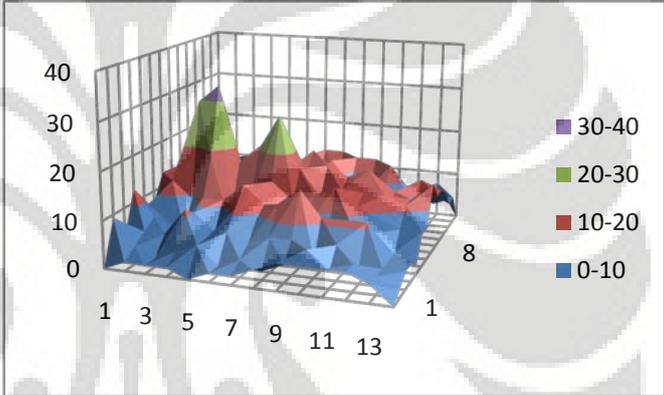
tetapi terjadi perbedaan fluks massa rata-rata, dimana semakin dekat tinggi nosel terhadap daerah uji maka fluks massa yang didapat akan semakin lebih besar.

Persebaran fluks massa yang cenderung mengumpul di tengah sesuai dengan hipotesis sebelumnya bahwa pancaran spray akan berinteraksi dengan pancaran dari keempat nosel didaerah tengah, sehingga fluks density yang terdapat di bagian tengah merupakan kabut air yang jatuh akibat interaksi momentum antar nosel. Ketinggian nosel berpengaruh juga terhadap rata-rata fluks massa yang dihasilkan, semakin bertambah ketinggian noselnya rata-rata fluks massanya semakin turun.

Analisis yang mendekati adalah bertambahnya ketinggian nosel menyebabkan pancaran spray nosel yang jatuh dan diserap oleh busa semakin sedikit, sehingga interaksi spray nosel cenderung mengarah di daerah tengah, dan dengan bertemunya momentum dari keempat nosel menyebabkan spray yang jatuh berkurang akibat terbawa aliran udara sekitar. Untuk melihat interaksi pancaran spray kabut air antar nosel maka akan ditampilkan ilustrasi 3 dimensi dari fluks massa

Tabel 5.4 Tampilan 3 Dimensi ketinggian terhadap *Mass Flux*s

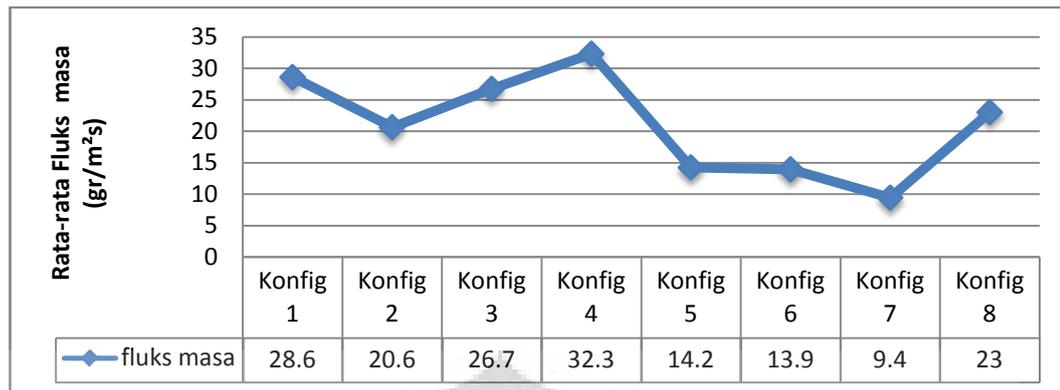
Spesifikasi	Fluks density mass
<p>Konfigurasi 6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 4 • Ketinggian 5 cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI • Fluks massa rata-rata 14.2 gr/m²s 	

<p>Konfigurasi 7</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 4 • Ketinggian 10cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI • Fluks massa rata-rata 13.9 gr/m^2 	
<p>Konfigurasi 8</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nosel dengan sudut 0° • Jumlah nosel 4 • Ketinggian 20cm dari permukaan alat uji • Pressure 400 PSI • Fluks massa rata-rata 9.4 gr/m^2 	

Dengan adanya data perbedaan ketinggian ini dapat diambil kesimpulan bahwa dengan ketinggian yang lebih dekat dengan daerah uji, akan meningkatkan peforma dari kabut air tersebut. Peningkatan peforma yang dimaksud yaitu luas cakupan area yang sama besar dengan jumlah fluks massa yang lebih besar.

5.2.3 Perbandingan Keseluruhan Kemiringan Sudut Serta Ketinggian Terhadap Fluks Massa

Untuk lebih dapat melihat perbandingan keseluruhan dari pengaruh kemiringan sudut dan ketinggian dapat dilihat pada grafik dibawah ini berdasarkan konfigurasi yang digunakan.



Gambar 5.2 Hasil perbandingan keseluruhan berdasarkan konfigurasi

Pada grafik perbandingan diatas untuk membuktikan dengan analisis sebelumnya bahwa dengan kemiringan sudut yang semakin kecil dan dengan ketinggian yang semakin dekat dengan permukaan daerah uji, dimana sudut bukaan spray dapat menjangkau lebih dekat permukaan daerah uji maka akan didapatkan rata-rata fluks massa yang semakin besar dengan nilai yang terbesar dimiliki oleh konfigurasi konfigurasi 4 (12 nosel, sudut 60° tinggi 10, 20, 30 cm) akan tetapi pola penyebaran spray tidak merata hanya terfokus di setiap sudut daerah uji dan kurang menjangkau di tengah daerah uji. Sedangkan pada konfigurasi 1 (12 nosel, sudut 0° tinggi 10, 20, 30 cm) pola penyebaran kabut airnya lebih merata di seluruh permukaan daerah uji.

Setelah dilakukan pengujian karakteristik nosel terhadap fluks massa yang dihasilkan, maka posisi nosel yang dipilih untuk pemadaman nantinya yaitu dengan kemiringan 0° , ketinggian nosel 10, 20 dan 30 cm dari permukaan *pool fire* dan jumlah nosel yang dipakai adalah 12 buah. Hal ini dikarenakan jumlah fluks massa yang dihasilkan dibandingkan sudut 30° , 45° , dan 60° lebih optimal jika di lihat dari segi pola pesebaran fluks yang lebih merata di permukaan daerah uji dan lebih terkonsentrasi pada daerah tengah, sedangkan dengan konfigurasi ketinggian 10, 20, dan 30 cm didapat rata-rata fluks massa (28.6 gr/m^2) yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi yang lain.

5.3 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

5.3.1 Karakteristik Pool Fire Bahan Bakar Minyak Goreng

Pada penelitian ini akan mencoba memadamkan jenis *pool fire* berbahan bakar minyak goreng menggunakan kabut air. Sebelum memadamkannya, perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik dari *pool fire* yang akan diuji. Ini sebagai dasar analisis saat pemadaman.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemadaman *pool fire* yang berbahan bakar minyak goreng. Wadah *pool fire* yang digunakan adalah 6.5 cm dan 10 cm yang akan menghasilkan ketinggian *flame* yang berbeda-beda. Bahan bakar yang digunakan adalah 50 dan 100 ml pada masing-masing wadah. Sebelum melakukan pemadaman, dilakukan terlebih dahulu perhitungan karakteristik dari *pool fire* yang akan diuji. Karakteristik itu dapat berupa laju pembakaran bahan bakar, laju produksi kalor teoritis, tinggi nyala api, dan temperature nyala. Sifat nyala api dari *pool fire* tersebut penting untuk menganalisis apa yang terjadi saat dilakukan usaha pemadaman menggunakan kabut air.

5.3.1.1 Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi Kalor Minyak Goreng

Untuk mengetahui pembakaraan 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 minyak goreng nilai dari adalah $m_{\infty}'' = 0.01 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $k\beta$ adalah 100 m^{-1} dan ΔH_c adalah 40000 KJ/kg [9]. Kemudian dilakukan perhitungan laju pembakaran untuk kedua *pool fire* tersebut :

- Diameter 6.5 cm

$$\dot{m}'' = 0.01 \text{ kg/m}^2 \text{ s} (1 - e^{-100 \times 0.065})$$

$$\dot{m}'' = 9.98 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

- Diameter 10 cm

$$\dot{m}'' = 0.01 \text{ kg/m}^2 \text{ s} (1 - e^{-100 \times 0.1})$$

$$\dot{m}'' = 9.99 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

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

$$\dot{Q}_c = \dot{m}'' \Delta H_c (\text{kW/m}^2)$$

- Diameter 6.5 cm

$$\dot{Q}_c = 9.98 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s} \times 40000 \text{ KJ/kg}$$

$$\dot{Q}_c = 399.4 \text{ kW/m}^2$$

- Diameter 10 cm

$$\dot{Q}_c = 9.99 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s} \times 40000 \text{ KJ/kg}$$

$$\dot{Q}_c = 399.6 \text{ kW/m}^2$$

5.3.1.2 Tinggi Nyala Api dan Bentuk Api *Pool fire*

Untuk mengetahui tinggi nyala api dari *pool fire* dapat menggunakan rumus [Heskestad, 1995]

$$H_f = 0.235 \dot{Q}_c^{\frac{2}{3}} - 1.02D$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_c \times A_f$$

- Diameter 6.5 cm

$$H_f = 0.235 \times 1.32^{\frac{2}{3}} - (1.02 \times 0.065 \text{ m})$$

$$H_f = 0.21 \text{ m atau } 21 \text{ cm}$$

- Diameter 10 cm

$$H_f = 0.235 \times 3.13^{\frac{2}{3}} - (1.02 \times 0.1 \text{ m})$$

$$H_f = 0.4 \text{ m atau } 40 \text{ cm}$$

5.3.2 Perhitungan Kesetimbangan Energi pada Pemadaman Api Minyak Goreng

Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara teoritis dalam menghitung kesetimbangan energi pada pemadaman minyak goreng, sehingga didapatkan data perhitungan apakah sistem kabut air yang digunakan dapat memadamkan api minyak goreng pada percobaan yang akan dilakukan.

Ketika minyak goreng terbakar, panas akan di pindahkan dari minyak ke nyala api dengan cara konveksi dan radiasi. Panas akan hilang dari minyak dengan melalui evaporasi dari droplet air dan dengan pemindahan panas dari wadah. Api bisa dipadamkan dengan kabut air dengan cara mendinginkan permukaan bahan bakar. Perhitungan kesetimbangan energi di permukaan minyak goreng adalah

$$s = (f_c \Delta H_c - L_{fv}) \dot{m}_f + \dot{Q}_E - \dot{Q}_L$$

$$\dot{Q}_L = \varepsilon \sigma T_{fs}^4 + K_f \frac{(T_{fs} - T_{fo})}{\delta} + \dot{m}_w (C_{pw} (T_{fs} - T_w) + L_{vw})$$

Dimana fraksi f_c adalah fraksi dari ΔH_c yang ditransfer dari nyala api ke bahan bakar (15%), ΔH_c adalah panas dari pembakaran minyak goreng (40000kJ/kg), \dot{m}_f adalah laju pembakaran dari minyak goreng (0.01kg/s m²), L_{fv} adalah panas laten dari penguapan bahan bakar (400 kJ/kg), \dot{Q}_E adalah heating flux dari luar yang ditransfer ke bahan bakar (18 kJ/s)[9].

\dot{Q}_L adalah heat loss dari permukaan bahan bakar dan termasuk heat loss yang hilang kepermukaan, kedalam minyak dan air. Dimana ε adalah emisistas dari minyak goreng (0.9), σ adalah konstanta Boltzmann ($5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2\text{K}^4$), T_{fs} adalah temperatur dari nyala api pada permukaan bahan bakar (380°C), T_{fo} adalah temperatur bahan bakar minyak goreng, δ adalah tebal layer dari bahan

bakar yang dipanaskan dibawah permukaan bahan bakar (0.02m). K_f adalah konduktifitas panas dari bahan bakar ($0.145 \times 10^{-3} \text{ kJ/s.m}^\circ\text{C}$), m_w adalah laju keluaran dari kabut air pada konfigurasi 1 ($4.79 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$), L_{vw} adalah panas laten dari penguapan air (2.5 kJ/kg).

Sehingga kesetimbangan energi pada permukaan minyak adalah;

$$S = (f_c \Delta H_c - L_{fv}) \dot{m}_f + \dot{Q}_E - (\epsilon \sigma T_{fs}^4 + K_f \frac{(T_{fs} - T_{fo})}{\delta}) + \dot{m}_w (C_{pw} (T_{fs} - T_w) + L_{vw})$$

$$\dot{Q}_L = 0.9 \times 5.67 \times 10^8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \times 380^\circ\text{C}^4 + 0.145 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot \text{m}^\circ\text{C} \frac{380 - 360}{0.02\text{m}} + 4.79 \cdot 10^{-3} \text{kg/s} (1 \times 20) + 2.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_L = 1915622.7 \text{ kJ/s}$$

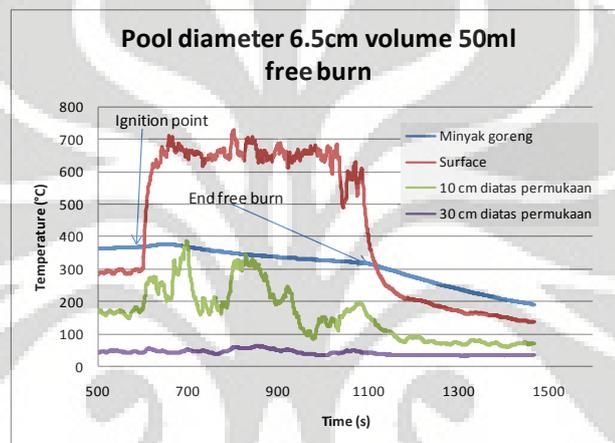
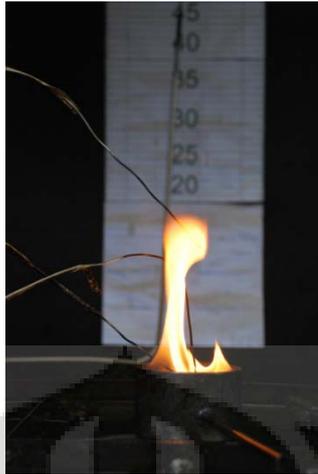
$$S = \left(0.15 \times 40000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} - 400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) 0.01 \text{kg/s m}^2 + 18 \text{ kJ/s} - 1915622.7 \text{ kJ/s}$$

$$S = -1.9 \times 10^6 \text{ kW}$$

Jika $S \geq 0$, maka akan tersedia cukup panas untuk menjaga api tetap menyala diatas permukaan minyak dan proses pembakaran terus berlanjut, tetapi jika $S < 0$, panas tidak akan mampu untuk menguapkan minyak goreng untuk mensuplai nyala api sehingga api akan padam. Dengan perhitungan awal ini dapat diasumsikan bahwa sistem kabut air yang akan digunakan dengan konfigurasi 12 nosel, sudut 0°C dan ketinggian 10, 20, dan 30 cm, dengan laju kabut air yang dihasilkan ($4.79 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$) dapat memadamkan api minyak goreng pada *pool fire* ukuran 6,5 dan 10 cm.

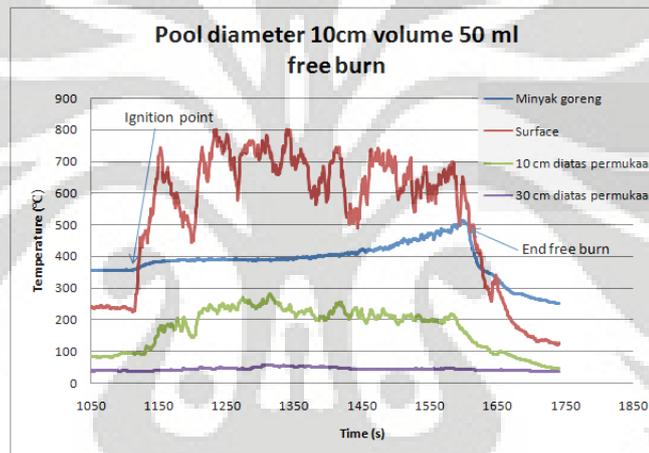
5.3.3 Pengambilan Data Karakteristik dari minyak goreng

Minyak goreng akan menyala sendiri pada saat mencapai temperatur *auto-igniton* dengan pemanasan yang dilakukan secara terus-menerus. Pada 10 kali penelitian yang dilakukan dengan skala laboratorium didapatkan temperatur *auto igniton* dari minyak goreng bervariasi antara 350°C sampai 370°C . Temperatur dari nyala api minyak goreng diukur pada tiga ketinggian yaitu di permukaan *pool fire*, pada 10 cm dan 30 cm dari permukaan *pool fire*.



Gambar 5.3 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada pool diameter 6.5cm

Pada gambar 5.3 percobaan yang dilakukan untuk mendapatkan *ignition point* dari minyak goreng dan dibiarkan terbakar sampai minyak goreng di dalam wadah habis, terlihat bahwa minyak goreng mencapai titik auto ignition point pada temperatur 368°C, dan kemudian nyala api akan padam pada temperatur 315°C dan waktu yang di butuhkan untuk minyak goreng untuk menghabiskan massa pembakarannya adalah berkisar 9 menit. Pada saat terbakar temperatur minyak goreng akan bervariasi menurut waktu percobaan, temperatur paling tinggi yang dicapai oleh minyak goreng adalah 376°C.



Gambar 5.4 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada pool diameter 10cm

Sedangkan pada *pool fire* dengan diameter 10 cm, pada gambar 5.4 terlihat bahwa minyak goreng mencapai titik auto ignition point pada temperatur 358°C, dan kemudian nyala api akan padam pada temperatur 268°C waktu yang di butuhkan untuk minyak goreng untuk menghabiskan massa pembakarannya adalah berkisar 9 menit 8 detik. Temperatur paling tinggi yang dicapai oleh minyak gorengn pada pool ukuran 10cm adalah 512°C.

Pada gambar 5.3 dan 5.4 terdapat perbedaan bahwa kurva temperatur minyak goreng pada pool diameter 6,5 cm akan selalu turun pada akhir *free burn*, sedangkan pada pool diameter 10c m kurva temperatur minyak cenderung untuk

naik, hal ini disebabkan oleh posisi pemasangan termokopel di dalam pool, pada pool diameter 6,5 cm tinggi volume minyak lebih tinggi dari pada pool diameter 10 cm pada volume yang sama, sehingga pada saat api menyala dan bahan bakar minyak akan terus berkurang. Pada saat di ketinggian minyak di pool diameter 6.5 cm masih merendam ujung dari termokopel, sedangkan pada pool diameter 10 cm ujung termokopel hanya membaca temperatur di permukaan bahan bakar yang terbakar karena ketinggian minyak yang mulai menyusut.

Fluktuasi atau tidak stabilnya nyala api sesuai dengan karakteristik daripada pool fire yaitu penguapan cairan bahan bakar dengan momentum bahan bakar tidak terjadi secara serentak sehingga nyala api akan mencari bahan bakar yang dapat menguap terlebih dahulu selain itu kondisi aliran udara yang menyebabkan api sedikit bergerak. Pada kedua gambar diatas temperatur mengalami kestabilan antara 600-700°C, pada kedua jenis diameter. Fluktuasi kecil yang terjadi dikarenakan dinamika api yang terus bergerak, dikarenakan adanya aliran udara (angin) yang menerpa nyala api.

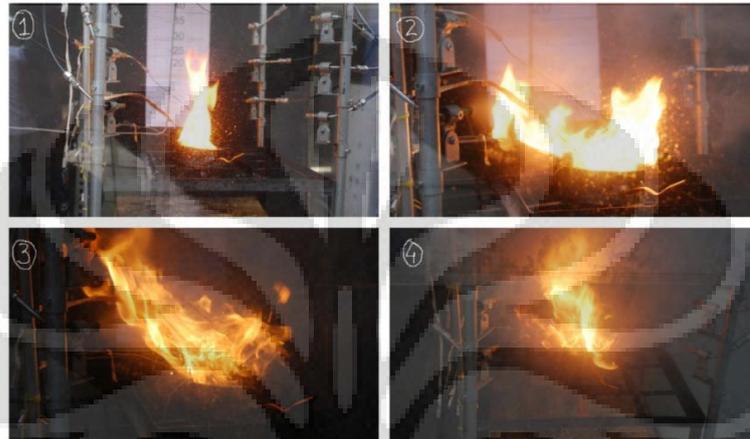
Data ini kemudian akan digunakan sebagai pembandingan keefektifan pemakaian kabut air pada saat pemadaman.

5.4 ANALISA VISUAL PEMADAMAN BAHAN BAKAR MINYAK GORENG

Pengamatan dilakukan terhadap temperatur dari nyala api yang dihasilkan sebelum kabut air dinyalakan dan setelah kabut air dinyalakan. Oleh karena itu akan ditempatkan empat buah termokopel serta video kamera untuk melihat pergerakan temperatur nyala api saat dikenai kabut air dan saat pemadaman terjadi. Termokopel tersebut diletakan didalam minyak goreng tanpa menyentuh dasar permukaan pool, pada permukaan *pool fire*, 10cm, dan 30cm dari permukaan *pool fire*.

Dalam pemadaman ini akan dipakai 12 nosel dengan tekanan 400 PSI, sudut kemiringan dudukan nosel 0° dan ketinggian nosel adalah 10cm, tinggi nosel kedua adalah 20cm dan nosel ketiga 30cm dari permukaan pool. Konfigurasi ini dipakai karena pada saat melakukan pengambilan data *fluk mass*

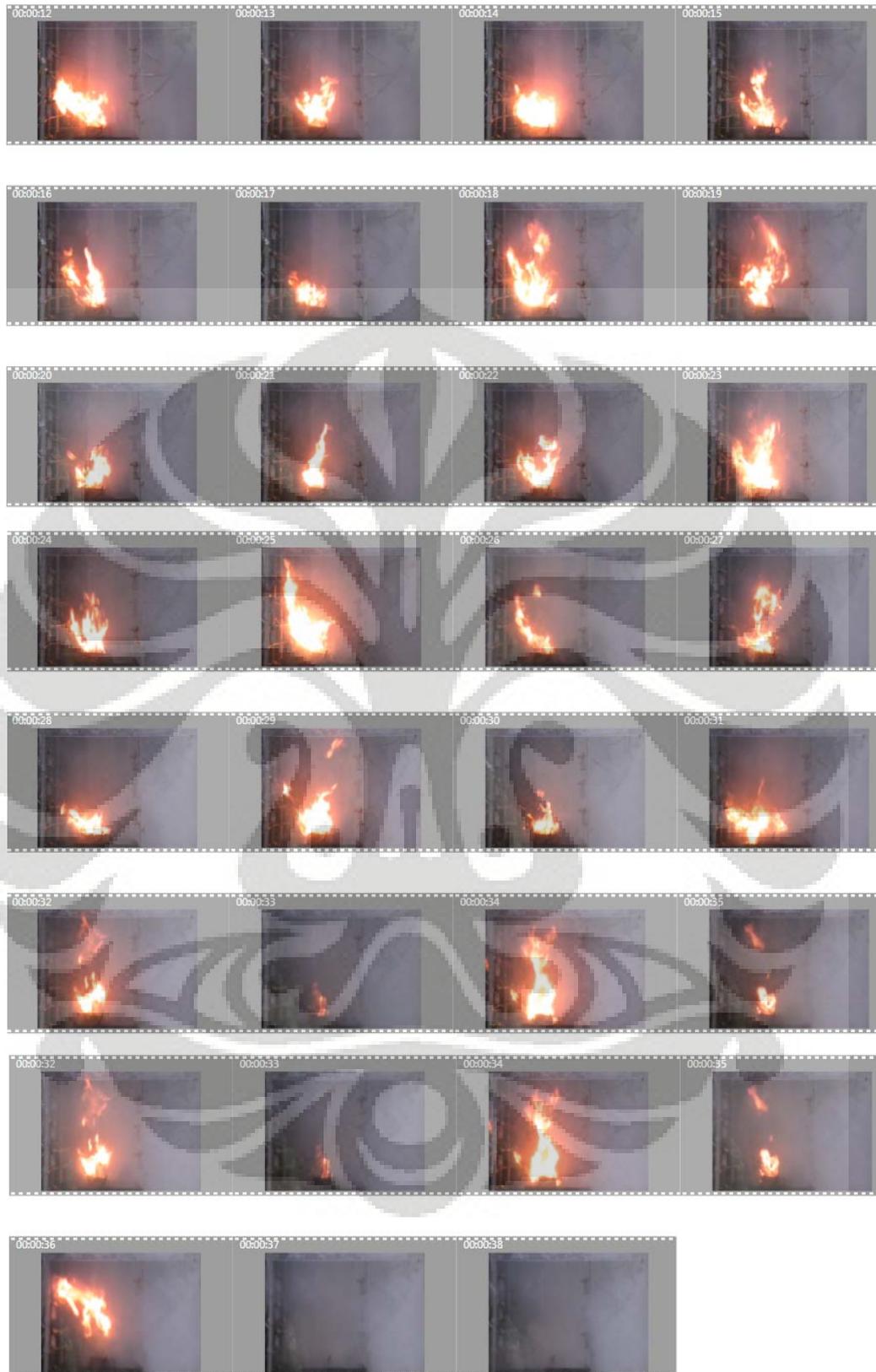
sudut 0° dilihat paling optimal dari segi jumlah kabut air yang mengarah ke daerah pemadaman. Penggunaan 12 nosel ini bertujuan untuk mengurung nyala api sehingga menimbulkan efek pendinginan dan mengurangi udara yang masuk ke dalam daerah *pool fire*. Berikut hasil rekam visual pemadaman *pool fire* minyak goreng dengan sistem kabut air dari sisi samping untuk diameter *pool fire* 6,5 cm



Gambar 5.5 Pengamatan visual pemadaman api minyak goreng

Berikut ini adalah *time line* pemadaman api minyak goreng





Gambar 5.6 Time line pengamatan visual pemadaman api

Gambar diatas menunjukkan hasil rekam visual proses pemadaman api berbahan bakar minyak goreng dengan menggunakan sistem kabut air dari sisi samping atas. Proses yang ditampilkan ini pada diameter pool fire diameter 10 cm. Gambar tersebut menggambarkan urutan terjadinya mekanisme pemadaman dimulai dari penyalaan bahan bakar akibat mencapai titik *auto ignitionnya*, kemudian nyala api mulai berkembang penuh dan stabil .

Pada saat temperatur minyak goreng mencapai kestabilan dimana pada periode temperaturnya mulai konstan sistem pemadaman kabut air mulai dinyalakan, terlihat cakupan spray mulai tampak mengembang sempurna kemudian mulai terjadi interaksi antara api dengan kabut air. Saat kabut air tersebut mengenai permukaan bahan bakar, api yang ada disekitar daerah tersebut menjadi tidak stabil sehingga terjadi pembesaran api secara tiba-tiba. Secara tidak langsung pembesaran tersebut dikarenakan bahan bakar yang tidak terbakar yang menguap jauh diatas permukaan minyak goreng itu terbakar. Pada tahapan ini, perpindahan kalor secara konveksi dan radiasi terjadi, fenomena yang terjadi antara interaksi api dengan kabut air yaitu bentuk lidah api cenderung mengecil dan menjadi tidak stabil dan mengarah ke bagian tengah akibat dari dorongan momentum kabut air yang dihasilkan oleh 12 nosel dari keempat sisi, setelah itu nyala api semakin kecil akibat kabut air semakin dominan menutup permukaan nyala api sehingga mengurangi udara atau oksigen yang dibutuhkan pada reaksi pembakaran menyebabkan api padam. Lama waktu pemadaman untuk diameter 6,5 cm cenderung cepat yaitu hanya berkisar 5 detik. Untuk diameter 10 cm tahapan persiapan sampai tahapan penyalaan sistem kabut air sesuai dengan diameter 6,5 cm, hanya yang membedakan bentuk nyala api yang lebih besar dikarenakan pengaruh diameter *pool fire* sehingga jumlah bahan bakar pada kondisi yang sama, memiliki nyala api lebih besar dibandingkan dengan diameter 6.5 cm. Interaksi yang terjadi antara kabut air dengan api pada saat disemprotkan terjadi pembesaran mendadak seperti pada diameter 6,5cm, tetapi pada diameter 10 cm terlihat lebih besar, kemudian kabut air mulai melakukan penetrasi mendorong nyala api dari keempat sisi sehingga bentuk nyala api berubah bentuk menjadi kecil dan berputar-putar akibat kabut air menyelimuti

nyala api sehingga udara serta kandungan oksigen yang masuk kedalam nyala api semakin berkurang menyebabkan api padam.

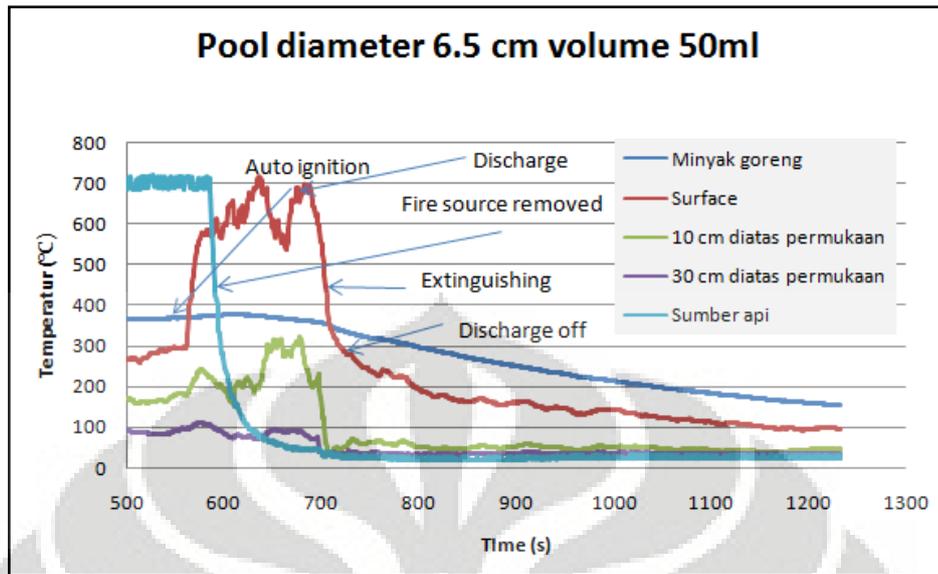
5.5 ANALISA PEMADAMAN DAN PENURUNAN TEMPERATUR TERHADAP WAKTU

Minyak goreng pada setiap percobaan dipanaskan secara terus menerus sampai mencapai titik *auto-ignitonnya*, saat minyak telah mencapai *smoke point*, asap akan muncul di permukaan minyak, dan bertambah semakin banyak jika mendekati titik *auto ignitionya*. Nyala api yang muncul di suplai oleh uap bahan bakar yang berada di permukaan minyak yang telah dipanaskan. Pada saat *free burning*, api sepenuhnya akan terbentuk, memenuhi seluruh permukaan wadah.

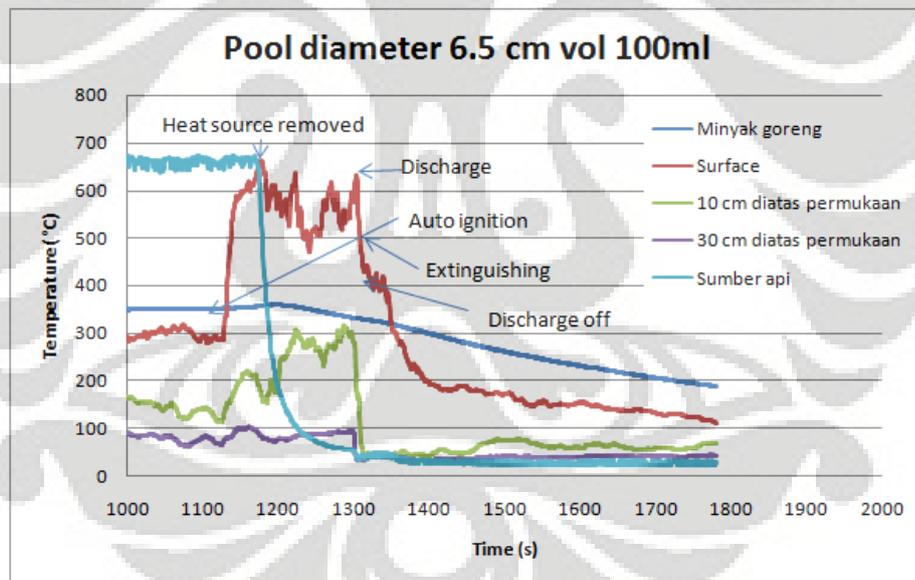
Hasil dari percobaan pemadaman api minyak goreng dapat dilihat pada tabel 5.5

Tabel 5.5 Skenario percobaan dan hasil pemadaman api minyak goreng

Pool (cm)	Volume (ml)	Tinggi pool (cm)	Tekanan di pressure gauge (bar)	Auto Ignition point (°C)	Oil Splash	Lama pemadaman dalam detik (s)
6.5	50	4	27	368	Tidak	6s, tidak terjadi re-ignition
6.5	100	4	27	350	Tidak	6s, tidak terjadi re-ignition
6.5	50	10	27	368	Tidak	5s, tidak terjadi re-ignition
6.5	125	10	27	358	Tidak	43s, terjadi dua kali re-ignition, kemudian api padam sendiri
10	50	4	27	358	Tidak	35s, tidak terjadi re-ignition
10	125	4	27	353	Tidak	2 min 13s, tidak terjadi re-ignition
15	50	4	27	-	Tidak	Tidak pernah mau terbakar/ atau dinyalakan maks. Temperatur yang dicapai 320°C. dan menghasilkan produk seperti aspal cair



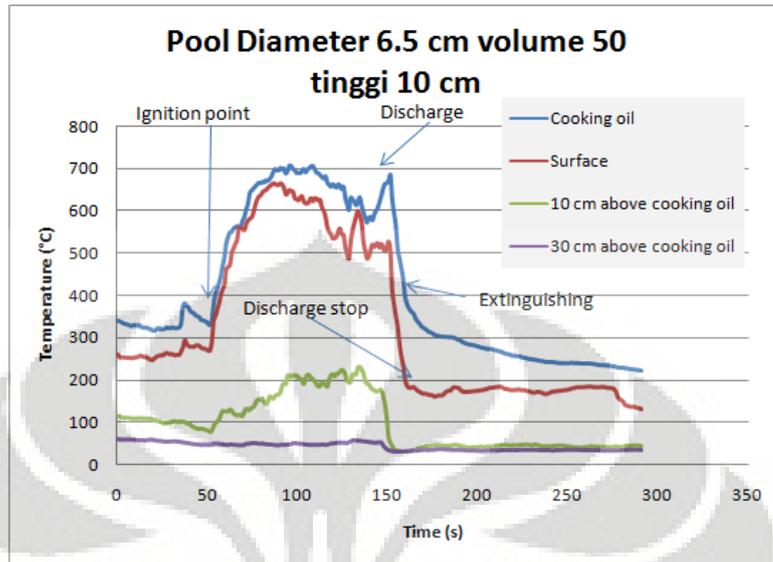
Gambar 5.7 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 6.5 cm



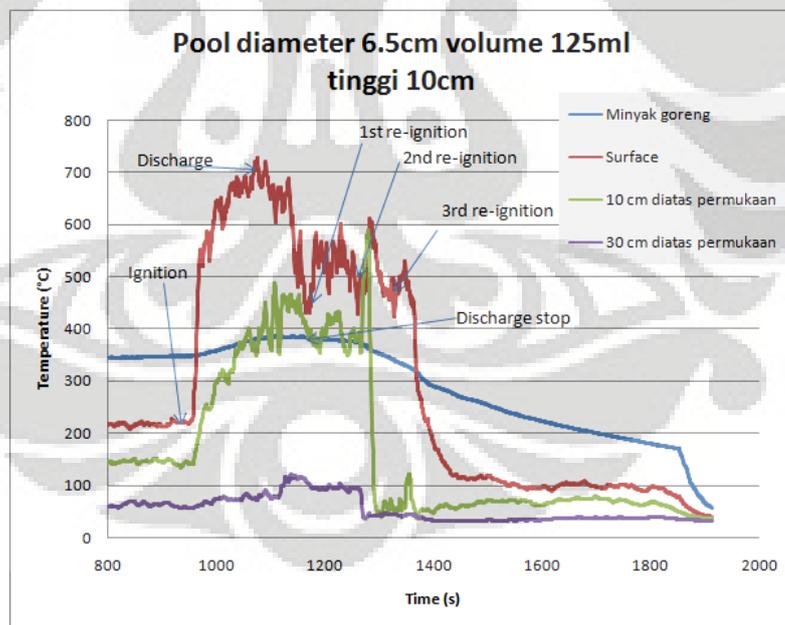
Gambar 5.8 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm

Pada saat sistem kabut air diaktifkan, api minyak goreng dipadamkan dan minyak didinginkan, bagaimanapun juga komposisi minyak juga ikut berubah pada saat terbakar dan pada saat waktu dipadamkan dengan kabut air, sehingga

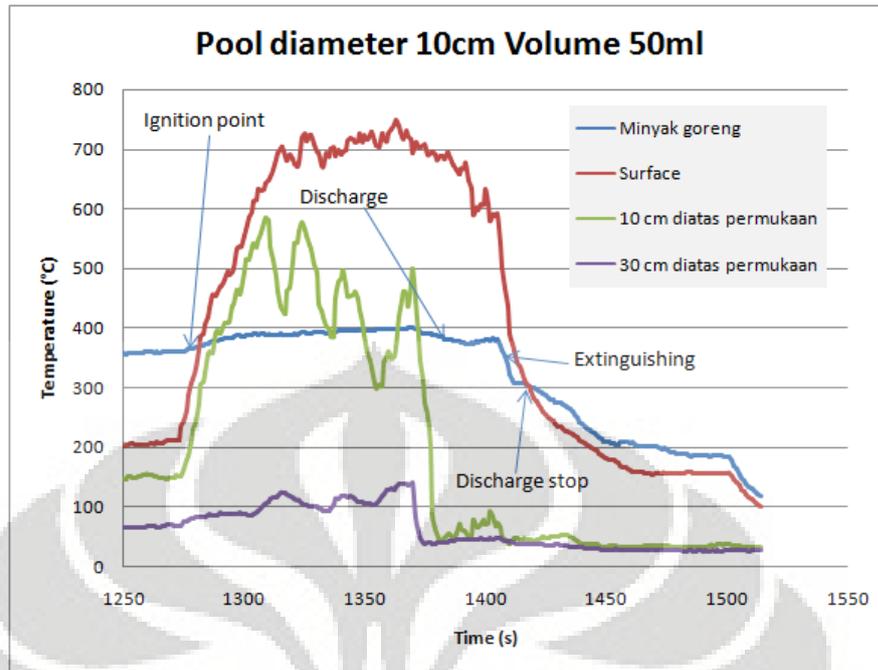
terjadi pengurangan pada temperatur *auto-igniton*. Pada umumnya minyak cendrung akan *auto-reignite* pada temperatur yang rendah.



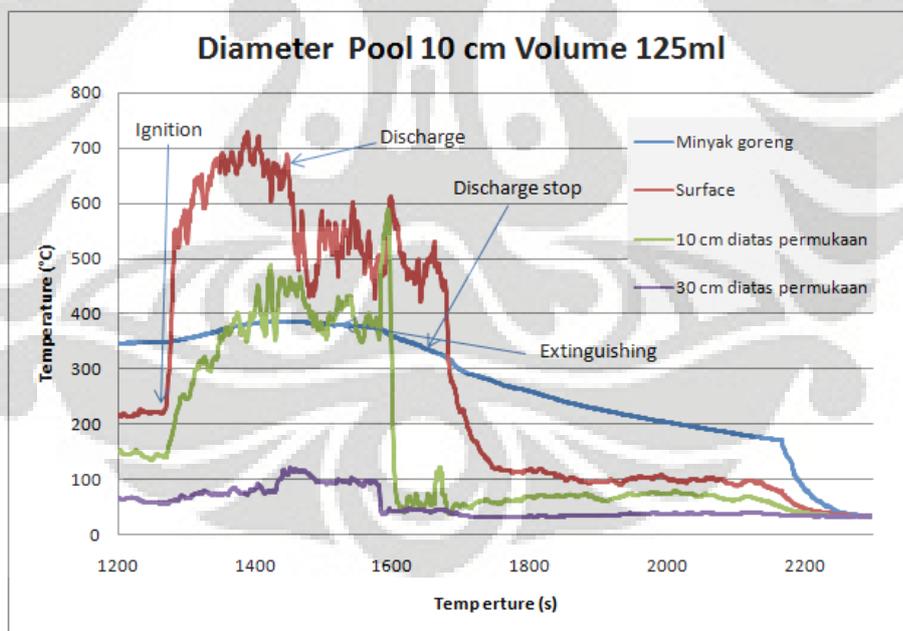
Gambar 5.9 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 6.5 cm volume 50 ml tinggi 10 cm



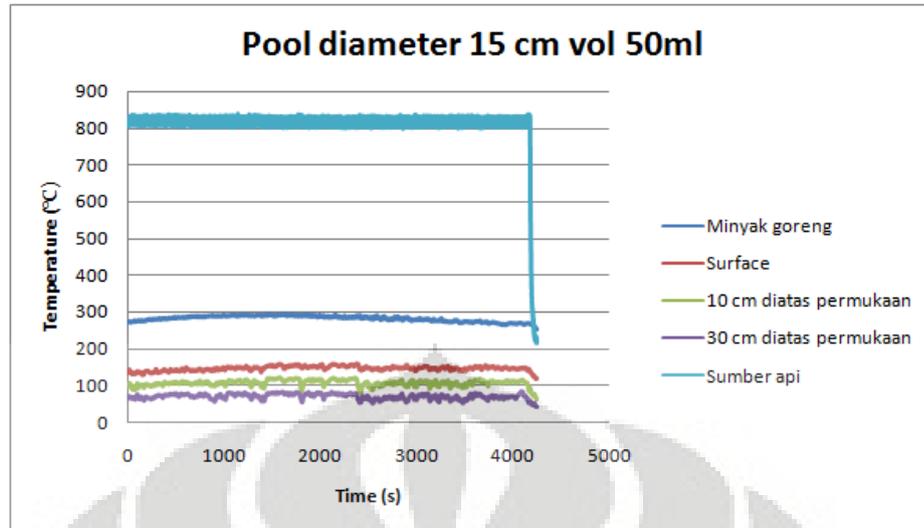
Gambar 5.10 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 6.5 cm volume 125 ml tinggi 10 cm



Gambar 5.11 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm volume 50 ml tinggi 4 cm



Gambar 5.12 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 10 cm volume 125 ml tinggi 4 cm



Gambar 5.13 Temperatur Minyak goreng dan nyala api pada saat pemadaman dengan kabut air pada pool diameter 15 cm volume 50 ml tinggi 4 cm

Pada pemadaman ini terlihat bahwa temperatur disekitar bahan bakar mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hal itu terjadi karena kabut air langsung mengenai bahan bakar mengakibatkan laju pembakaran semakin meningkat. Saat kabut air tersebut mengenai permukaan bahan bakar, api yang ada disekitar daerah tersebut menjadi tidak stabil sehingga terjadi pembesaran api secara tiba-tiba. Peristiwa tersebut juga memiliki dampak pengurangan jumlah kalor yang terkandung dalam minyak dengan cepat. Jadi jika tidak menggunakan kabut air ini maka api minyak goreng ini akan menyala lebih lama karena api masih berkembang dan energi yang terbakar konstan namun jika dengan menggunakan kabut air maka waktu pemadaman semakin cepat namun bahaya yang timbul akibat dari pembesaran temperatur secara mendadak dapat membahayakan. Efek pembakaran yang tidak terkontrol akan mempercepat *flash over* sehingga api mulai mengalami penurunan temperatur sampai akhirnya padam. Setelah itu api mulai dapat dipadamkan dengan penurunan temperatur secara teratur. Berdasarkan pengamatan didapat pemadaman paling lama sebesar 2 menit, tetapi penurunan temperatur membutuhkan waktu yang lama, hal ini dikarenakan panas yang masih tersimpan pada termokopel, sehingga membutuhkan waktu pendinginan.

Dari hasil pengamatan waktu pemadaman yang terjadi bergantung kepada besar kecilnya diameter *pool fire*, semakin besar diameter jumlah bahan bakar yang terbakar mengakibatkan nyala api yang harus dipadamakan menjadi semakin besar dan kemampuan penetrasi kabut air ke pusat api juga semakin lama.

Selain itu didapat pengaruh ketinggian pemadaman kabut air dari ujung *pool fire*, semakin mendekati sumber nyala api yaitu ketinggian 10 cm waktu padam akan semakin cepat dan semakin ke atas menjauhi sumber nyala api waktu padam akan semakin lebih lama, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa untuk mendapatkan waktu pemadaman yang efektif ketinggian pemadaman harus mendekati pusat nyala api yaitu berada disekitar tengah dan dekat bahan bakar yang terbakar, karena semakin bertambah ketinggian pemadaman kabut air kurang masuk kedalam pusat api tetapi lebih mengarah ke ujung nyala api. Jika jarak jauh dari sumber api maka kabut air tersebut bergerak tak menentu dan lebih mendinginkan temperatur ruangan sekitar, belum tentu langsung menuju pusat api. Namun jika dekat dengan api maka secara langsung mempersingkat waktu pemadaman. Kelebihan dengan jarak nosel yang jauh adalah mengurangi perambatan kalor yang terjadi sehingga terjadinya kebakaran yang besar dapat dihindari.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Kesimpulan dari pengujian sistem kabut air pada pemadaman api minyak goreng, dengan arah pemadaman tegak lurus nyala api terhadap waktu pemadaman dan penurunan temperatur adalah sebagai berikut:

1. Performa kabut air sangat dipengaruhi oleh tiga hal yaitu *mass flux density*, ukuran droplet dan momentum kabut air. Berdasarkan penelitian *mass flux density* dengan variasi kemiringan sudut pemadaman 0° , 30° , 45° , 60° didapatkan bahwa jumlah rata-rata fluks *density* pada kemiringan sudut 60° dan 0° lebih banyak dibandingkan variasi sudut yang lain pada ketinggian yang sama.
2. Berdasarkan data penyebaran fluks masa yang didapat, sudut pemadaman 0° , dianggap sudut yang mempunyai penyebaran yang merata dan berada ditengah daerah uji, sedangkan pada sudut 60° penyebaran hanya berfokus pada area keempat sudut daerah uji. Berdasarkan ini maka sudut 0° dianggap optimal untuk pemadaman pool fire berdasarkan pola penyebarannya yang merata dan jumlah fluks massa yang lebih besar.
3. Temperatur nyala *pool fire* akan langsung meningkat dan tidak membutuhkan waktu lama untuk mencapai nilai maksimal. Ini merupakan sifat bahan bakar cair yang akan mudah menguap sehingga terjadi proses pembakaran. Temperatur nyala api berkisar antara 550-700 C
4. Mekanisme pemadaman dari kabut air pada penelitian ini adalah dengan cara mendinginkan bahan bakar minyak goreng dan nyala api. Pemindahan oksigen dan mengurangi laju penguapan dari minyak goreng.

5. Ketinggian pemadaman dengan variasi jarak tingkat pertama 10 cm, tingkat kedua 20 cm, dan tingkat ketiga 30 cm dari ujung permukaan pool fire membutuhkan waktu pemadaman api rata-rata 1 menit.
6. Pemadaman dengan metode kabut air dipengaruhi oleh ketinggian nosel terhadap permukaan bahan bakar, semakin dekat jarak ketinggian nosel dengan permukaan bahan bakar maka waktu pemadaman akan semakin singkat.
7. Keefektivitasan dari sistem kabut air tergantung dari karakteristik spray dari kabut air yaitu ukuran dari droplet, fluks density, dan dinamika dari spray pada skenario pemadaman api
8. Sistem pemadaman kabut air dengan arah pemadaman tegak lurus nyala api efektif untuk mengurung nyala api sehingga tidak membesar dan memadamkannya.

6.2 SARAN

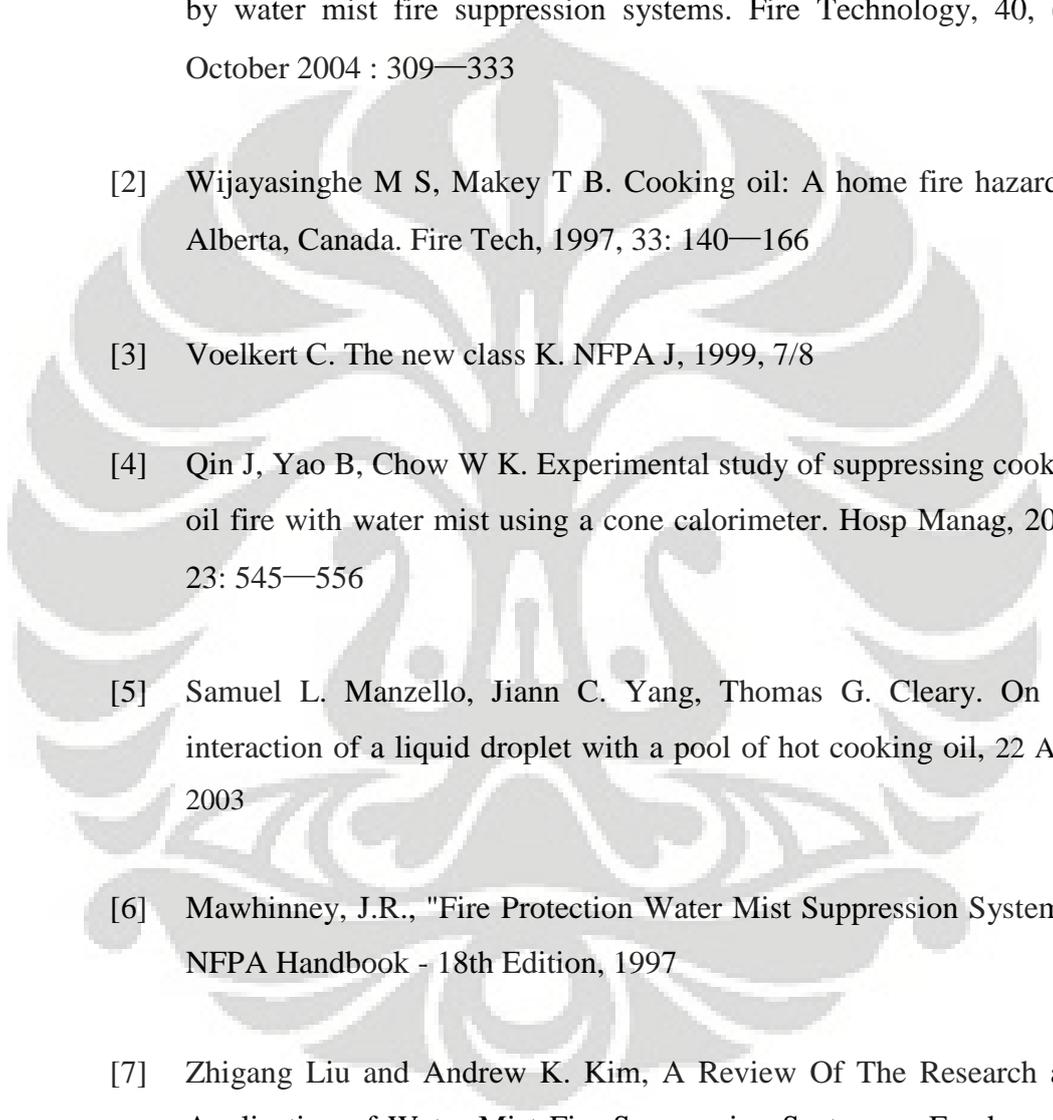
Agar sistem Kabut air lebih efektif sebaiknya, berikut adalah saran-saran untuk penelitian lebih lanjut;

1. Meningkatkan *working pressure* pada nosel untuk menghasilkan droplet dengan ukuran yang lebih halus, sehingga waktu pemadaman dari minyak goreng bisa lebih cepat.
2. Menggunakan sensor *pressure transducer* untuk memonitor perubahan pressure secara *real time* yang terjadi pada saat sistem kabut air dihidupkan, sehingga didapatkan data korelasi antara *working pressure* dan waktu pemadaman api.
3. Memperbesar momentum dari kabut air, agar dapat melewati nyala api dan mencapai permukaan bahan bakar sehingga waktu pemadaman dan pendinginan bahan bakar lebih cepat
4. Pengaturan flow rate dari masing-masing nosel disesuaikan dengan jumlah air yang dibutuhkan agar pemakaian air lebih efektif.
5. Mengatur dan memvariasikan posisi cakupan spray dari nosel kabut air sehingga dapat mengcover area yang dibutuhkan

6. Mengatur lama aktivasi dari sistem kabut air secara otomatis dengan cara menghubungkan sensor temperatur bahan bakar dengan rangkaian control yang dihubungkan dengan kran kabut air
7. Membuat suatu sistem kabut air dimana posisi nosel, *working pressure*, *flow rate* dihidupkan secara otomatis berdasarkan sensor.



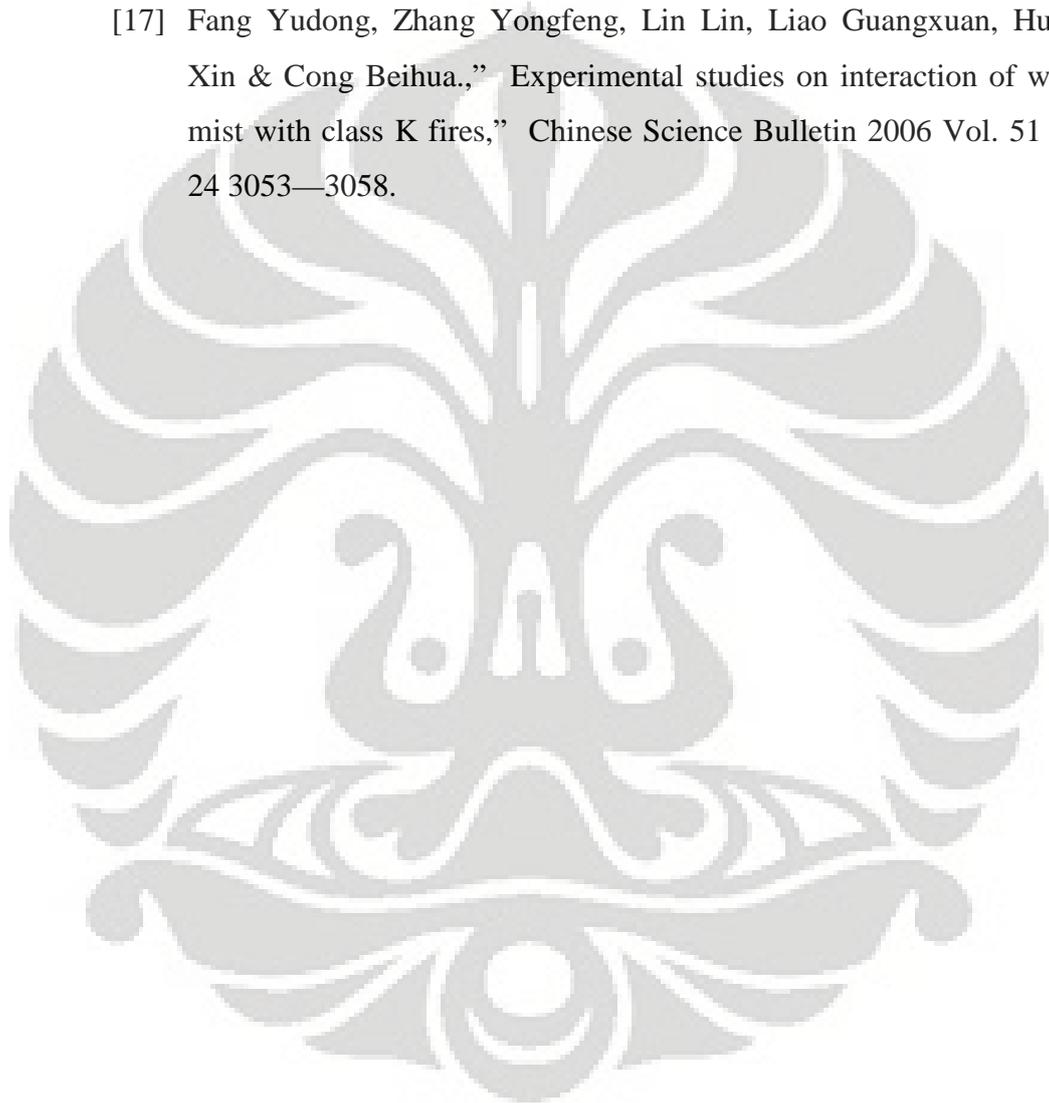
DAFTAR ACUAN

- 
- [1] Liu Z G, Andrew K, Don C, et al. Extinguishment of cooking oil fires by water mist fire suppression systems. *Fire Technology*, 40, (4), October 2004 : 309—333
- [2] Wijayasinghe M S, Makey T B. Cooking oil: A home fire hazard in Alberta, Canada. *Fire Tech*, 1997, 33: 140—166
- [3] Voelkert C. The new class K. *NFPA J*, 1999, 7/8
- [4] Qin J, Yao B, Chow W K. Experimental study of suppressing cooking oil fire with water mist using a cone calorimeter. *Hosp Manag*, 2004, 23: 545—556
- [5] Samuel L. Manzello, Jiann C. Yang, Thomas G. Cleary. On the interaction of a liquid droplet with a pool of hot cooking oil, 22 April 2003
- [6] Mawhinney, J.R., "Fire Protection Water Mist Suppression Systems," *NFPA Handbook - 18th Edition*, 1997
- [7] Zhigang Liu and Andrew K. Kim, A Review Of The Research and Application of Water Mist Fire Suppression Systems – Fundamental Studies, *Journal of Fire Protection Engineering*, v. 10, no. 3, 2000, pp. 32-50

- [8] Pietrzak, L.M. and Ball, J.A., "A Physically Based Fire Suppression Computer Simulation - Definition, Feasibility Assessment, Development Plan, and Applications," Mission Research Corporation, MRC-R-732, April 1983.
- [9] Rasbash, D.J., "Extinction of Fire with Plain Water: A Review," Proceedings of the First International Symposium on Fire Safety Science, Hemisphere Publishing Corporation, 1986, pp. 1145-1163.
- [10] Kanury, A.M., "Introduction to Combustion Phenomena," Eighth Edition, Gordon and Breach Science Publishers, USA, 1994.
- [11] Herterich, A.O., "Library of the Science of Fire Protection and Related Areas: Section 3: the Diffuse Jet – Spray Jet," The Dr. Alfred Huthig Publishing Co., Heidelberg, 1960.
- [12] Wighus, R., "Active Fire Protection: Extinguishment of Enclosed Gas Fires with Water Sprays," SINTEF Norwegian Fire Research Laboratory, Trondheim, 1990.
- [13] Ravigururajan, T.S. and Beltran, M.R., "A Model for Attenuation of Fire Radiation Through Water Droplets," Fire Safety Journal, Vol. 15, 1989, pp. 171-181.
- [14] Heskestad, (1995) dan *Thomas* (1962)
- [15] Zhigang Liu and Andrew K. Kim., "A Review Of The Research And Application Of Water Mist Fire Suppression Systems – Fundamental Studies," Journal of Fire Protection Engineering, v. 10, no. 3, 2000, pp. 32-50.

[16] Z. Liu, D. Carpenter; A.K. Kim.,” Application of water mist to extinguish large oil pool fires for industrial oil cooker protection,” 8th International Symposium on Fire Safety Science, Beijing, China, Sept. 18-23, 2005, pp. 1-12.

[17] Fang Yudong, Zhang Yongfeng, Lin Lin, Liao Guangxuan, Huang Xin & Cong Beihua.,” Experimental studies on interaction of water mist with class K fires,” Chinese Science Bulletin 2006 Vol. 51 No. 24 3053—3058.



LAMPIRAN

1. Fluks masa untuk sudut 0° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel,
Rata-rata masa : 28.6 gr/m²s

Baris/kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	11.1	13.0	14.8	25.9	27.8	14.8	18.5	22.2	13.0	27.8	16.7	24.1	0.0
2	7.4	13.0	13.0	13.0	25.9	14.8	29.6	25.9	16.7	24.1	13.0	20.4	27.8	22.2
3	29.6	14.8	11.1	9.3	42.6	46.3	37.0	22.2	38.9	25.9	22.2	18.5	25.9	25.9
4	16.7	20.4	50.0	37.0	37.0	20.4	29.6	14.8	27.8	16.7	16.7	18.5	14.8	7.4
5	31.5	14.8	33.3	53.7	40.7	33.3	59.3	63.0	44.4	33.3	20.4	20.4	20.4	27.8
6	22.2	29.6	40.7	63.0	75.9	64.8	50.0	22.2	51.9	31.5	22.2	22.2	13.0	38.9
7	27.8	29.6	22.2	51.9	38.9	33.3	48.1	44.4	35.2	37.0	16.7	40.7	9.3	11.1
8	14.8	27.8	37.0	53.7	48.1	24.1	50.0	14.8	51.9	35.2	37.0	33.3	35.2	25.9
9	24.1	31.5	20.4	29.6	48.1	38.9	35.2	31.5	22.2	20.4	35.2	50.0	20.4	37.0
10	16.7	18.5	46.3	38.9	40.7	16.7	27.8	38.9	20.4	24.1	33.3	27.8	35.2	35.2
11	31.5	22.2	22.2	18.5	40.7	42.6	20.4	33.3	25.9	14.8	27.8	14.8	16.7	29.6
12	13.0	5.6	20.4	44.4	25.9	18.5	37.0	14.8	27.8	18.5	27.8	16.7	29.6	24.1
13	18.5	27.8	25.9	27.8	16.7	55.6	31.5	27.8	7.4	20.4	29.6	13.0	9.3	42.6
14	0.0	44.4	16.7	25.9	24.1	22.2	27.8	24.1	16.7	14.8	0.0	16.7	13.0	0.0

2. Fluks masa untuk sudut 30° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel,
Rata-rata masa : 20.6 gr/m²s

Baris/kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	0.0	11.1	0.0	7.4	5.6	3.7	1.9	9.3	0.0	1.9	1.9	1.9	0.0
2	14.8	20.4	20.4	5.6	9.3	11.1	11.1	9.3	5.6	20.4	25.9	25.9	35.2	31.5
3	29.6	35.2	38.9	18.5	11.1	11.1	13.0	14.8	18.5	22.2	42.6	38.9	25.9	0.0
4	50.0	61.1	38.9	13.0	13.0	14.8	7.4	14.8	24.1	33.3	20.4	68.5	16.7	13.0
5	46.3	53.7	29.6	20.4	16.7	9.3	16.7	18.5	24.1	27.8	29.6	9.3	14.8	16.7
6	25.9	16.7	20.4	33.3	16.7	20.4	11.1	24.1	16.7	22.2	18.5	5.6	14.8	0.0
7	25.9	16.7	18.5	31.5	25.9	33.3	11.1	31.5	13.0	13.0	16.7	14.8	7.4	7.4
8	3.7	22.2	22.2	16.7	14.8	40.7	57.4	16.7	22.2	20.4	44.4	16.7	7.4	0.7
9	20.4	18.5	18.5	31.5	33.3	25.9	37.0	37.0	27.8	16.7	16.7	11.1	18.5	24.1
10	3.7	29.6	11.1	31.5	20.4	31.5	25.9	33.3	16.7	27.8	29.6	44.4	13.0	16.7
11	22.2	44.4	22.2	55.6	31.5	51.9	14.8	33.3	13.0	33.3	16.7	22.2	13.0	5.6
12	7.4	25.9	35.2	48.1	14.8	16.7	20.4	5.6	25.9	27.8	5.6	20.4	9.3	0.0
13	18.5	29.6	33.3	50.0	25.9	9.3	27.8	14.8	9.3	7.4	3.7	1.9	29.6	3.7
14	0.0	29.6	27.8	31.5	37.0	18.5	13.0	13.0	5.6	3.7	20.4	1.9	20.4	0.0

3. Fluks masa untuk sudut 45° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel,
Rata-rata masa : 26.7gr/m²s

Baris/kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	0.0	3.7	5.6	20.4	3.7	3.7	46.3	9.3	9.3	18.5	13.0	16.7	0.0
2	3.7	57.4	35.2	74.1	16.7	11.1	9.3	16.7	18.5	44.4	107.4	44.4	13.0	0.0
3	13.0	70.4	90.7	31.5	37.0	18.5	22.2	22.2	22.2	20.4	64.8	63.0	38.9	9.3
4	9.3	31.5	46.3	42.6	33.3	53.7	40.7	13.0	25.9	64.8	57.4	40.7	22.2	11.1
5	7.4	37.0	24.1	14.8	33.3	38.9	13.0	25.9	46.3	25.9	48.1	25.9	25.9	13.0
6	11.1	-1.9	18.5	20.4	9.3	29.6	7.4	27.8	31.5	20.4	24.1	16.7	16.7	5.6
7	1.9	11.1	14.8	29.6	27.8	27.8	29.6	29.6	18.5	38.9	33.3	42.6	33.3	18.5
8	0.0	5.6	7.4	13.0	18.5	18.5	25.9	40.7	33.3	11.1	27.8	50.0	20.4	25.9
9	3.7	9.3	14.8	14.8	27.8	25.9	13.0	24.1	24.1	11.1	27.8	22.2	37.0	38.9
10	9.3	16.7	20.4	29.6	31.5	14.8	20.4	31.5	22.2	33.3	35.2	9.3	53.7	64.8
11	38.9	38.9	55.6	37.0	27.8	18.5	22.2	11.1	7.4	20.4	42.6	79.6	79.6	55.6
12	27.8	72.2	96.3	63.0	11.1	25.9	7.4	14.8	13.0	18.5	16.7	40.7	63.0	66.7
13	9.3	37.0	37.0	33.3	22.2	9.3	7.4	9.3	5.6	9.3	11.1	31.5	13.0	33.3
14	0.0	0.0	14.8	13.0	11.1	7.4	7.4	7.4	5.6	9.3	5.6	3.7	18.5	0.0

4. Fluks masa untuk sudut 60° , $h_1 = 10$ cm, $h_2 = 20$ cm, $h_3 = 30$ cm, 12 nosel

Rata-rata masa : 32.3 gr/m²s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	18.5	11.1	1.9	5.6	5.6	5.6	1.9	9.3	13.0	63.0	79.6	79.6	0.0
2	127.8	75.9	87.0	5.6	9.3	5.6	9.3	1.9	13.0	68.5	79.6	103.7	101.9	29.6
3	70.4	87.0	63.0	46.3	14.8	9.3	11.1	18.5	14.8	11.1	40.7	46.3	92.6	25.9
4	74.1	46.3	57.4	9.3	25.9	16.7	13.0	20.4	22.2	31.5	16.7	44.4	16.7	46.3
5	66.7	70.4	38.9	13.0	31.5	16.7	14.8	18.5	20.4	22.2	35.2	37.0	46.3	42.6
6	44.4	16.7	22.2	25.9	31.5	24.1	11.1	25.9	11.1	18.5	35.2	24.1	37.0	24.1
7	31.5	9.3	7.4	35.2	24.1	20.4	7.4	24.1	13.0	13.0	27.8	27.8	37.0	25.9
8	14.8	37.0	25.9	14.8	14.8	31.5	7.4	14.8	25.9	20.4	9.3	29.6	25.9	5.6
9	16.7	24.1	22.2	33.3	24.1	20.4	20.4	24.1	18.5	11.1	14.8	9.3	31.5	37.0
10	1.9	31.5	14.8	37.0	20.4	22.2	9.3	14.8	5.6	16.7	20.4	25.9	24.1	33.3
11	31.5	61.1	24.1	37.0	35.2	35.2	13.0	25.9	5.6	42.6	27.8	38.9	35.2	25.9
12	1.9	44.4	63.0	50.0	33.3	25.9	20.4	14.8	24.1	37.0	18.5	70.4	51.9	40.7
13	79.6	79.6	59.3	40.7	38.9	14.8	33.3	25.9	9.3	14.8	46.3	44.4	83.3	38.9
14	0.0	44.4	61.1	38.9	46.3	25.9	31.5	25.9	9.3	3.7	51.9	24.1	72.2	0.0

5. Fluks masa untuk sudut 0° , $h_1 = 5$ cm, 4 nosel

Rata-rata masa : 14,2 gr/m²s

Baris/kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	0.0	14.8	13.0	22.2	18.5	5.6	3.7	20.4	5.6	13.0	1.9	7.4	0.0
2	3.7	25.9	13.0	18.5	48.1	16.7	24.1	25.9	11.1	3.7	27.8	14.8	7.4	1.9
3	0.0	11.1	20.4	38.9	35.2	44.4	27.8	18.5	13.0	42.6	59.3	7.4	7.4	3.7
4	7.4	14.8	11.1	42.6	29.6	31.5	14.8	81.5	38.9	5.6	3.7	22.2	1.9	3.7
5	7.4	5.6	13.0	22.2	24.1	13.0	18.5	3.7	25.9	13.0	9.3	9.3	1.9	7.4
6	0.0	9.3	9.3	9.3	35.2	40.7	29.6	18.5	20.4	22.2	0.0	0.0	3.7	1.9
7	7.4	29.6	16.7	9.3	5.6	11.1	22.2	9.3	3.7	11.1	16.7	11.1	0.0	0.0
8	7.4	11.1	3.7	22.2	18.5	18.5	22.2	35.2	29.6	14.8	13.0	7.4	1.9	11.1
9	5.6	13.0	25.9	18.5	18.5	7.4	1.9	24.1	14.8	20.4	13.0	5.6	3.7	0.0
10	5.6	11.1	25.9	29.6	27.8	13.0	16.7	22.2	22.2	9.3	18.5	16.7	0.0	1.9
11	1.9	16.7	25.9	9.3	55.6	0.0	24.1	22.2	16.7	9.3	7.4	7.4	1.9	1.9
12	7.4	9.3	16.7	1.9	1.9	1.9	3.7	1.9	9.3	14.8	13.0	7.4	3.7	0.0
13	0.0	14.8	9.3	7.4	20.4	7.4	5.6	9.3	24.1	5.6	16.7	18.5	1.9	0.0
14	0.0	1.9	1.9	14.8	0.0	0.0	7.4	0.0	9.3	9.3	9.3	0.0	0.0	0.0

6. Fluks masa untuk sudut 0° , $h_1 = 10$ cm, 4 nosel

Rata-rata masa : 13.8 gr/m²s

Baris/ kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	18.5	0.0	0.0	27.8	11.1	0.0	5.6	5.6	3.7	14.8	13.0	3.7	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	13.0	16.7	0.0	9.3	13.0	13.0	3.7	11.1	3.7
3	20.4	7.4	11.1	7.4	13.0	14.8	1.9	13.0	13.0	7.4	18.5	11.1	9.3	7.4
4	7.4	14.8	18.5	16.7	1.9	20.4	11.1	16.7	24.1	14.8	24.1	31.5	11.1	7.4
5	5.6	14.8	3.7	24.1	9.3	44.4	29.6	3.7	24.1	0.0	13.0	9.3	3.7	0.0
6	5.6	20.4	11.1	27.8	7.4	31.5	44.4	24.1	1.9	44.4	14.8	11.1	0.0	29.6
7	7.4	11.1	29.6	29.6	29.6	22.2	46.3	24.1	0.0	24.1	16.7	16.7	9.3	0.0
8	5.6	16.7	5.6	37.0	25.9	27.8	48.1	35.2	40.7	29.6	20.4	3.7	9.3	3.7
9	3.7	11.1	5.6	20.4	18.5	16.7	13.0	40.7	29.6	13.0	18.5	7.4	0.0	11.1
10	3.7	11.1	14.8	5.6	22.2	37.0	22.2	22.2	14.8	13.0	7.4	13.0	9.3	5.6
11	9.3	11.1	13.0	25.9	9.3	29.6	20.4	24.1	25.9	16.7	24.1	11.1	7.4	9.3
12	1.9	9.3	1.9	3.7	22.2	18.5	11.1	24.1	9.3	5.6	7.4	13.0	11.1	1.9
13	3.7	5.6	11.1	16.7	1.9	9.3	0.0	5.6	11.1	5.6	5.6	1.9	0.0	0.0
14	0.0	13.0	7.4	13.0	5.6	13.0	9.3	14.8	1.9	5.6	3.7	1.9	3.7	0.0

7. Fluks masa untuk sudut 0°, h1 = 20 cm, 4 nosel

Rata-rata masa : 9.4 gr/m²s

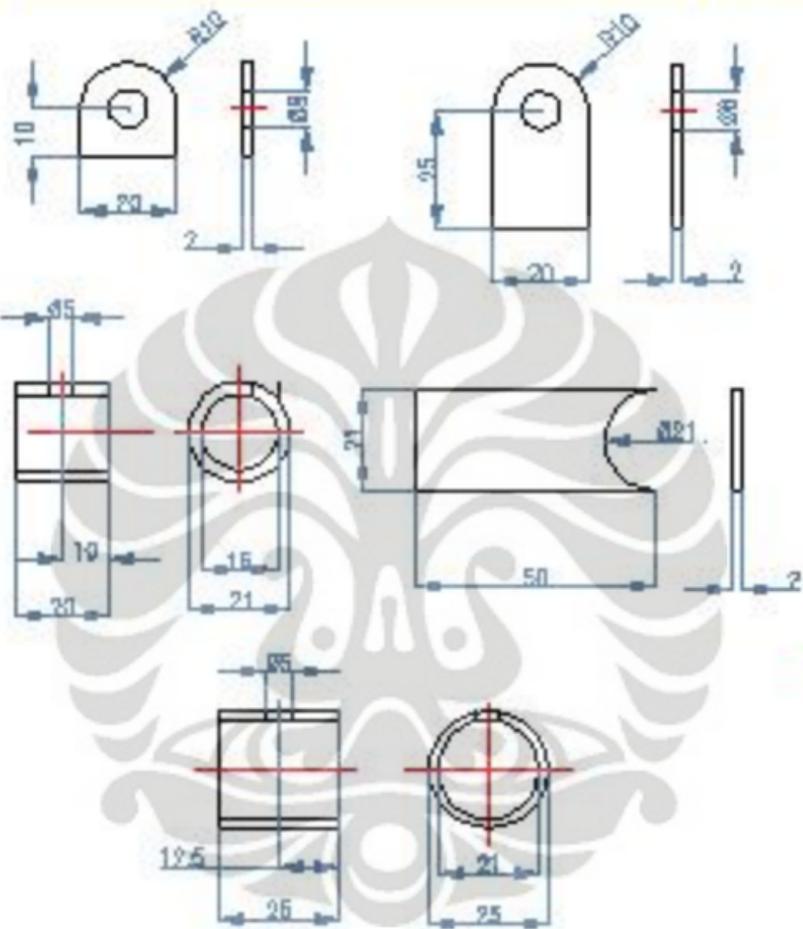
Baris kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	1.9	1.9	1.9	0.0	1.9	1.9	3.7	5.6	5.6	5.6	5.6	3.7	0.0
2	9.3	3.7	1.9	3.7	5.6	1.9	3.7	1.9	3.7	7.4	3.7	5.6	3.7	1.9
3	3.7	5.6	5.6	11.1	5.6	7.4	5.6	7.4	7.4	3.7	7.4	3.7	3.7	3.7
4	13.0	7.4	5.6	9.3	5.6	11.1	9.3	13.0	16.7	11.1	11.1	11.1	3.7	3.7
5	7.4	5.6	3.7	11.1	11.1	14.8	11.1	7.4	7.4	5.6	9.3	7.4	3.7	1.9
6	7.4	13.0	9.3	18.5	7.4	11.1	14.8	11.1	13.0	14.8	11.1	9.3	7.4	7.4
7	13.0	13.0	29.6	33.3	16.7	20.4	27.8	16.7	11.1	13.0	13.0	13.0	11.1	7.4
8	9.3	14.8	13.0	18.5	11.1	9.3	14.8	14.8	16.7	14.8	16.7	9.3	11.1	14.8
9	11.1	7.4	11.1	11.1	11.1	11.1	13.0	18.5	14.8	7.4	13.0	11.1	9.3	11.1
10	14.8	9.3	14.8	13.0	9.3	16.7	11.1	7.4	9.3	11.1	9.3	9.3	13.0	11.1
11	13.0	5.6	5.6	11.1	11.1	14.8	11.1	13.0	9.3	7.4	9.3	9.3	11.1	9.3
12	9.3	3.7	3.7	7.4	13.0	11.1	9.3	13.0	7.4	7.4	13.0	5.6	7.4	5.6
13	5.6	3.7	11.1	11.1	3.7	11.1	5.6	7.4	13.0	13.0	7.4	5.6	3.7	5.6
14	0.0	9.3	3.7	14.8	5.6	11.1	13.0	13.0	7.4	9.3	3.7	5.6	7.4	0.0

8. Fluks masa untuk sudut 0°, h1 = 15 cm, h2 = 30cm, h3 = 45cm, 12 nosel

Rata-rata masa : 23 gr/m²s

Baris/kolom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.0	11.1	18.5	14.8	13.0	16.7	18.5	16.7	20.4	24.1	20.4	20.4	25.9	0.0
2	14.8	14.8	13.0	20.4	14.8	16.7	20.4	18.5	18.5	22.2	13.0	24.1	24.1	14.8
3	14.8	14.8	20.4	24.1	25.9	22.2	20.4	24.1	20.4	29.6	18.5	24.1	22.2	20.4
4	13.0	24.1	37.0	14.8	22.2	25.9	22.2	27.8	16.7	18.5	33.3	22.2	22.2	13.0
5	22.2	27.8	20.4	25.9	31.5	29.6	20.4	27.8	20.4	22.2	24.1	27.8	18.5	16.7
6	22.2	18.5	37.0	25.9	40.7	33.3	33.3	33.3	35.2	22.2	18.5	22.2	22.2	22.2
7	20.4	24.1	31.5	24.1	31.5	40.7	42.6	29.6	37.0	31.5	38.9	11.1	33.3	18.5
8	13.0	20.4	22.2	31.5	18.5	18.5	22.2	33.3	27.8	29.6	27.8	31.5	24.1	18.5
9	22.2	22.2	16.7	20.4	31.5	33.3	29.6	13.0	22.2	25.9	31.5	33.3	37.0	33.3
10	14.8	20.4	20.4	29.6	20.4	16.7	20.4	18.5	22.2	35.2	24.1	20.4	29.6	18.5
11	18.5	29.6	27.8	14.8	14.8	20.4	24.1	25.9	16.7	25.9	31.5	20.4	24.1	27.8
12	13.0	14.8	14.8	14.8	22.2	16.7	18.5	18.5	16.7	22.2	16.7	20.4	18.5	18.5
13	13.0	13.0	11.1	13.0	16.7	16.7	9.3	16.7	11.1	20.4	13.0	14.8	40.7	29.6
14	0.0	29.6	16.7	11.1	11.1	16.7	16.7	14.8	16.7	13.0	14.8	16.7	9.3	0.0

Revisi no	1	2	3	4
Tgl				
Signature				

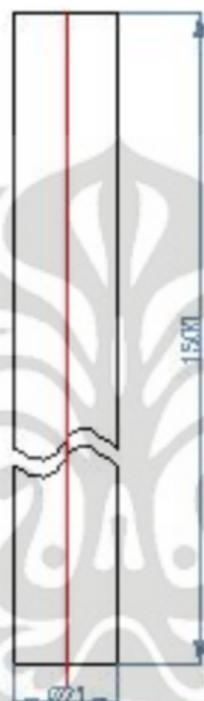


5	12	Tube steel		#25 x 25
4	12	Flat steel		21 x 30 x 2
3	12	Tube steel		#21.3 x 20
2	24	Flat steel		20 x 30 x 2
1	12	Flat steel		20 x 20 x 2

Item	Qty	Material	Description	Note / Article No.
------	-----	----------	-------------	--------------------

		Dudukan Nozzle	Sheet no	1	Page no	1	Scale	A4	Revision	0
--	--	----------------	----------	---	---------	---	-------	----	----------	---

1	2	3	4
Revisi	Deskripsi revisi	Date	Signature / Checked

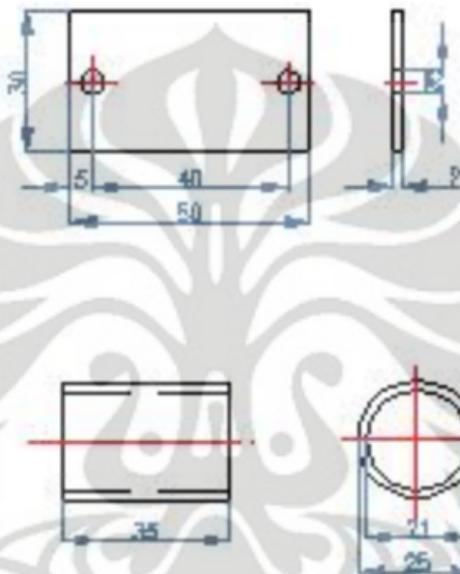


1	4	Steel Tube		#21 x 1500								
Item	Qty	Material	Description	Note / Article No.								
		Name	Pipa Dudukan nozzle	Scale 1:1								
				Paper size A4								
				<table border="1"> <tr> <td>Drawn</td> <td>Checked</td> <td>Appr.</td> <td>Fltr.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Drawn	Checked	Appr.	Fltr.				
Drawn	Checked	Appr.	Fltr.									

Revisi no

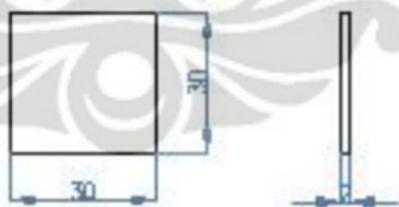
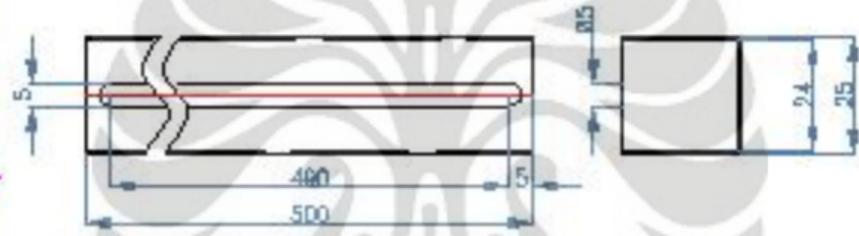
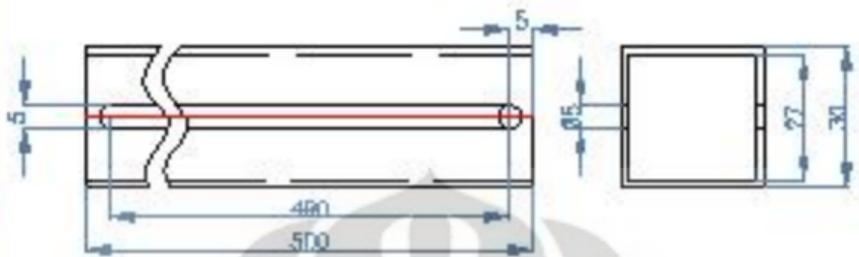
Date

Signature



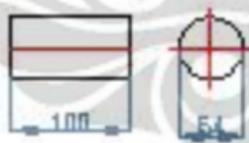
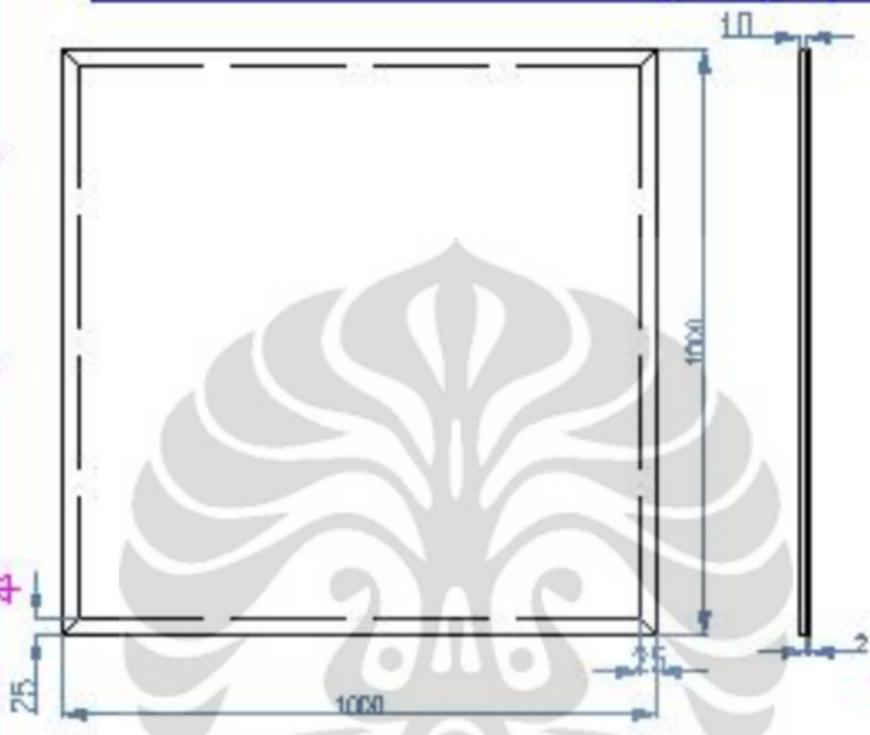
2	4	Steel tube		425 x 35
1	4	Gal steel		30 x 50 x 2
Item	Qty	Material	Description	Note / Article No.
  Nama Dudukan pipa Penahan				
Efektivitas kabus..., Mariance, FT UI, 2009				

1	2	3	4
Part No	Revisikan no	Date	Signature
			Checked



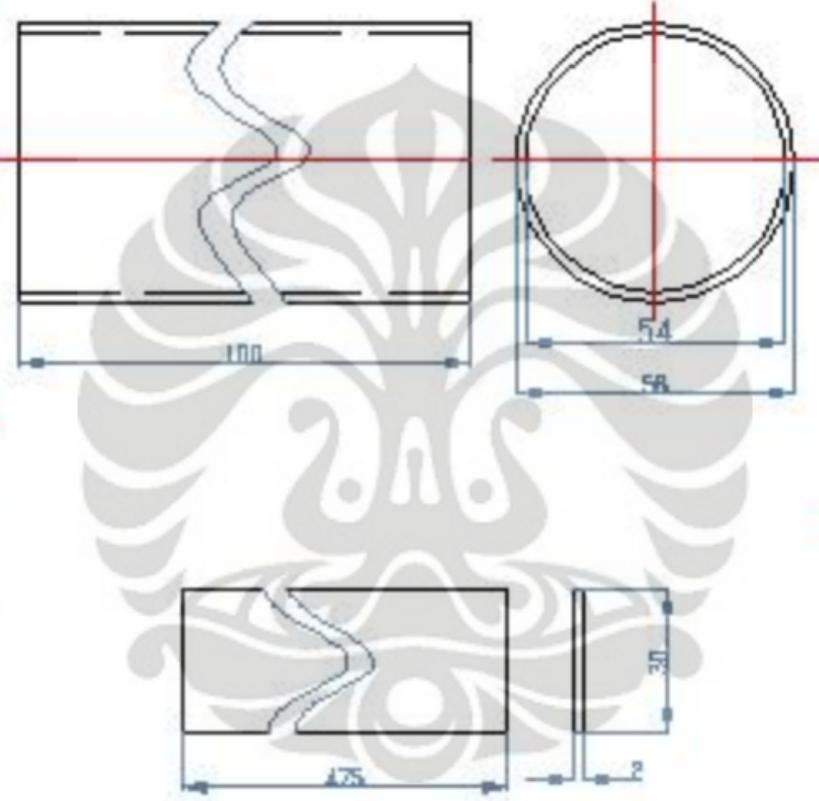
3	3	Plat steel	30 x 30
2	4	Plat square	25 x 25 x 500
1	4	Plat square	30 x 30 x 500
Part	Qty	Material	Description
			Note / Article No.

		Nama Dudukan Penyangga Nozzle Efektivitas kabut..., Marianne, FT UI, 2009	Grade 1st	Paper size A4	Date 	Scale 	Appr 	Rev
--	--	--	--------------	------------------	----------	-----------	----------	---------



3	4	Flat Square	1000 x 25 x 10	
2	1	Round Bar	604 x 100	
1	1	Flat steel	535 x 535 x 2	
Item	Qty	Material	Description	Note / Article No.

Revisi/rata		Date	Signature



3	2	Flat steel		30 x 47.5 x 2
1	1	Steel tube		Ø58 x 100
Item	Qty	Material	Description	Note / Article No.



 Nama: **Penyangga Neja**

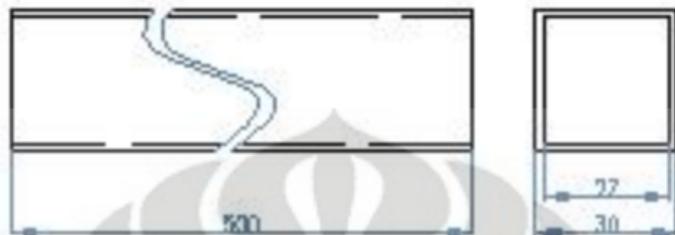



Efektivitas kabut..., Marianne, FT UI, 2009

Revisi ke-nomor

Date

Signature



2	2	Flat steel		30 x 245 x 1
1	4	Flat angsam		30 x 30 x 500
Item	Qty	Material	Description	Note / Article No.

		Name	Penyangga Meja	Scale	1:1	Paper size	A 4	Unit	mm	Drawn		Rev.	1
--	---	------	----------------	-------	-----	------------	-----	------	----	-------	--	------	---

Efektivitas kabut..., Mariance, FT UI, 2009