



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMADAMAN API BAHAN BAKAR BENSIN
MENGUNAKAN SISTEM KABUT AIR DAN APLIKASINYA
PADA DAPUR RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

**NAMA: SULISTIO
NPM: 0706198852**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMADAMAN API BAHAN BAKAR BENSIN
MENGUNAKAN SISTEM KABUT AIR DAN APLIKASINYA
PADA DAPUR RUMAH TANGGA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**NAMA: SULISTIO
NPM: 0706198852**

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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

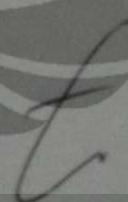
Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PEMADAMAN API BAHAN BAKAR BENSIN MENGGUNAKAN SISTEM KABUT AIR DAN APLIKASINYA PADA DAPUR RUMAH TANGGA

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 : SULISTIO

NPM : 0706198852

Tanda Tangan : 

Tanggal : 20 Juni 2011

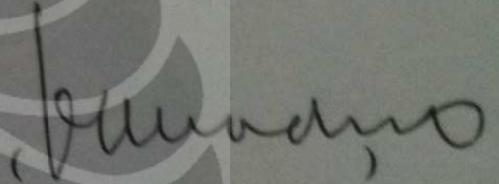
PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : SULISTIO
NPM : 0706198852
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : PEMADAMAN API BAHAN BAKAR BENSIN
MENGUNAKAN SISTEM KABUT AIR DAN
APLIKASINYA PADA DAPUR RUMAH
TANGGA

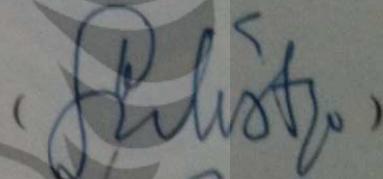
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

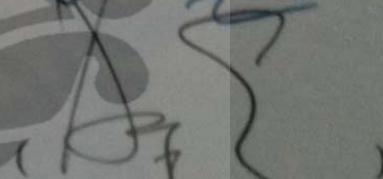
Pembimbing : Dr. Ir. Danardono AS, DEA



Penguji : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc, PhD



Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., MSc.



Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 10 Juli 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur, Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga 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 A.S, DEA dan Bapak Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan ide tentang topik skripsi serta telah meluangkan waktu & tenaga dalam memberikan saran dan bimbingan.
- (2) Kedua orang tua dan adik penulis yang telah memberikan dukungan dan doa, sampai penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (3) Hendar Kusnandar selaku rekan kerja skripsi penulis yang telah banyak membantu dalam pengambilan data serta semua teman angkatan 2007, 2008 PPSE Teknik Mesin UI yang turut memberikan dukungan dan kontribusi dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini.
- (4) Wanto Kuswanto yang memberikan bantuan tenaga dan meluangkan waktunya dalam membuat alat uji.
- (5) 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 sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 20 Juni 2011

Penulis

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : SULISTIO
NPM : 0706198852
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 :

PEMADAMAN API BAHAN BAKAR BENSIN MENGGUNAKAN SISTEM KABUT AIR DAN APLIKASINYA PADA DAPUR-RUMAH TANGGA

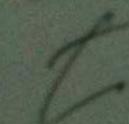
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2011

Yang menyatakan



(Sulistio)

ABSTRAK

Nama : SULISTIO
Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul : PEMADAMAN API BAHAN BAKAR BENSIN
MENGUNAKAN SISTEM KABUT AIR DAN
APLIKASINYA PADA DAPUR RUMAH TANGGA

Api yang tidak terkontrol dinamakan kebakaran. Kebakaran dapat dikendalikan dengan alat pemadam api yang banyak jenisnya salah satunya yaitu sistem kabut air yang saat ini sedang dikembangkan untuk dapat memadamkan api secara efektif.

Kinerja sistem kabut air ini dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu, *mass flux density*, momentum, ukuran droplet, jarak nosel dengan sumber nyala api dan tekanan yang dipakai. Penelitian ini akan mencari karakteristik dari nosel tipe *full cone* dan mencari karakteristik bahan bakar bensin.

Salah satu pengaplikasian sistem kabut air ini yaitu pada pemadaman kebakaran dapur rumah tangga karena media yang digunakan sistem kabut air ini adalah air maka tidak akan merusak lingkungan sekitar dan aman untuk digunakan.

Kata kunci :

Kabut air, *pool fire*, ukuran *droplet*, pemadam kebakaran dapur rumah tangga.

ABSTRACT

Name : SULISTIO
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING
Title : FIRE SUPPRESSION OF GASOLINE FUEL AND
WATER MIST SYSTEM APPLICATION FOR
HOUSEHOLD

Uncontrolled fire is called fire. Fires can be controlled with a fire extinguisher which is one of many types of water mist system, water mist system currently being developed to be able for extinguish the fire effectively.

Water mist system performance is influenced by several things, mass flux density, momentum, droplet size, nozzle distance to the source of flame and pressure used. This study will looking for the characteristics of full-cone nozzle type and characteristics of gasoline fuel.

The application of water mist system is fire suppression in the household kitchen because the source which used in water mist system is water, then it will not be damage for the surrounding environment and safe to use.

Key words:

Water mist, pool fire, droplet size, fire protection in household

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Pembatasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Api	6
2.2. Pool Fire	8
2.2.1. Laju pembakaran dan Laju Produksi Kalor (HRR) Pool Fire....	8
2.2.2. Tinggi Nyala Api Pool Fire.....	9
2.2.3. Durasi Pembakaran Pool Fire	10
2.3. Kabut Air.....	11
2.3.1. Pendahuluan	11
2.3.2. Dasar Penggunaan Sistem Kabut Air.....	11
2.3.3. Mekanisme Pemadaman Api Oleh Kabut Air.....	12
2.3.4. Pemadaman Flame (Nyala Api).....	15
2.3.5. Parameter Kabut Air	17
2.3.5.1. Kepadatan Flux.....	18
2.3.5.2. Ukuran Droplet dan Spray Coverage.....	19
2.3.5.3. Momentum Semprotan	20
2.3.6. Metoda Pembuatan Kabut Air.....	22
2.3.6.1 Proses Pembentukan Droplet.....	22
2.3.6.2 Tipe-Tipe Nosel dan Pola Penyebarannya.....	23
III. PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR	25
3.1. Konsep Perancangan Rangka Dudukan Nosel	26
3.2. Hasil Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut Air	22
3.4. Perakitan Sistem Kabut Air.....	29
IV. METODOLOGI PENGUJIAN	36
4.1. Tujuan Pengujian.....	36
4.2. Komponen Pengujian	36
4.2.1. Wadah Bahan Bakar (Pool Fire)	36

4.2.2. Tabung Nitrogen dan Regulator	37
4.2.3. Pressure Vessel.....	37
4.2.4. Nosel.....	38
4.2.5. Dudukan Nosel.....	38
4.2.6. Pipa atau Saluran Air.....	39
4.2.7. Check Valve	39
4.2.8. Pressure Gauge.....	40
4.2.9. Video Kamera	40
4.2.10. Stop Watch	40
4.2.11. Busa dan Tempat Busa.....	40
4.2.12. Timbangan.....	41
4.3. Instalasi Pengujian.....	42
4.4. Variasi Pengambilan Data	42
4.5. Prosedur Pengambilan Data	43
4.5.1. Prosedur pengambilan Data Flux density	43
4.5.2. Prosedur pengambilan Data Tinggi Nyala Api pada Pool Fire	44
4.5.3. Prosedur pengambilan Data Waktu Pemadaman Nyala Api pada Pool Fire.....	45
V. HASIL DAN ANALISA	47
5.1. Hasil dan Analisa pengujian.....	47
5.2. Pengujian karakteristik Nosel kabut Air	47
5.2.1. Pengaruh Tekanan dan Jumlah Nosel Terhadap Flux Massa.....	49
5.3. Karakteristik Bahan Bakar.....	56
5.3.1. Karakteristik Pool Fire Bahan Bakar Bensin (Gasoline)	56
5.3.1.1. Laju Pembakaran Bahan Bakar dan Laju Produksi Kalor Bensin	56
5.3.1.2. Tinggi Nyala Api dan Bentuk Api Pool Fire	57
5.3.2. Perhitungan Kesetimbangan Energi pada Pemadaman Api Bahan Bakar Bensin	58
5.4. Analisa Visual Pemadaman Bahan Bakar Bensin	60
5.5. Analisa Waktu Pemadaman Bahan Bakar Bensin	64
V. KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran.....	69
DAFTAR ACUAN.....	71
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elemen-elemen segitiga api	6
Gambar 2.2 Panas memungkinkan nyala api berlangsung terus-menerus	7
Gambar 2.3 <i>Pool fire</i>	8
Gambar 2.4 Skematik pemadaman pool fire oleh kabut air	16
Gambar 3.1 Rancangan Rangka Dudukan Nosel Kabut air	26
Gambar 3.2 Clamp Pengunci Nosel Kabut Air	27
Gambar 3.3 Pipa Dudukan Clamp Pengunci Nosel	27
Gambar 3.4 Rangka Pengatur Ketinggian	28
Gambar 3.5 Rangka Utama	28
Gambar 3.6 Sistem kabut air	29
Gambar 3.7 Nosel Kabut air	30
Gambar 3.8 Sistem piping kabut air	30
Gambar 3.9 Konfigurasi Nosel Pada Sistem Piping Kabut Air	31
Gambar 3.10 Pipa Pembagi	31
Gambar 3.11 Selang Hitam	32
Gambar 3.12 Union Ferrule	32
Gambar 3.13 Caps & Plug	32
Gambar 3.14 Tabung Nitrogen dan Regulator	33
Gambar 3.15 Pressure vessel dan check valve	33
Gambar 3.16 Pressure gauge	34
Gambar 3.17 Hasil Rancangan dan Pembuatan Dudukan Nosel Kabut air	34
Gambar 3.18 Hasil Perancangan dan Pembuatan Sistem Kabut Air	35
Gambar 4.1 Wadah bahan bakar	37
Gambar 4.2 Tabung Nitrogen dan pressure regulator	37
Gambar 4.3 Pressure Vessel	38
Gambar 4.4 Nosel Kabut Air	38
Gambar 4.5 Orientasi Peletakan Nosel Kabut Air	39
Gambar 4.6 Pressure Gauge	40
Gambar 4.7 Busa	41
Gambar 4.8 Timbangan	41
Gambar 4.9 Skema pengambilan data pengujian	42
Gambar 4.10 Foto Pengambilan Data Fluks Density	44
Gambar 4.11 Pengambilan Data Tinggi nyala api	45
Gambar 4.12 Foto Pengambilan Data Pemadaman Api	45
Gambar 5.1 Arah pemadaman kabut air dari sisi atas	47
Gambar 5.2 Grafik tekanan dan kapasitas massa kabut air	55
Gambar 5.3 Visual Tinggi Nyala Api	58
Gambar 5.4 Grafik Nyala Api terhadap Diameter pool	58
Gambar 5.5 Time Line Pengamatan Visual Pemadaman Api	62
Gambar 5.6 Grafik Waktu Pemadaman dengan Jumlah Nosel 1 Buah dan Diameter <i>Pool Fire</i> 10 cm	65
Gambar 5.7 Grafik Waktu Pemadaman dengan Jumlah Nosel 2 Buah dan Diameter <i>Pool Fire</i> 10 cm	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat flame pada pool fire.....	8
Tabel 2.2 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet (volume air 0.001m ³).....	12
Tabel 2.3 Pola bentuk penyebaran kabut air	23
Tabel 5.1 Konfigurasi tekanan dan jumlah nosel yang dipakai pada Penelitian	48
Tabel 5.2 <i>Fluks massa</i> berdasarkan jumlah nosel dengan ketinggian yang sama	49
Tabel 5.3 Kapasitas massa berdasarkan jumlah nosel dan tekanan menggunakan wadah air mineral	54
Tabel 5.4 Kapasitas massa berdasarkan jumlah nosel dan tekanan dari data <i>supplier</i> nosel	54
Tabel 5.5 Tabel Waktu Pemadaman pada Tekanan dan Ketinggian yang Berbeda	65
Tabel 5.6 Tabel Sudut Kabut Berdasarkan Tekanan.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Efektifitas penerapan sistem pemadam api adalah aspek penting dalam desain keselamatan kebakaran, khususnya pada kebakaran yang timbul di dapur rumah tangga pada saat memasak. Pemakaian APAR yang berisi bahan kimia pada umumnya digunakan di dapur dinilai efektif dalam memadamkan nyala api akan tetapi dampak penggunaan bahan kimia yang terkandung didalamnya sangat beresiko terhadap lingkungan di sekitarnya, begitu juga dengan penggunaan *Halon 1301* yang sudah dilarang penggunaannya karena berdampak buruk terhadap lingkungan [5].

Selama beberapa tahun belakangan ini dalam penelitian *fire safety* telah mengembangkan teknologi semprotan kabut air (*water mist spray*) yang dapat memadamkan api secara cepat, tanpa merusak lingkungan dan objek di sekitarnya. Sistem semprotan kabut air ini memberikan luas area permukaan kontak yang besar terhadap permukaan nyala api, yang menyebabkan lebih cepat terjadinya evaporasi dan penyerapan panas dari api. Uap kabut tersebut akan memecah konsentrasi dari oksigen sebagai proses pirolisis uap bahan bakar, sehingga akan memperlambat pembakaran. Kabut air juga bisa memblok panas radiasi dan memperlambat proses pembakaran pada benda yang mudah terbakar dalam rumah tangga.

Penerapan teknologi pemadam kebakaran dengan kabut air di dapur rumah tangga saat ini masih sangat sedikit ditemui, keterbatasan produsen dalam memproduksinya adalah hal yang menjadi kendalanya. Penggunaan air sebagai media utama teknologi ini menjadikan nilai lebih jika dilihat dari segi ekonomi karena ketersediannya yang melimpah dan mudah ditemui dimanapun serta penggunaan yang aman. Untuk itu pengembangan sistem pemadam kebakaran dengan menggunakan kabut air harus mendapat perhatian yang serius.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian yang dilakukan ini adalah pengembangan pemadam kebakaran yang berbasis kabut air dimana sumber kebakarannya berasal dari *pool fire* bensin. Kabut air dipilih karena memiliki berbagai kelebihan dalam memadamkan api. Penelitian dilakukan untuk mengetahui keefektifan penggunaan kabut air untuk memadamkan api berbahan bakar bensin jika arah penyemprotan kabut air tegak lurus terhadap nyala api dengan menggunakan konfigurasi 2 nosel kabut air.

1.3 Tujuan Penulisan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Mengetahui karakteristik sistem kabut air menggunakan nosel tipe *full cone* yang diletakkan diatas *pool fire* dan 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 tekanan penyemprotan (6, 10 dan 15 bar) dan jumlah nosel yang digunakan (1 dan 2 nosel).
2. Mengetahui karakteristik pembakaran *pool fire* berbahan bakar bensin, berupa heat release rate (HRR) teoritis, tinggi api dan temperatur nyala untuk diameter 6.5 dan 10 cm
3. Mengetahui kinerja pemadaman jenis *pool fire*. Kinerja pemadaman berkaitan dengan waktu pemadaman dengan variasi tekanan dan ketinggian optimum. Dengan mengetahui kinerja 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.

5. Mengaplikasikan sistem ini kedalam alat rumah tangga sebagai alat pemadaman kebakaran didapur rumah tangga yang ramah lingkungan, aman dan mudah dioperasikan.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi;

1. Merancang dan membuat alat sistem kabut air berupa dudukan nosel kabut air dan dudukan pool fire. Untuk dudukan nosel kabut air luas area tempat pembakaran pool adalah maksimum 1 m², dan sudut dudukan nosel dapat diatur sampai 360°, ketinggian nosel dapat diatur dengan maksimum ketinggian dudukan 1.5 m.
2. Tekanan air yang digunakan pada nosel kabut air ini adalah maksimum 15 bar yang dibaca pada *pressure gauge* keluaran dari *pressure vessel*.
3. Nosel yang digunakan adalah nosel dengan merek 1/4 - LNN – SS1.5, tekanan yang digunakan, sudut bukaan nosel dan ukuran droplet yang dihasilkan mengacu kepada spesifikasi manufaktur yang di keluarkan oleh supplier 1/4 - LNN – SS1.5.
4. Tekanan yang digunakan pada saat pengujian alat untuk mendapatkan *water mass flux density* adalah 6, 10 dan 15 bar dan variasi jumlah nosel yang digunakan 1 dan 2 nosel.
5. Karakteristik pembakaran pool fire yang diamati (laju produksi kalor teoritis dan panjang lidah api) berbahan bakar bensin pada dua variasi pool yaitu 6,5 dan 10 cm.
6. Keefektifan pemadaman sistem kabut air berdasarkan waktu pemadaman, jumlah nosel, tekanan yang optimum dan ketinggian optimum yang diperoleh.
7. Tidak dilakukan perhitungan terhadap *flow rate* dan *pressure drop* dari *piping system*.
8. 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, tangki nitrogen, *pressure gauge* dan *pressure vessel* telah tersedia, sehingga yang dilakukan yaitu membuat alat-alat uji tambahan seperti perancangan dudukan *pool fire*, *piping*, dan dudukan pemegang nosel.

3. Pengujian sistem pemadaman api berbahan bakar bensin 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 sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori-teori, literatur dan informasi yang digunakan dalam mendukung penulisan ini.

BAB III PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR

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 [3].

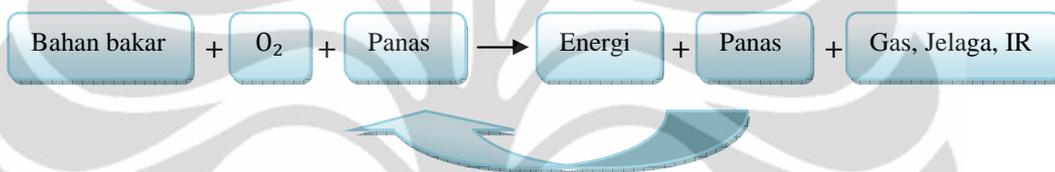


Gambar 2.1 Elemen – elemen segitiga api

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.

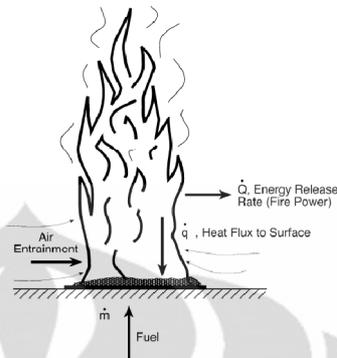
Nyala api adalah sebuah hasil reaksi eksotermis, suatu reaksi oksidasi kimia yang melepaskan panas serta menghasilkan energi dan gas yang berpedar yang terdiri dari gas yang bereaksi, pancaran padat yang terlihat dan sinar infra merah. Nyala api juga bergantung kepada pasokan oksigennya. Karena proses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



Gambar 2.2 Panas memungkinkan nyala api berlangsung terus-menerus[3]

Warna api dipengaruhi oleh intensitas cahayanya dan 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 POOL FIRE



Gambar 2.3 Pool fire[2]

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

2.2.1 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.

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

dimana :

A_f = luas horisontal permukaan bakar (m^2)

ΔH_c = panas pembakaran (kJ/g)

2.2.2 Tinggi Nyala Api Pool Fire

Nyala api dari pool fire selalu berfluktuasi, sehingga untuk menentukan tinggi nyala api dapat dilakukan perhitungan maupun dengan visual yang terjadi sebenarnya (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 eksperimen [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)

2.2.3 Durasi pembakaran Pool Fire

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

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

dimana :

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

D = diameter dari pool (m)

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

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

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

dimana

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

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

2.3 KABUT AIR

2.3.1 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 [7].

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

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

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

2.3.3 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 0.001m³ [13].

Tabel 2.2 Variasi dari luas permukaan dari air dengan ukuran droplet
(volume air 0.001m³)

Ukuran droplet (mm)	6	1	0.1
Jumlah total droplet	8.8 x 10 ³	1.9 x 10 ⁶	1.9 x 10 ⁹
Luas area permukaan (m²)	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 [18], 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 pyrolysis 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 pyrolysis 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;

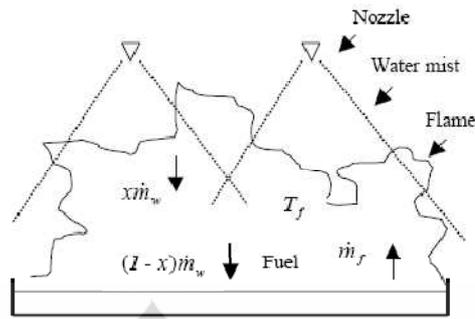
- Temperatur lingkungan
- Luas permukaan droplet
- Koefisien perpindahan panas
- Kecepatan relatif droplet dengan gas yang terdapat di lingkungan sekitar

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 melakukan penguapan.

2.3.4 Pemadaman Flame (Nyala Api)

Ketika kabut air disemprotkan ke dalam api, seperti pada gambar 2.4 beberapa droplet air ($x\dot{m}_w$) tertahan di dalam flame dan sisanya ($(1-x)\dot{m}_w$), menembus flame dan mencapai permukaan bensin.



Gambar 2.4 Skematik pemadaman pool fire oleh kabut air[1]

Droplet air yang tertahan tadi menyerap panas dari flame dan panas yang dilepaskan dari pembakaran bensin 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 bensin, \dot{m}_f adalah laju pembakaran dari bensin, 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 bensin.

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

Dimana ε adalah emisivitas dari bensin, 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, m_w adalah laju keluaran dari kabut air (kg/s), L_{vw} adalah panas laten dari penguapan air.

Sehingga kesetimbangan energi pada permukaan bensin 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 bensin dan proses pembakaran terus berlanjut, tetapi jika $S < 0$, panas tidak cukup untuk menguapkan bensin untuk mendukung penyalaaan sehingga api menjadi benar-benar padam. Untuk memadamkan api dari bensin, ukuran api harus dikurangi untuk meminimalkan perpindahan panas dari nyala api ke bensin pada saat bersamaan. Bensin 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 bensin sangat sulit untuk dipadamkan. Tidak seperti tipe api yang lain, temperatur bensin T_{fo} di bawah permukaan bensin lebih tinggi dari temperatur bensin T_{fs} di permukaan pada saat proses pemadaman. Bensin sendiri bukanlah sebuah energi yang akan menyusut tetapi adalah sebuah suplai energi untuk menjaga nyala api di permukaan. Panas disuplai ke permukaan bensin dari bensin ditentukan oleh kemampuan wadah bensin dan jumlah bensin didalam wadah. Semakin banyak jumlah bensin didalam wadah mengakibatkan semakin banyak panas yang didapat oleh wadah, maka akan semakin sulit untuk memadamkan api bensin.

2.3.5 Parameter Kabut Air

Pemadaman kebakaran bensin 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)

2.3.5.1 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 bensin hingga dibawah titik apinya. Fluks air kritis yang diperlukan untuk memadamkan nyala api $x\dot{m}_w$, dan mendinginkan permukaan bensin $((1-x)\dot{m}_w)$, 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 bensin, 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, sprayer dengan ukuran droplet besar lebih baik digunakan karena mampu mencapai permukaan bahan bakar dan mendinginkan permukaan.

2.3.5.2 Ukuran Droplet dan *Spray coverage*

Menurut teori, droplet dengan ukuran yang kecil lebih efisien dalam memadamkan api daripada 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 ke dalam 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 ke dalam 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 bensin, sehingga kabut air dapat menyerang panas dan mendinginkan bensin diseluruh permukaannya. 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 bensin, sehingga akan menjaga api tetap menyala. Cakupan kabut air (*watermist coverage*) A_w , ditentukan oleh sudut spray α dan jaraknya terhadap permukaan bensin, L

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

2.3.5.3 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 gejala 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 gejala 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 hubungannya 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.

2.3.6 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.

2.3.6.1 Proses pembentukan droplet

Terdapat tiga cara untuk membentuk suatu spray yaitu:

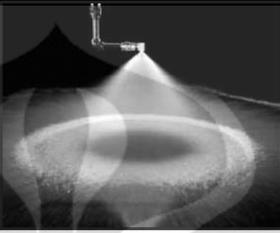
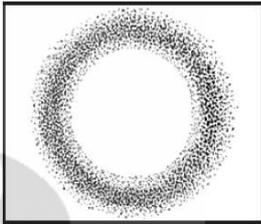
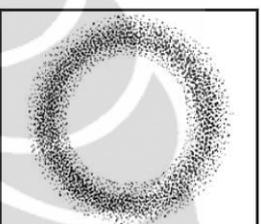
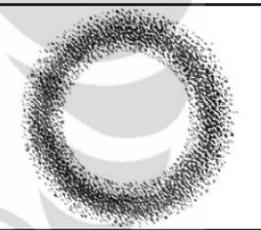
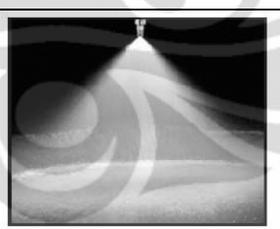
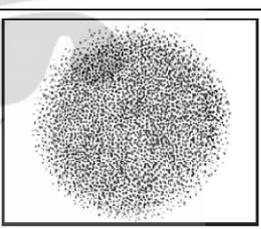
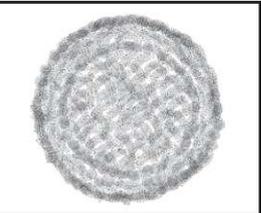
1. Dengan membuat rotasi aliran di dalam spray.
2. Dengan membenturkan jet air.
3. Dengan membuat droplet air secara langsung dari aliran jet air (water jet) yang turbulen, saat keluar dari nosel.

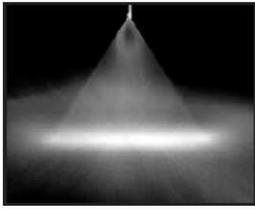
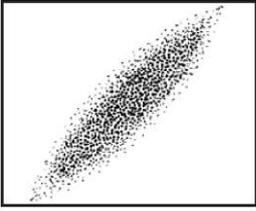
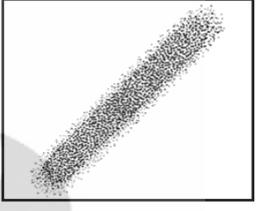
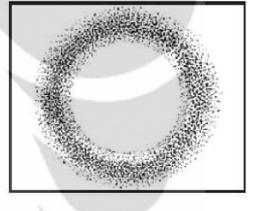
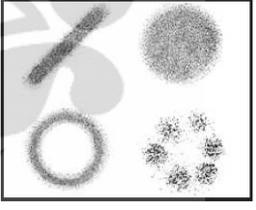
Proses untuk menghasilkan droplet disebut dengan atomisasi, proses ini dimulai dengan memberikan gaya pada air agar melewati nosel. Energi potensial dari air dan bentuk geometri dari nosel akan menyebabkan air pecah menjadi beberapa ligamen-ligamen kecil, dan ligamen kecil ini juga akan pecah menjadi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

2.3.6.2 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> (<i>Tipe spiral</i>)		
Nosel <i>Full cone</i>		
Nosel <i>Full cone</i> (<i>tipe spiral</i>)		

Tipe nosel	Foto	Penyebaran spray
Nosel <i>Flat spray</i> (tepered)		
Nosel <i>Flat spray</i> (lurus)		
Nosel <i>Flat spray</i> (deflected type)		
Nosel <i>hidraulic atomizing</i> (fine mist)		
Nosel <i>two fluid and air assisted nozzles</i>		

(sumber www.SprayConsultants.com)

BAB III

PERANCANGAN SISTEM KABUT AIR

3.1 KONSEP PERANCANGAN RANGKA DUDUKAN NOSEL

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

Tujuan perancangan adalah menghasilkan desain dudukan nosel yang dapat diatur baik ketinggian, sudut kemiringan, arah putaran (360°), dan tempat *pool fire* yang dapat diubah-ubah.

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 konfigurasi 4 nosel kabut air yang diletakan saling berhadapan satu sama lain, dengan ketinggian maksimum untuk nosel adalah 1,5 m dan ketinggian minimum adalah 0,2 m. Area pool fire minimum adalah 0.05 m^2 dan maksimum 1.2 m^2 .
- Rangka ini dapat diatur ketinggian, kemiringan sudut dudukan nosel, dan dapat menempatkan nosel dengan sudut 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.
- Karakteristik bahan bakar untuk pool fire yang digunakan adalah bensin yang mempunyai nyala tinggi api yang tinggi, temperatur nyala yang dapat mencapai suhu 600°C , sehingga rangka harus tahan terhadap panas

- Rangka juga harus tahan terhadap karat karena dalam pengujian ini menggunakan air sebagai media pemadamannya sehingga akan terbentuk kabut air yang berada disekitar dan mengenai rangka pada saat proses penyemprotan berlangsung.

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* serta 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 dari rangka dudukan nosel kabut air :

1. Clamp Pengunci Nosel

Clamp ini berfungsi untuk mengunci nosel agar nosel tidak berubah orientasinya pada saat proses penyemprotan berlangsung karena adanya

tekanan yang diberikan dari tabung nitrogen, dan dapat berfungsi sebagai pengatur sudut nosel yang dapat di seting putarannya sampai 360°, serta sebagai pengatur jarak antar nosel, pengaturan dudukan nosel ini menggunakan baut untuk menyeting jaraknya agar tidak berubah.



Gambar 3.2 Clamp Pengunci Nosel Kabut Air

2. Pipa Dudukan Clamp Pengunci Nosel

Pipa ini berfungsi untuk mengatur jarak antar nosel dan sebagai dudukan dari clamp pengunci nosel, pengaturan pipa ini menggunakan baut untuk menyeting jaraknya agar tidak berubah.



Gambar 3.3 Pipa Dudukan Clamp Pengunci Nosel

3. Rangka Pengatur Ketinggian

Rangka ini berfungsi untuk mengatur ketinggian nosel terhadap bidang pool fire atau busa untuk mengitung flux massa, rangka ini hanya dapat bergerak pada bidang vertical saja, pengaturan rangka ini menggunakan baut untuk menyeting jaraknya agar tidak berubah



Gambar 3.4 Rangka Pengatur Ketinggian

4. Rangka Utama

Rangka ini berfungsi sebagai penopang dari 3 komponen lainnya, rangka ini harus kokoh dan dapat menahan getaran atau hentakan nosel yang terjadi pada saat penyemprotan berlangsung



Gambar 3.5 Rangka Utama

3.3 PERAKITAN SISTEM KABUT AIR

Dalam perakitan sistem kabut air ini terdapat beberapa komponen penunjang lainnya dimana komponen ini sudah ada dan tersedia. Berikut adalah gambar perakitan sistem kabut air



Gambar 3.6 Sistem kabut air

Cara kerja dari sistem kabut air ini yaitu bermula dari tekanan nitrogen yang berasal dari tabung nitrogen yang bertekanan menekan air yang berada pada tabung satunya yang berisi air dan dihubungkan dengan selang dan fitting, karena tekanan dari nitrogen yg besar maka air akan mengalir menuju nosel yang juga dihubungkan menggunakan selang dan air akan dirubah menjadi kabut air oleh nosel tersebut.

Berikut adalah penjelasan dari fungsi masing-masing komponen yang digunakan dalam perakitan sistem kabut air, beberapa diantaranya merupakan komponen yang sudah tersedia sebelumnya :

1. Nosel Pembentuk kabut air

Agar dapat menghasilkan droplet air dengan ukuran yang memenuhi syarat kabut air, maka harus digunakan nosel yang sesuai dengan kebutuhan. Nosel yang dipakai adalah nosel air atomizing.



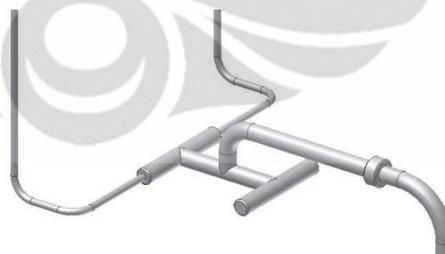
Gambar 3.7 Nosel Kabut air

Spesifikasi nosel yang digunakan :

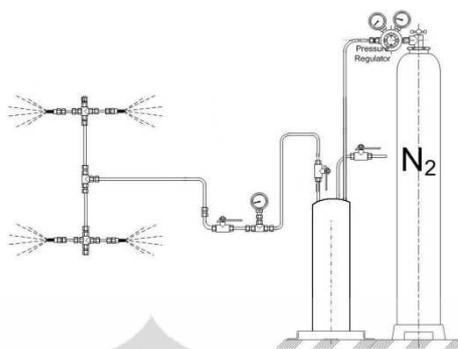
Nama pasaran/merek	: 1/4 - LNN – SS1.5
Material	: Stainless Steel 303
Diameter Orifice	: 0,51 mm
Tekanan kerja	: 2 – 70 bar
Sudut Spray	: 65° - 72° (Bergantung dari tekanan)
Kapasitas air	: 4.8 – 29 L/jam

2. Sistem Piping

Sistem piping kabut air ini menggunakan pipa yang terbuat dari bahan *Stainless steel* yang memiliki ukuran 1/4 inchi Sch 40S, dan selang hitam yang mampu menahan tekanan hingga 27 bar, dimana setiap sambungannya menggunakan *ferrul* agar sambungan kuat dan tidak bocor.



Gambar 3.8 Sistem piping kabut air



Gambar 3.9 Konfigurasi Nosel Pada Sistem Piping Kabut Air

Berikut adalah komponen yang di butuhkan untuk membuat sistem piping kabut air ini :

- **Pipa Pembagi**

Pipa rangkaian ini digunakan sebagai terminal atau pembagi aliran air jika menggunakan konfigurasi nosel lebih dari satu, rangkaian ini terdiri dari elbow dan Tee pipe yang diwelding menjadi satu rangkaian



Gambar 3.10 Pipa Pembagi

- **Selang Hitam Bertekanan**

Selang ini digunakan sebagai penghubung antara sistem piping dengan tabung air atau pressure vessel yang berfungsi mengalirkan air yang bertekanan dari tabung.



Gambar 3.11 Selang Hitam

- **Union Ferrule**

Part ini digunakan pada tiap sambungan dari sistem piping, agar tidak bocor dan sambungan sistem piping bisa dilepas pasang.



Gambar 3.12 Union Ferrule

- **Caps & Plug**

Berfungsi sebagai penyumbat jika konfigurasi nosel yang digunakan kurang dari 4 nosel,



Gambar 3.13 Caps & Plug

3. Tabung Nitrogen dan Pressure 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, sedangkan pressure regulator digunakan untuk mengetahui tekanan nitrogen yang keluar dari tabung nitrogen



Gambar 3.14 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 dimasukan tidak ada kotoran yang dapat menyebabkan tersumbatnya nosel.



Gambar 3.15 Pressure vessel dan check valve

5. 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 3.16 Pressure gauge

6. 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.

Hasil perakitan sistem kabut air dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 3.17 Hasil Rancangan dan Pembuatan Dudukan Nosel Kabut air



Gambar 3.18 Hasil Perancangan dan Pembuatan Sistem Kabut Air

BAB IV

METODOLOGI PENGUJIAN

4.1 TUJUAN PENGUJIAN

Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui kinerja dari sistem kabut air dalam memadamkan pool fire berbahan bakar bensin (gasoline). Pengujian dikonsentrasikan pada pencapaian waktu target yang paling cepat dalam memadamkan api dari bensin, ditinjau dari jumlah nosel yang dipakai, ketinggian nosel dari pool fire dan tekanan yang digunakan sehingga dapat diketahui kinerja 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, kedudukan nosel kabut air, peralatan listrik seperti lampu, alat ukur berupa sensor temperatur beserta data kalibrasinya, media busa dan timbangan.

4.2.1 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 dan 10 cm dengan tinggi *Pool* 40 cm. Sebelum melakukan pengujian dipastikan bahwa wadah ini bersih dan tidak ada kebocoran.



Gambar 4.1 Wadah bahan bakar

4.2.2 Tabung Nitrogen dan Regulator

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



Gambar 4.2 Tabung Nitrogen dan pressure regulator

4.2.3 Pressure Vessel

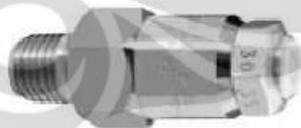
Hal yang perlu diperhatikan adalah air yang dimasukkan tidak ada kotoran yang dapat menyebabkan tersumbatnya nosel.



Gambar 4.3 Pressure Vessel

4.2.4 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 air atomizing. Nosel ini dipilih terutama karena bentuk kabut air yang keluar dari nosel berupa kerucut solid (Full Cone) agar kabut air dapat di arahkan atau terkonsentrasi ke pusat nyala api, dan kapasitas kabut air yang dihasilkan cukup besar sehingga dapat dengan cepat memadamkan api.

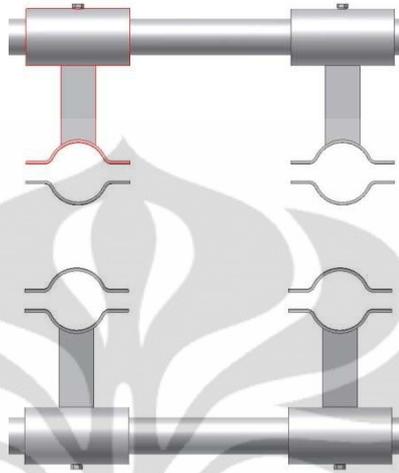


Gambar 4.4 Nosel Kabut Air

4.2.5 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 4.10, sudut penyemprotan nosel yang dapat diubah-ubah, ketinggian dan jarak nosel yang dapat diubah-ubah terhadap permukaan pool fire.



Gambar 4.5 Orientasi Peletakan Nosel Kabut Air

4.2.6 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.

4.2.7 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.

4.2.8 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 4.6 Pressure Gauge

4.2.9 Video kamera

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

4.2.10 Stop watch

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

4.2.11 Busa dan tempat busa

Untuk mendapatka data *flux density mass* dari kabut air digunakan busa dan tempat busa yang berukuran 45 cm x 56 cm. Ukuran masing-masing busa adalah 3 x 3 cm dengan jumlah 238 buah seperti gambar 4.8 dan disusun menjadi 14 x 17 buah. Penggunaan alat ini juga untuk mengetahui persebaran spray yang dihasilkan oleh nosel.



Gambar 4.7 Busa

4.2.12 Timbangan

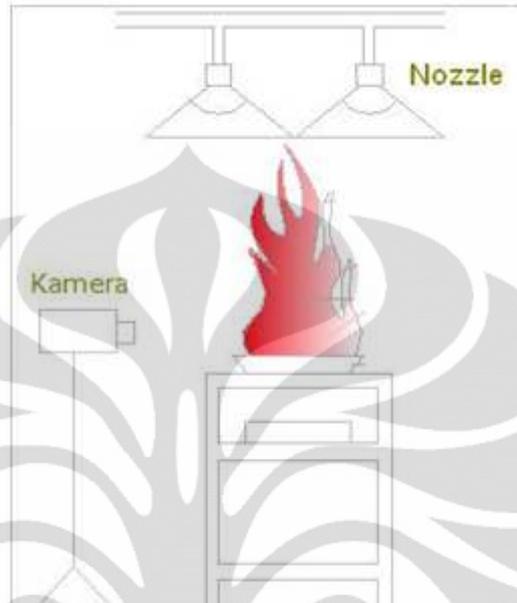
Dipergunakan untuk menghitung massa air dari nosel kabut air. Dalam menyiapkan timbangan ini yang perlu diperhatikan yaitu timbangan harus diletakkan pada bidang datar dan timbangan tidak boleh terkena aliran angin, karena kedua hal tersebut sangat mempengaruhi hasil timbangan.



Gambar 4.8 Timbangan

4.3 INSTALASI PENGUJIAN

Skema Pengambilan data pengujian



Gambar 4.9 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 :

- a. Pengambilan data *Flux density mass* dengan tinggi nosel 50 cm, jumlah nosel 1 dan 2 buah nosel dengan penempatan nosel tegak lurus bidang horizontal dari busa, dan dengan tekanan *pressure gauge* 6, 10 dan 15 bar
- b. Pengambilan data tinggi api dan temperatur *pool fire*, dengan dua variasi ukuran pool fire yaitu 6.5 dan 10 cm, volume bensin yang digunakan adalah 50ml.

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 238 buah busa dengan susunan 17 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 melakukan pengambilan 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 4.10 Foto Pengambilan Data Fluks Density

4.5.2 Prosedur Pengambilan Data Tinggi Nyala Api pada *Pool Fire*

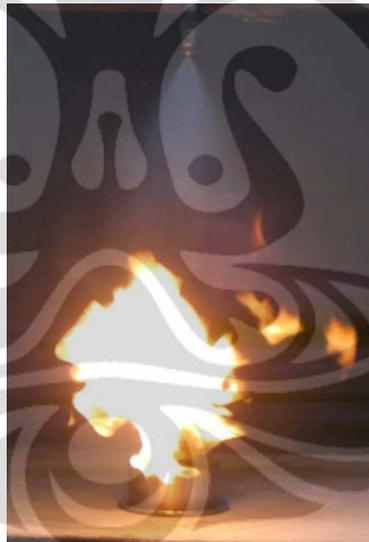
Prosedur Pengujian yang dilakukan adalah :

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. Menuangkan bahan bakar pada wadah yang telah disiapkan.
4. Menyiapkan kamera untuk merekam.
5. Data ketinggian api didapatkan berdasarkan rekaman api yang ditangkap oleh kamera.



Gambar 4.11 Foto Pengambilan Data Tinggi nyala api

4.5.3 Prosedur Pengambilan Data Waktu Pemadaman Nyala Api Pada *Pool Fire*



Gambar 4.12 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 penutup.
2. Menyiapkan konfigurasi nosel yang telah dibuat sebelumnya dengan sudut penyemprotan yang paling optimum yang didapat dari hasil pengujian fluks massa.

3. Mengatur tekanan dengan *pressure regulator* tekanan (6, 10 dan 15 bar).
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. Menuangkan bahan bakar pada wadah yang telah disiapkan.
7. Menyiapkan kamera untuk merekam.
8. Pada saat bensin menyala sendiri, biarkan selama beberapa detik agar *temperature* dan tingginya stabil.
9. Pada detik tinggi nyala api dari bensin 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*.
10. Setelah api padam, tutup semua *valve*, lalu tutup *pressure regulator* dan tutup tabung nitrogen.

BAB V

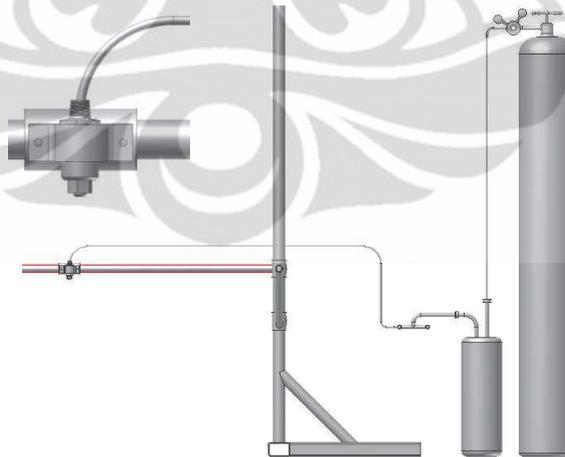
HASIL DAN ANALISA

5.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN

Berikut adalah data-data dan analisa hasil pengujian karakteristik sistem kabut air pada pemadaman api dengan bahan bakar bensin. 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 dengan bahan bakar bensin berdasarkan tinggi, tekanan dan jumlah nosel yang digunakan.

5.2 PENGUJIAN KARAKTERISTIK NOSEL KABUT AIR

Pada penelitian ini arah datangnya kabut air untuk pemadaman dilakukan dari sisi atas atau tegak lurus dengan *pool fire*. Arah pemadaman dari sisi atas ini dipilih karena karakteristik dari nosel yang digunakan berupa *full cone* pada keluaran semprotannya.



Gambar 5.1 Arah pemadaman kabut air dari sisi atas

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

Tabel 5.1 Konfigurasi tekanan dan jumlah nosel yang dipakai pada penelitian

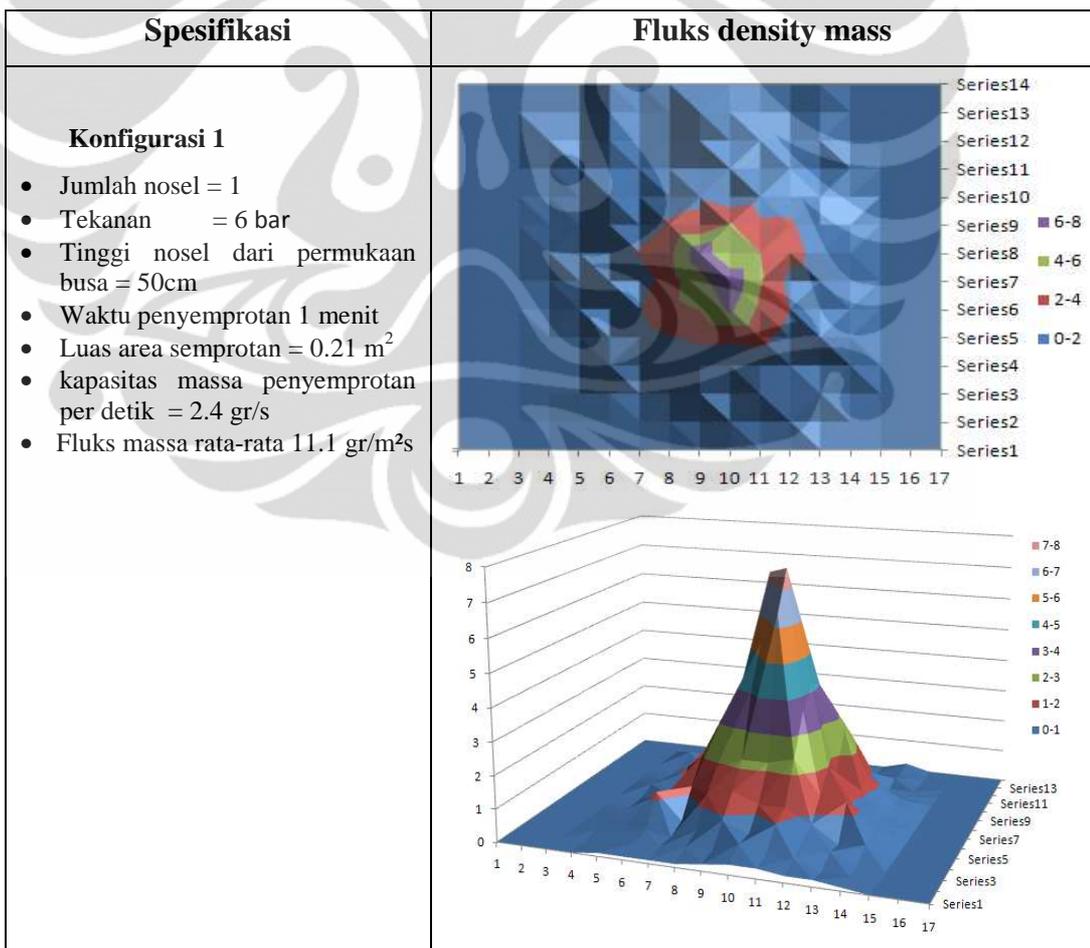
Skenario	Keterangan	Gambar visual
1	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 1 • Tekanan = 6 bar • Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
2	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 1 • Tekanan = 10 bar • Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
3	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 1 • Tekanan = 15 bar • Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
4	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 2 • Tekanan = 6 bar • Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
5	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 2 • Tekanan = 10 bar • Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	

6	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah nosel = 2 • Tekanan = 15 bar • Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm • Waktu penyemprotan 1 menit 	
---	---	--

5.2.1 Pengaruh Tekanan dan Jumlah Nosel Terhadap Fluks Massa (*Mass Flux*) Kabut Air

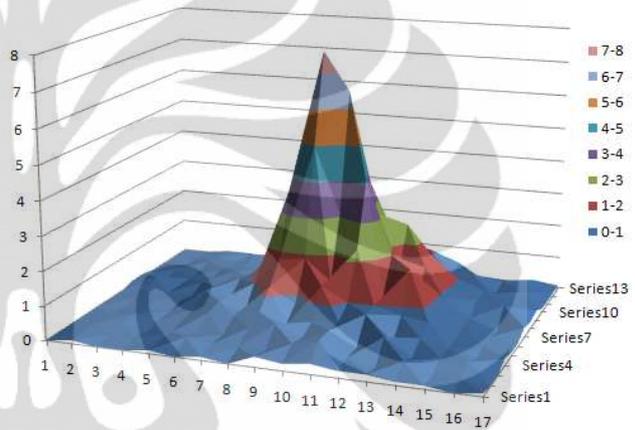
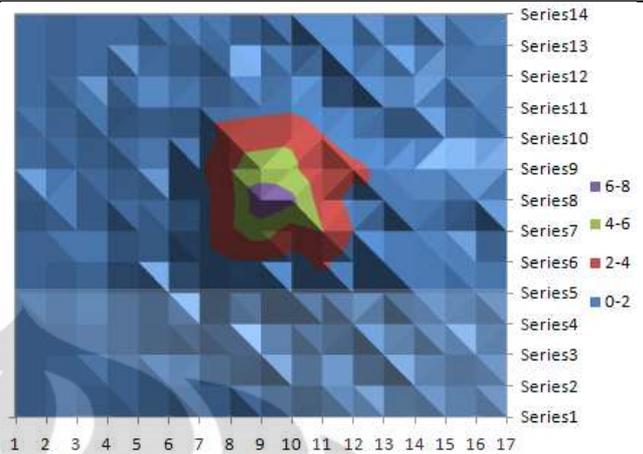
Pengujian dilakukan pada Tekanan 6, 10 dan 15 bar dengan konfigurasi 1 dan 2 nosel seperti yang terlihat pada gambar Tabel 5.2

Tabel 5.2 *Fluks massa* berdasarkan jumlah nosel dengan ketinggian yang sama



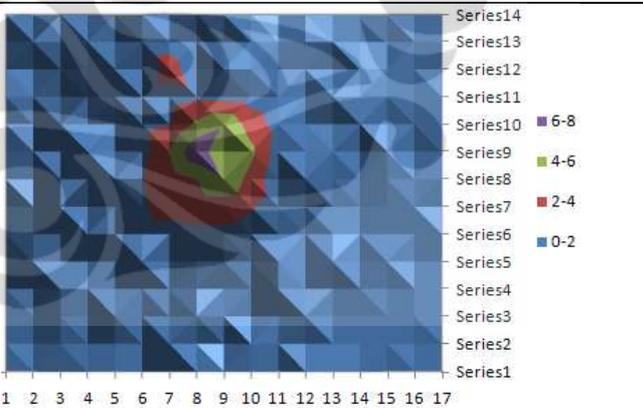
Konfigurasi 2

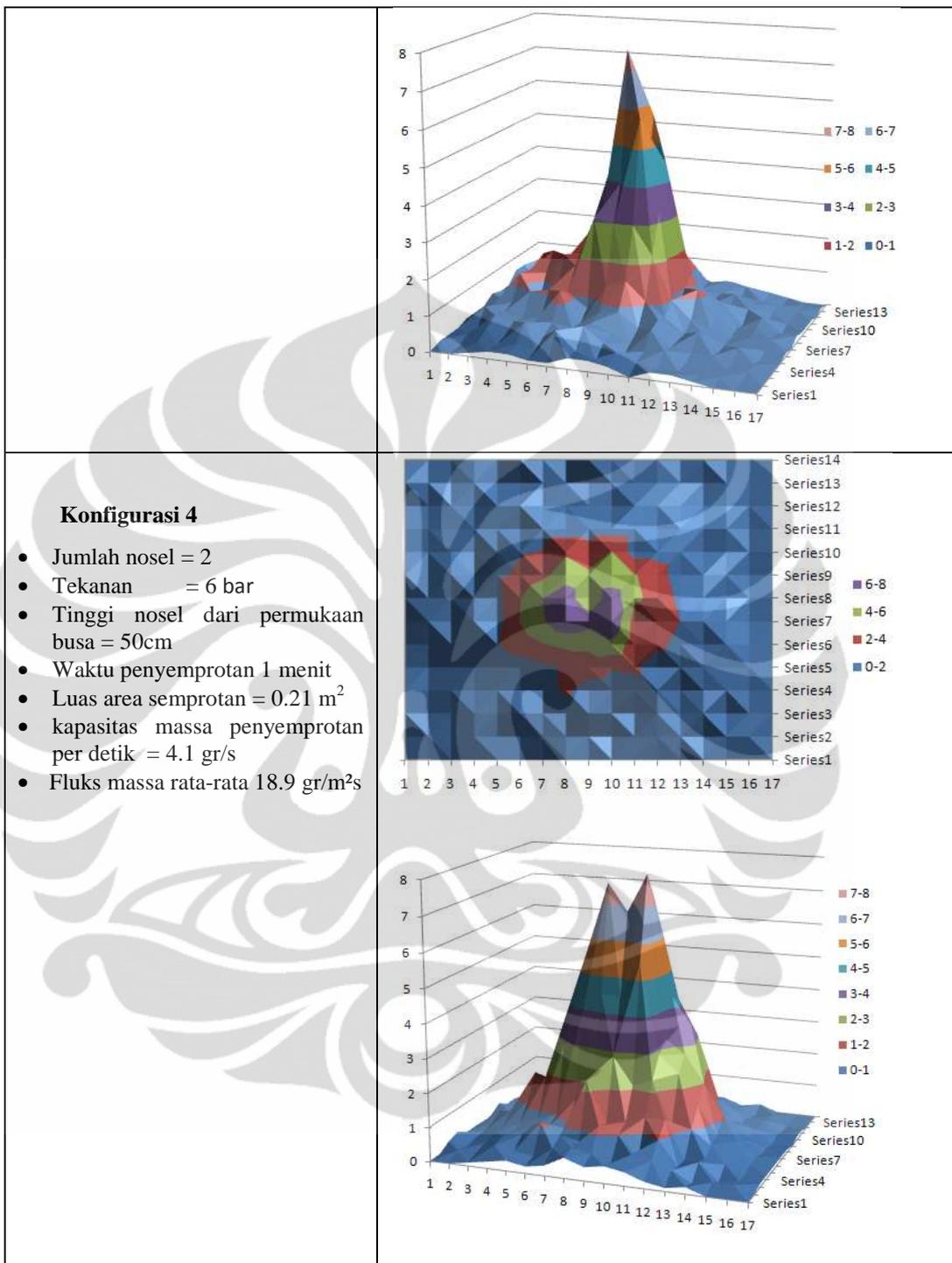
- Jumlah nosel = 1
- Tekanan = 10 bar
- Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm
- Waktu penyemprotan 1 menit
- Luas area semprotan = 0.21 m²
- kapasitas massa penyemprotan per detik = 2.6 gr/s
- Fluks massa rata-rata 11.9 gr/m²s



Konfigurasi 3

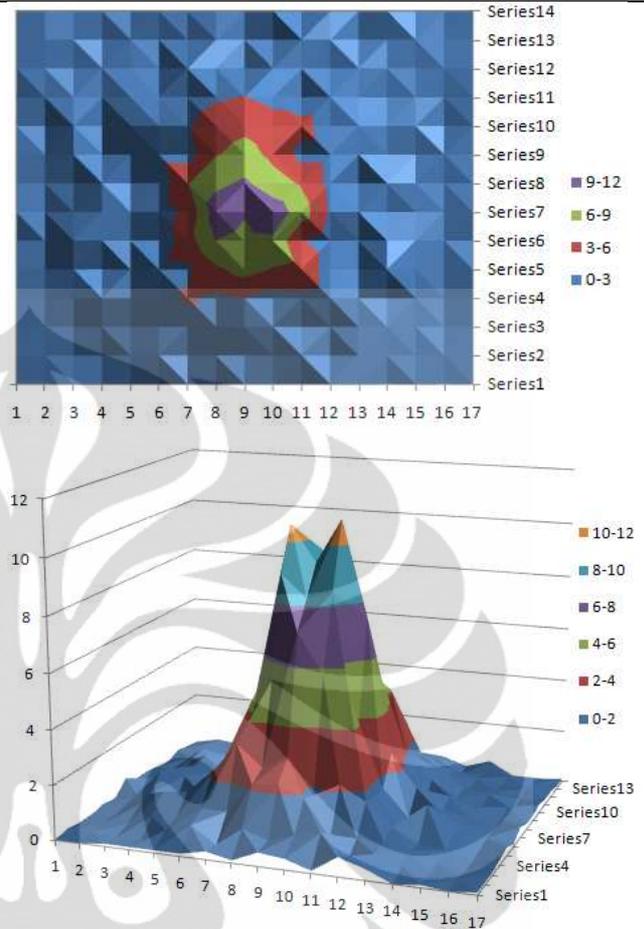
- Jumlah nosel = 1
- Tekanan = 15 bar
- Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm
- Waktu penyemprotan 1 menit
- Luas area semprotan = 0.21 m²
- kapasitas massa penyemprotan per detik = 2.9 gr/s
- Fluks massa rata-rata 13.5 gr/m²s





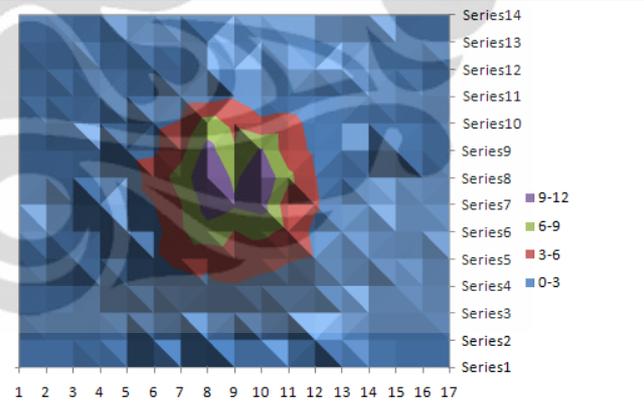
Konfigurasi 5

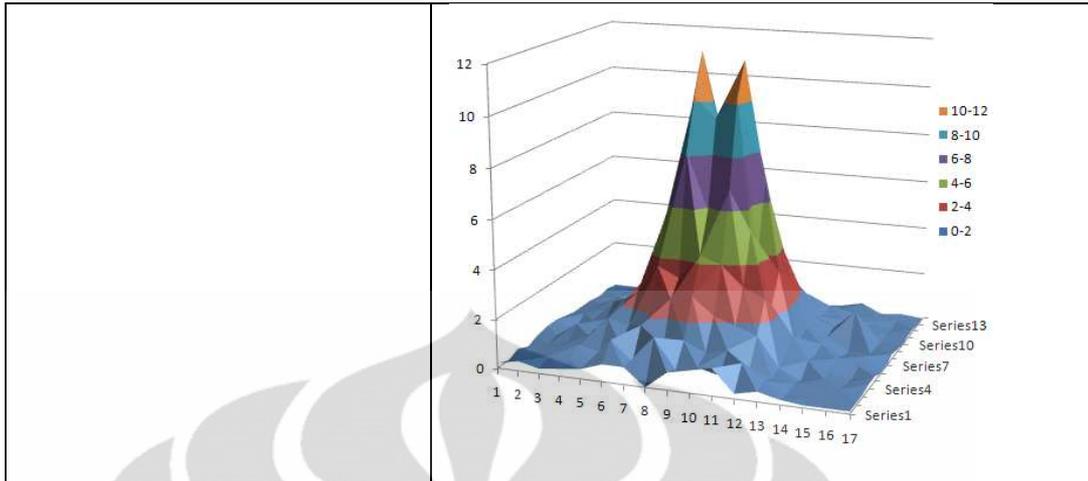
- Jumlah nosel = 2
- Tekanan = 10 bar
- Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm
- Waktu penyemprotan 1 menit
- Luas area semprotan = 0.21 m²
- kapasitas massa penyemprotan per detik = 5.3 gr/s
- Fluks massa rata-rata 24.7 gr/m²s



Konfigurasi 6

- Jumlah nosel = 2
- Tekanan = 15 bar
- Tinggi nosel dari permukaan busa = 50cm
- Waktu penyemprotan 1 menit
- Luas area semprotan = 0.21 m²
- kapasitas massa penyemprotan per detik = 5.6 gr/s
- Fluks massa rata-rata 26.1 gr/m²s





Percobaan dilakukan dengan membasahi media busa dengan menghidupkan sistem kabut air selama 1 menit. Tekanan dan jumlah nosel diatur sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan, tekanan pada *pressure gauge* dijaga sebesar 6, 10 dan 15 bar. Hasil fluks massa yang didapatkan pada percobaan ini berdasarkan pengaturan konfigurasi tekanan dan ketinggian nosel dapat dilihat pada tabel 5.2.

Dari grafik yang terdapat pada tabel 5.2 dapat kita lihat pengaruh tekanan yang diberikan terhadap nosel, dengan menetapkan beberapa parameter yang sama yaitu berupa ketinggian nosel dan jumlah nosel yang sama, sehingga dari pengambilan data akan terlihat pola penyebaran kabut air serta interaksi antar nosel. Pada tabel di atas dapat dilihat pada konfigurasi 2 nosel memiliki kecenderungan fluks massa yang membentuk pola huruf M, sedangkan pada konfigurasi 1 nosel pola konsentrasi persebaran fluks massa lebih mengarah kebagian tengah akibat dari sudut yang dihasilkan oleh nosel yang berupa *full cone*, semakin besar tekanan yang diberikan maka luasan dan besaran massa yang terbentuk akan semakin besar.

Suhu lingkungan, waktu jeda, ukuran droplet dan daya serap busa merupakan beberapa faktor yang menyebabkan *loss* dari kapasitas massa yang didapatkan dalam percobaan menggunakan busa, untuk mengetahui seberapa besar *loss* yang terjadi maka dilakukan pengujian lainnya dengan cara menyemprotkan kabut air ke dalam botol air mineral sebagai pembanding

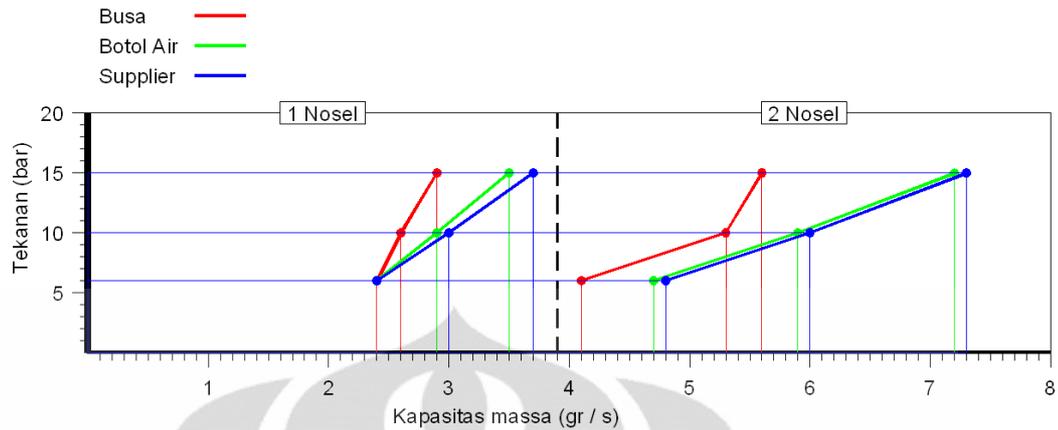
pengujian, berikut adalah data hasil dari pengujian penyemprotan dengan menggunakan botol air mineral

Tabel 5.3 Kapasitas massa berdasarkan jumlah nosel dan tekanan menggunakan wadah air mineral

Jumlah nosel	Tekanan (bar)	Kapasitas (gr/s)
1	6	2.4
1	10	2.9
1	15	3.5
2	6	4.7
2	10	5.9
2	15	7.2

Tabel 5.4 Kapasitas massa berdasarkan jumlah nosel dan tekanan dari data *supplier* nosel

Jumlah nosel	Tekanan (bar)	Kapasitas (gr/s)
1	6	2.4
1	10	3
1	15	3.7
2	6	4.8
2	10	6
2	15	7.3



Gambar 5.2 Grafik tekanan dan kapasitas massa kabut air

Fenomena lain yang ditemui pada interaksi spray dua nosel yaitu aliran spray yang saling bertabrakan pada bagian tengah daerah uji mengalami putaran (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 maka akan terjadi pola persebaran fluks density yang cenderung terdorong kearah spray kabut air yang memiliki momentum lebih lemah, sehingga pada gambar diatas terdapat daerah yang jumlah fluks massanya yang sedikit. Selain itu factor sebaran juga sangat tergantung dari factor angin, hal ini disebabkan karena ukuran droplet yang sangat kecil dan ringan sehingga mudah tertiuap angin.

Dengan adanya data perbedaan tekanan dan jumlah nosel ini, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan tekanan yang lebih besar maka akan meningkatkan performa dari kabut air tersebut begitu juga dengan penggunaan nosel yg banyak maka kapasitas kabut makin banyak dengan bentuk kabut air tetap membentuk conical tetapi pada ujungnya membentuk pola huruf M. Peningkatan kinerja yang dimaksud yaitu luas cakupan area yang lebih besar dan jumlah fluks massa yang lebih besar.

5.3 KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

5.3.1 Karakteristik Pool Fire Bahan Bakar Bensin (*Gasoline*)

Pada penelitian ini akan mencoba memadamkan jenis *pool fire* berbahan bakar bensin (*gasoline*) dengan menggunakan kabut air. Sebelum masuk ke pengujian maka 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 bensin. 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 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 temperatur 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 Bensin

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

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

Untuk bahan bakar bensin nilai dari m_{∞}'' adalah 0.055 kg/m²s, $k\beta$ adalah 2.1 m⁻¹ dan ΔH_c adalah 44700 KJ/kg. Kemudian dilakukan perhitungan laju pembakaran untuk kedua *pool fire* tersebut :

- Diameter 6.5 cm

$$\dot{m}'' = 0.055 \text{ kg/m}^2 \text{ s} (1 - e^{-2.1 \times 0.065})$$

$$\dot{m}'' = 7.01 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

- Diameter 10 cm

$$\dot{m}'' = 0.055 \text{ kg/m}^2 \text{ s} (1 - e^{-2.1 \times 0.1})$$

$$\dot{m}'' = 10.41 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$$

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

$$\dot{Q}_c = 7.01 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s} \times 44700 \text{ KJ/kg}$$

$$\dot{Q}_c = 313.7 \text{ kW/m}^2$$

- Diameter 10 cm

$$\dot{Q}_c = 10.41 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2 \text{ s} \times 44700 \text{ KJ/kg}$$

$$\dot{Q}_c = 465.76 \text{ kW/m}^2$$

5.3.1.2 Tinggi Nyala Api dan Bentuk Api *Pool fire*

Untuk mengetahui tinggi nyala api dari *pool fire* dapat menggunakan rumus [19]

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

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

- Diameter 6.5 cm

$$H_f = 0.235 \times 1.56^{\frac{2}{3}} - (1.02 \times 0.065 \text{ m})$$

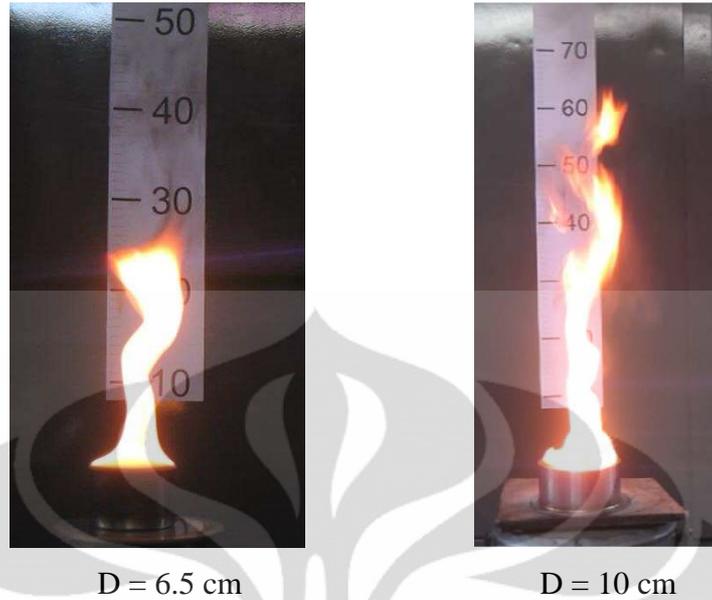
$$H_f = 0.25 \text{ m atau } 25 \text{ cm}$$

- Diameter 10 cm

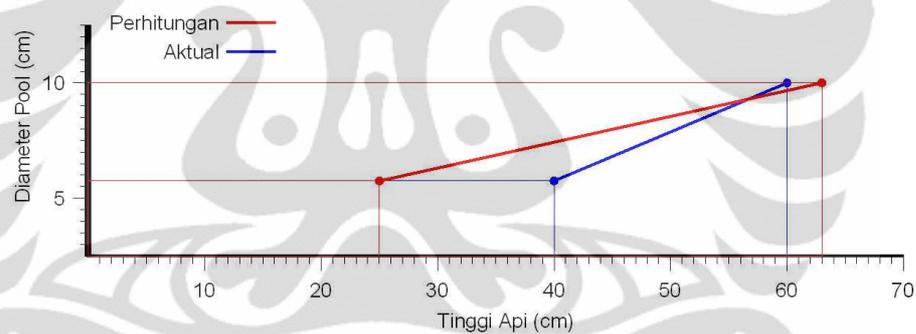
$$H_f = 0.235 \times 5.47^{\frac{2}{3}} - (1.02 \times 0.1 \text{ m})$$

$$H_f = 0.63 \text{ m atau } 63 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan tinggi nyala api ini maka dapat dibandingkan dengan kondisi aktual dari percobaan di lapangan



Gambar 5.3 Visual Tinggi Nyala Api



Gambar 5.4 Grafik Nyala Api terhadap Diameter pool

5.3.2 Perhitungan Kestimbangan Energi pada Pemadaman Api Bahan Bakar Bensin

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

Ketika bensin terbakar, panas akan di pindahkan dari bensin ke nyala api dengan cara konveksi dan radiasi. Panas akan hilang dari bensin 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 bensin 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 bensin (44700 kJ/kg), \dot{m}_f adalah laju pembakaran dari bensin (0.055 kg/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 ke permukaan. Dimana ε adalah emisitas dari bensin (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 (600°C), T_{fo} adalah temperatur bahan bakar bensin, δ adalah tebal layer dari bahan bakar yang dipanaskan dibawah permukaan bahan bakar (0.03m). K_f adalah konduktifitas panas dari bahan bakar ($0.145 \times 10^{-3} \text{ kJ/s.m}^\circ\text{C}$), \dot{m}_w adalah laju keluaran dari kabut air pada konfigurasi 3 ($2.89 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$), L_{vw} adalah panas laten dari penguapan air (2.5 kJ/kg).

Sehingga kesetimbangan energi pada permukaan bensin adalah:

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

$$\dot{Q}_L = 0.9 \times 5.67 \times 10^8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4} \times 600^\circ\text{C}^4 + 0.145 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot \text{m}^\circ\text{C}} \cdot \text{m}^\circ\text{C} \frac{600 - 520}{0.03\text{m}} + 2.89 \cdot 10^{-3} \text{kg/s} (1 \times 80) + 2.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_L = 3,0618 \times 10^{11} \text{ kJ/s}$$

$$S = \left(0.15 \times 44700 \frac{\text{J}}{\text{kg}} - 400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) 0.01 \text{kg/s m}^2 + 18 \text{ kJ/s} - 1915622.7 \text{ kJ/s}$$

$$S = -2.2 \times 10^6 \text{ kW}$$

Jika $S \geq 0$, maka akan tersedia cukup panas untuk menjaga api tetap menyala diatas permukaan bensin dan proses pembakaran terus berlanjut, tetapi

jika $S < 0$, panas tidak akan mampu untuk menguapkan bensin untuk mensuplai nyala api sehingga api akan padam. Dengan perhitungan awal ini dapat diasumsikan bahwa sistem kabut air yang akan digunakan dengan konfigurasi 1 nosel, tekanan 15 bar dan ketinggian 75 cm, dengan laju kabut air yang dihasilkan ($2.89 \times 10^{-3} \text{kg/s}$) dapat memadamkan api bahan bakar bensin pada *pool fire* ukuran 6,5 dan 10 cm.

5.4 ANALISA VISUAL PEMADAMAN BAHAN BAKAR BENGIN

Karakteristik mengenai *pool fire* telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. *Pool fire* yang akan coba dipadamkan yaitu *pool fire* dengan diameter pool atau wadah 6.5 cm dan 10 cm yang berbahan bakar bensin. Pemadaman akan coba dilakukan dengan variasi tekanan yang diberikan yaitu 6, 10 dan 15 bar dengan jumlah nosel 1 dan 2 buah, serta jarak dari *pool fire* ke nosel yaitu 50 cm dan 75 cm hal ini dilakukan karena pertimbangan kekuatan tekanan yang dihasilkan oleh nosel harus lebih besar dari tekanan nyala api, jika tekanan kabut air yang terbentuk lebih kecil dari tekanan dari api maka droplet yang terbentuk tidak jatuh ke area pool melainkan lari kearah sisinya selain itu pertimbangan lainnya yaitu hembusan angin yang terjadi, karena droplet sangat ringan dan sensitif terhadap hembusan angin yang menyebabkan droplet tidak jatuh ke area pool. Dalam melakukan percobaan ini akan dilakukan pengamatan temperatur dari nyala api yang dihasilkan sebelum dan setelah kabut air di semprotkan, oleh karena itu akan ditempatkan dua buah termokopel untuk melihat pergerakan temperature nyala api saat disemprotkan kabut air dan saat terjadi pemadaman. Termokopel tersebut diletakkan pada jarak 5 cm dan 10 cm diatas permukaan bahan bakar. Berikut adalah time line pemadaman api bahan bakar bensin dengan konfigurasi 1 Nosel, Diameter pool 10 cm, tekanan 10 bar dan jarak dari pool ke nosel 75 cm



(detik 1-4)



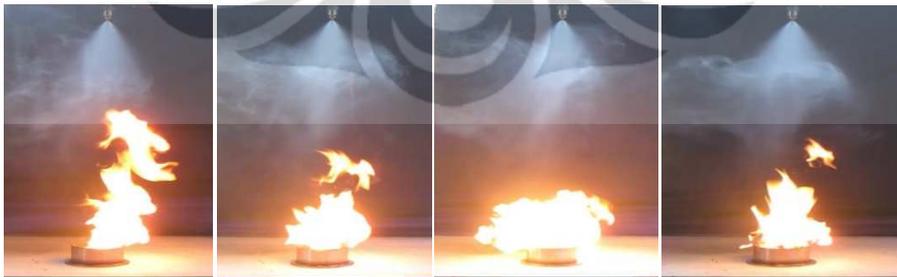
(detik 5-8)



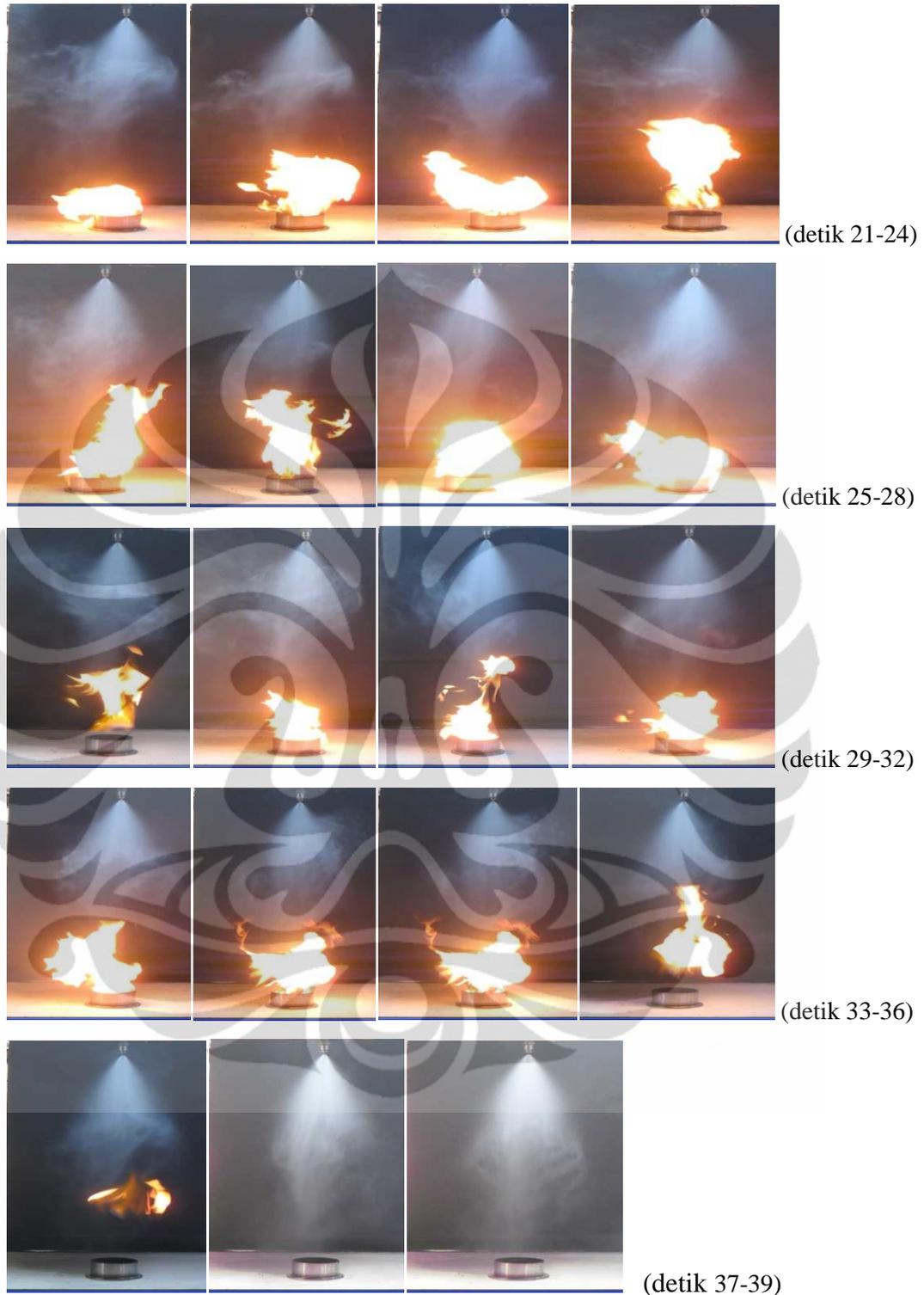
(detik 9-12)



(detik 13-16)



(detik 17-20)



Gambar 5.5 Time Line Pengamatan Visual Pemadaman Api

Gambar diatas menunjukkan hasil rekam visual proses pemadaman api berbahan bakar bensin dengan menggunakan sistem kabut air dari sisi atas. Proses

yang ditampilkan ini memakai diameter pool fire 10 cm. Gambar tersebut menggambarkan urutan terjadinya mekanisme pemadaman dimulai dari penyalaaan bahan bakar akibat mencapai titik *auto ignitionnya*, kemudian nyala api mulai berkembang penuh dan stabil .

Pada saat temperatur bensin 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 bensin 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 nosel, 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 yang menyebabkan api padam, proses padamnya api dimulai dari bagian permukaan pool fire yang kemudian mengarah pada bagian di atas permukaan pool fire hal ini disebabkan karena kabut air menutup proses penguapan dari bensin dan bagian yang masih terbakar merupakan sisa penguapan dari bensin. Lama waktu pemadaman untuk diameter 6,5 cm cenderung cepat yaitu hanya berkisar 5 detik. Untuk diameter 6.5 cm tahapan persiapan sampai tahapan penyalaaan sistem kabut air sesuai dengan diameter 10 cm, hanya yang membedakan bentuk nyala api yang lebih kecil dikarenakan pengaruh diameter *pool fire* sehingga jumlah bahan bakar pada kondisi yang sama, memiliki nyala api lebih kecil dibandingkan dengan diameter 10 cm.

5.5 ANALISA WAKTU PEMADAMAN BAHAN BAKAR BENSIN

Efektifitas waktu pemadaman dalam pengujian ini bergantung dari beberapa faktor, diantaranya yaitu:

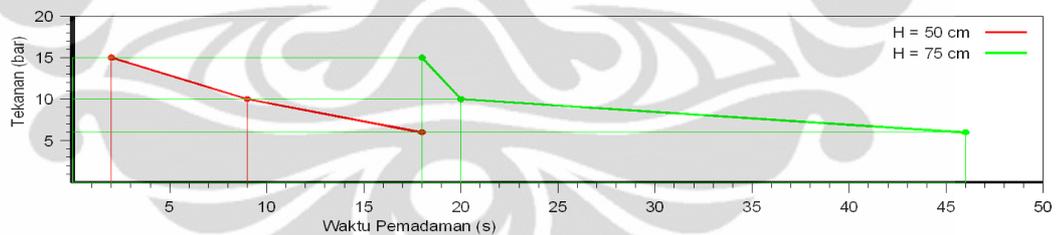
1. Tekanan Semprotan

Tekanan semprotan sangat berpengaruh pada lamanya waktu pemadaman hal ini disebabkan oleh kapasitas/jumlah droplet yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya tekanan yang diberikan, semakin besar tekanan yang diberikan maka jumlah droplet yang terbentuk akan semakin banyak pula, dengan demikian luas permukaan pendinginan atau luas permukaan kontak antara kabut air dan permukaan nyala api akan semakin besar yang pada akhirnya mempercepat waktu pemadaman, selain itu besarnya tekanan juga sangat berpengaruh pada jangkauan droplet untuk menembus permukaan bahan bakar yang terhalang oleh nyala api, dalam pengamatan ini nyala api seolah-olah memberikan gaya yang berlawanan dengan arah jatuhnya droplet sehingga jika tekanan droplet yang terjadi lebih kecil dari gaya yang diciptakan oleh nyala api maka droplet akan terlempar dari permukaan nyala api dan tidak bisa menembus ke permukaan bahan bakar akibatnya pendinginan yang terjadi hanya pada permukaan nyala api tidak pada permukaan bahan bakar. Berikut adalah tabel dari hasil pengujian waktu pemadaman bahan bakar bensin terhadap tekanan dan jarak nosel dari pool fire

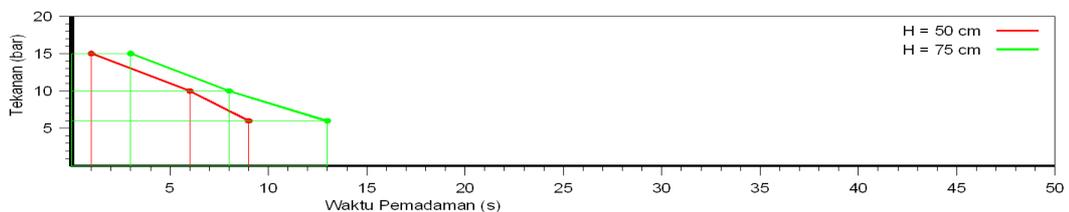
Tabel 5.5 Tabel Waktu Pemadaman pada Tekanan dan Ketinggian yang Berbeda

Jumlah Nozzle	Ketinggian (cm)	Diameter (cm)	Pressure (bar)	Waktu Pemadaman (s)
1	50	6.5	6	7
1	50	6.5	10	2
1	50	6.5	15	2
1	50	10	6	18
1	50	10	10	9
1	50	10	15	2
1	75	6.5	6	11
1	75	6.5	10	7
1	75	6.5	15	2
1	75	10	6	46
1	75	10	10	20
1	75	10	15	18
2	50	6.5	6	1
2	50	6.5	10	1
2	50	6.5	15	1
2	50	10	6	9
2	50	10	10	6
2	50	10	15	1
2	75	6.5	6	2
2	75	6.5	10	1
2	75	6.5	15	1
2	75	10	6	13
2	75	10	10	8
2	75	10	15	3

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa waktu pemadaman erat kaitannya dengan tekanan dan jarak nosel dari pool fire, untuk lebih jelasnya lihat grafik dari waktu pemadaman yang di dapat dari tabel diatas



Gambar 5.6 Grafik Waktu Pemadaman dengan Jumlah Nosel 1 Buah dan Diameter *Pool Fire* 10 cm



Gambar 5.7 Grafik Waktu Pemadaman dengan Jumlah Nosel 2 Buah dan Diameter *Pool Fire* 10 cm

2. Jarak Nosel terhadap *Pool Fire*

Jarak nosel terhadap *pool fire* erat kaitannya dengan daya tolak droplet yang dihasilkan oleh nosel untuk menembus permukaan bahan bakar yang terhalang nyala api yang bertujuan untuk mendapatkan proses pendinginan pada permukaan bahan bakar, jika jarak antara nosel dengan *pool fire* cukup jauh maka daya tolak dari droplet akan menurun saat terjadi kontak dengan nyala api atau bahkan daya tolak disini sudah hilang dan yang ada hanya gaya gravitasi dari droplet tersebut, sehingga droplet akan terlempar menjauhi permukaan bahan bakar akibat dari gaya yang dihasilkan oleh nyala api sehingga proses pendinginan yang terjadi hanya pada permukaan nyala api saja dan tidak pada permukaan bahan bakar sehingga waktu pemadaman akan semakin lama.

3. Ukuran Droplet

Besar kecilnya ukuran droplet berpengaruh pada luas permukaan kontak dengan nyala api, semakin kecil droplet yang dihasilkan maka luas permukaan kontak dengan nyala api akan semakin besar yang mengakibatkan proses pendinginannya akan semakin cepat, tetapi jika droplet yang dihasilkan terlalu kecil maka penyebaran droplet tidak dapat terkonsentrasi ke pusat nyala api karena droplet akan mudah tertiup angin dan droplet juga tidak dapat menembus permukaan bahan bakar.

4. Sudut Semprotan

Sudut semprotan disini adalah besarnya sudut yang dihasilkan oleh nosel, sudut yang dihasilkan berasal dari nosel dan besarnya sudut bergantung dari tekanan yang digunakan, berikut adalah tabel karakteristik sudut kabut yang terbentuk terhadap tekanan yang diberikan

Pressure	3 bar	6 bar	20 bar
Angle	65°	70°	72°



Tabel 5.6 Tabel Sudut Kabut Berdasarkan Tekanan [Lampiran]

Besarnya sudut ini akan berpengaruh pada ukuran diameter yang terbentuk, semakin besar sudut yang terbentuk maka diameter kabut akan semakin besar pula dengan catatan besarnya tekanan yang diberikan harus konstan. Besarnya diameter yang terbentuk akan berhubungan dengan luas permukaan kontak antara nyala api dengan kabut yang dihasilkan dan sedapat mungkin diameter kabut air harus lebih besar dari diameter nyala api yang timbul sehingga diharapkan nyala api akan terkurung oleh kabut air tersebut akibat dari bentuk konikal kabut yang terbentuk.

5. Kapasitas Droplet

Kapasitas droplet yang dihasilkan oleh nosel akan berpengaruh pada luas permukaan kontak nyala api, jika kapasitas droplet yang dihasilkan cukup besar maka proses pendinginan akan berlangsung singkat karena temperatur nyala api dan temperatur bahan bakar akan diserap oleh droplet tersebut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

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

1. Kinerja kabut air sangat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu *mass flux density*, ukuran droplet, area sebaran dan momentum kabut air. Berdasarkan penelitian *mass flux density* dengan variasi tekanan pemadaman 6, 10 dan 15 bar didapatkan bahwa jumlah rata-rata fluks *density* pada tekanan yang lebih besar akan lebih banyak dan area sebarannya pun lebih besar jika dibandingkan tekanan yang lebih kecil pada ketinggian yang sama.
2. Berdasarkan data penyebaran fluks masa yang didapat, pola penyebaran *mass flux* dengan menggunakan 1 buah nosel tipe *full cone* akan membentuk pola *conical* atau kerucut dengan sudut kerucut berada di tengahnya, dan jika menggunakan 2 buah nosel tipe *full cone* maka akan mendapatkan pola sebaran seperti huruf M (dua buah kerucut yang saling berdampingan).
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.
4. Mekanisme pemadaman dari kabut air pada penelitian ini adalah dengan cara mendinginkan bahan bakar bensin dan nyala api, pemindahan oksigen dan mengurangi laju penguapan dari bensin.
5. Pemadaman dengan metode kabut air dipengaruhi oleh ketinggian nosel terhadap permukaan bahan bakar dan besarnya tekanan yang digunakan,

semakin dekat jarak ketinggian nosel dengan permukaan bahan bakar maka waktu pemadaman akan semakin singkat, begitu juga dengan tekanan semakin besar tekanan yang di gunakan maka pemadaman akan semakin singkat pula.

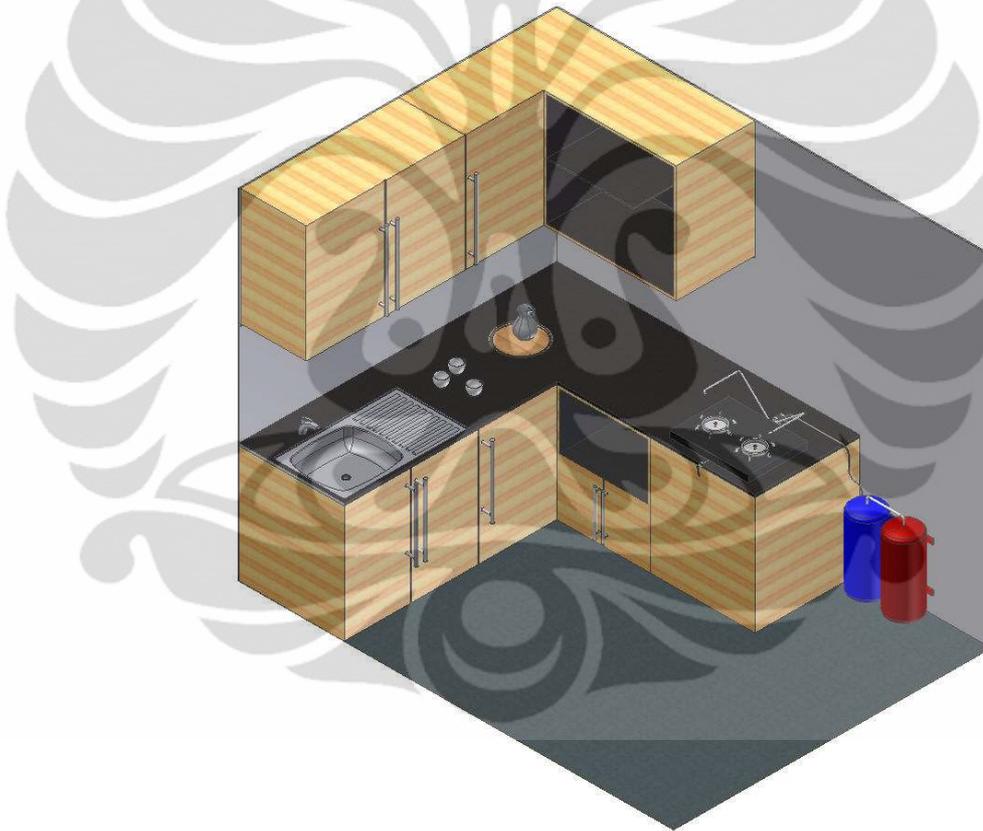
6. Keefektivitasan dari sistem kabut air tergantung dari karakteristik spray dari kabut air yaitu ukuran dari droplet, fluks density, dan dinamika dari spray pada skenario pemadaman api.
7. Sistem pemadaman kabut air dengan arah pemadaman tegak lurus nyala api efektif untuk mengurung nyala api sehingga 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 kapasitas yang lebih banyak dan daya jangkau droplet akan semakin jauh, sehingga waktu pemadaman dari bensin bisa lebih cepat.
2. Dalam pengujian mass flux menggunakan busa, pemilihan busa sedapat mungkin menggunakan busa yang berdaya serap tinggi
3. 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.
4. Memperbesar momentum dari kabut air, agar dapat melewati nyala api dan mencapai permukaan bahan bakar sehingga waktu pemadaman dan pendinginan bahan bakar lebih cepat
5. Pengaturan flow rate dari masing-masing nosel disesuaikan dengan jumlah air yang dibutuhkan agar pemakaian air lebih efektif.
6. Mengatur dan memvariasikan posisi cakupan spray dari nosel kabut air sehingga dapat mengcover area yang dibutuhkan

7. 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
8. Membuat suatu sistem kabut air dimana posisi nosel, *working pressure*, *flow rate* dihidupkan secara otomatis berdasarkan sensor.
9. Membuat rancangan pemadaman kebakaran pada dapur rumah tangga menggunakan sistem kabut air menjadi benda kerja dan menjadikannya sebagai alat pemadam yang efektif, mudah dioperasikan dan aman untuk digunakan, contoh rancangan pemadaman pada dapur rumah tangga menggunakan sistem kabut air



Sistem pemadaman harus mudah di pasang dalam segala bentuk desain dapur rumah tangga, baik itu sistem *piping*, tabung nitrogen, tabung air dan komponen lainnya, untuk itu sistem harus merupakan sebuah part yang dapat di lepas pasang agar dapat di sesuaikan dengan kondisi dapur rumah tangga yang ada.

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] Mariance, "Efektifitas Kabut Air Untuk Pemadaman Kolam Api Berbahan Bakar Minyak Goreng", Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Program Studi Teknik Mesin, Desember 2009.
- [3] I Gede Wahyu, "Studi Eksperimental Fenomena Percikan dan Letupan Minyak Nabati Panas Akibat Penetesannya Butiran Air ", Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Program Studi Teknik Mesin, Desember 2009.
- [4] Wijayasinghe M S, Makey T B. Cooking oil: A home fire hazard in Alberta, Canada. *Fire Tech*, 1997, 33: 140—166
- [5] Voelkert C. The new class K. *NFPA J*, 1999, 7/8
- [6] 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
- [7] Mawhinney, J.R., "Fire Protection Water Mist Suppression Systems," *NFPA Handbook - 18th Edition*, 1997
- [8] 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

- [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] 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.
- [14] 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.
- [15] Eugene F. Megyesy., "Pressure Vessel Handbook," Thirteen Edition, Pressure Vessel Publishing, Inc. 2004
- [16] R. S. Khurmi and J. K. Gupta., "Machine Design" Eurasia Publishing House Ltd. New Delhi 1980

- [17] Robert Chuse & Bryce E. Carson, SR., "Pressure Vessel," Seventh Edition, McGraw-Hill, Inc. United State of America 1993
- [18] 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.
- [19] Heskestad, (1995) dan *Thomas* (1962)
- [20] Doddy Rezky Pratama, "Pemadaman Api Bahan Bakar Cair dan Padat Menggunakan Sistem Kabut Air Multi Nosel dengan Jarak Antara 4 cm", Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Program Studi Teknik Mesin, Desember 2008.

LAMPIRAN

Katalog nosel kabut air

E Fine Spray Hydraulic Atomizing Spray Nozzles Standard Spray Small Capacity

FINE SPRAY NOZZLES



LN



Integral strainer
1/4" NPT or BSPT (F)

LNN



Integral strainer
1/4" NPT or BSPT (M)

LND



Integral strainer wall-mounted
1/4" NPT or BSPT (F) Inlet conn.
with 1/2" NPT (M)
wall-mounting threads

LNND



Integral strainer wall-mounted
1/4" NPT or BSPT (M) Inlet conn.
with 1/2" NPT (M)
wall-mounting threads

N



1/4" NPT or BSPT (F)

NN



1/4" NPT or BSPT (M)

M



Two-piece design
1/4" NPT or BSPT (M)

DESIGN FEATURES

Fine spray atomizing nozzles use the liquid pressure alone to produce very finely atomized drops in a hollow cone spray pattern with uniform distribution, often achieving misting performance.

Orifice inserts, cores, and strainers are easily removed for inspection or cleaning.

- **Model LN** and **LNN** nozzles are equipped with strainers.
- **Model LND** and **LNND** nozzles offer a wall-mount design as well as a built-in strainer.

- **Model N** and **NN** nozzles consist of a nozzle body, an orifice insert in a cap, and a core.
- **Model M** nozzles feature a removable core for easy cleaning or replacement. **ML** Series nozzles are supplied with strainers in the same capacities as the **Model M**.

COMMON APPLICATIONS

- Evaporative cooling
- Moistening
- Humidifying



Spraying Systems Co.[®]

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

252

Fine Spray Hydraulic Atomizing Spray Nozzles
 Standard Spray
 Small Capacity

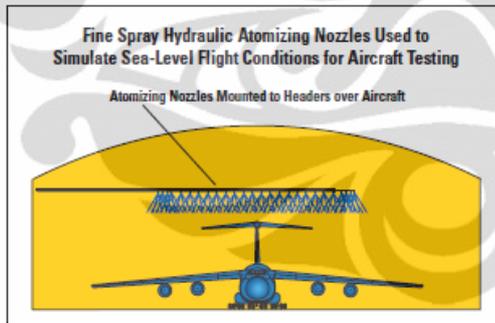


FINE SPRAY NOZZLES

PERFORMANCE DATA

Nozzle Inlet Conn. NPT or BSPT	Nozzle Type							Capacity Size	Orifice Dia. Nom. (mm)	Core No.	Capacity* (liters per hour)										Spray Angle		
	LN	LNN	LND	LNU	N	NN	M				2	5	10	15	20	30	40	50	70	3	6	20	
											bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
1/4	•	•						.30	.41	106	—	—	—	—	3.1	3.8	4.3	4.9	5.7	—	—	51°	
	•	•						.40	.41	108	—	—	—	—	4.1	5.0	5.8	6.4	7.6	—	—	58°	
	•	•						.50	.41	109	—	—	—	—	4.4	5.1	6.3	7.2	8.1	—	—	63°	
	•	•	•					.60	.41	206	—	—	4.3	5.3	6.1	7.5	8.6	9.7	11.4	—	—	35° 65°	
	•	•	•	•				1	.51	210	—	5.1	7.2	8.8	10.2	12.5	14.4	16.1	19.1	45°	62°	72°	
	•	•	•	•	•			1.5	.51	216	4.8	7.6	10.8	13.2	15.3	18.7	22	24	29	65°	70°	72°	
	•	•	•	•	•	•		2	.71	216	6.4	10.2	14.4	17.7	20	25	29	32	38	70°	75°	77°	
	•	•	•	•	•	•		3	.71	220	9.7	15.3	22	26	31	37	43	48	57	65°	70°	73°	
	•	•	•	•	•	•		4	1.1	220	12.9	20	29	35	41	50	58	64	76	72°	81°	84°	
	•	•	•	•	•	•		6	1.1	225	19.3	31	43	53	61	75	86	97	114	73°	79°	81°	
	•	•	•	•	•	•		8	1.5	225	26	41	58	71	82	100	115	129	153	85°	89°	91°	
	•	•	•	•	•	•		10	1.6	420	32	51	72	88	102	125	144	161	191	82°	84°	86°	
	•	•	•	•	•	•		12	1.9	420	39	61	86	106	122	150	173	193	230	78°	82°	85°	
	•	•	•	•	•	•		14	1.9	421	45	71	101	124	143	175	200	225	265	85°	88°	90°	
	•	•	•	•	•	•		16	2.2	421	52	82	116	142	164	200	230	260	310	83°	86°	88°	
	•	•	•	•	•	•		18	1.9	422	58	92	130	159	183	225	260	290	345	81°	84°	86°	
•	•	•	•	•	•		20	2.1	422	64	102	144	176	200	250	290	320	380	75°	78°	80°		
•	•	•	•	•	•		22	1.9	625	71	112	159	194	225	275	320	355	420	70°	72°	75°		
•	•	•	•	•	•		26	2.2	625	84	133	187	230	265	325	375	420	495	73°	74°	77°		

* Maximum operating pressure depends on material and application. Call for specific recommendations.



Spraying Systems Co.

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 865-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

253

E Fine Spray Hydraulic Atomizing Spray Nozzles

Standard Spray

Small Capacity

FINE SPRAY NOZZLES

DIMENSIONS & WEIGHTS

LN	Nozzle Type (Conn.)	Length (mm)	Body Hex. (mm)	Cap Hex. (mm)	Net Weight (kg)
LNN	LN (F)	49.5	20.6	17.5	.09
LND	LNN (M)	54	20.6	17.5	.09
LNN	LND (F)	47.5	20.6 dia.	17.5	.08
LNN	LND (M)	51.5	20.6 dia.	17.5	.08

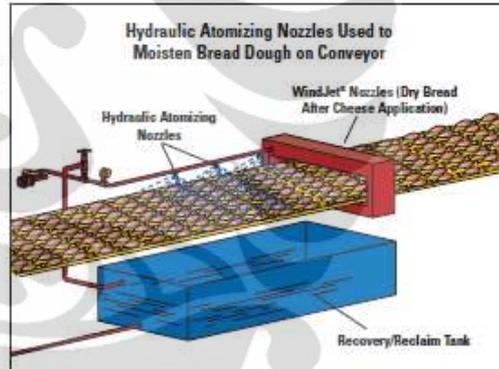
N	Nozzle Type (Conn.)	Length (mm)	Body Hex. (mm)	Cap Hex. (mm)	Net Weight (kg)
NN	N (F)	33.3	17.5	17.5	.04
NN	NN (M)	35.5	17.5	17.5	.04
M	M (M)	21.5	14.3	—	.01

Based on largest/heaviest version of each type.

MATERIALS

Material	Material Code	Nozzle Type						
		LN	LNN	LND	LNN	N	NN	M
Brass	(none)	•	•	•	•	•	•	•
303 Stainless Steel	SS	•	•	•	•	•	•	•
316 Stainless Steel	316SS	•	•	•	•	•	•	•
Polyvinyl Chloride	PVC	•	•	•	•	•	•	•

Other materials available upon request.



ORDERING INFO

STANDARD SPRAY NOZZLE			
1/4	LN	- SS	8
Inlet Conn.	Nozzle Type	Material Code	Capacity Size



Spraying Systems Co.

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

254